

# LES GLISSEMENTS DE TERRAIN DU QUARTIER BOUSSOUF À CONSTANTINE, ALGÉRIE.

**Rachid BOUGDAL\*, Bernard PINCENT\*\*, Marc PANET\*\*\* et Aïssa BENTABET\*\*\*\***

## RÉSUMÉ

L'extension de la ville de Constantine vers le sud-ouest : la zone de Boussouf, est confrontée aux glissements de terrain qui entraînent de nombreuses dégradations dans le bâti. Elle est, par ailleurs, exposée au risque d'inondation à proximité des cours d'eau. Les causes reviennent à la faible stabilité des versants marneux miocènes, souvent rompue par des terrassements excessifs, et à l'occupation des fonds de talwegs. La cartographie géologique et géotechnique et les investigations par des essais in situ et en laboratoire, mettent en évidence ces mouvements gravitaires dans la frange altérée, décomprimée et saturée de ces argiles. Les mesures inclinométriques révèlent la présence de surfaces de ruptures superficielles et profondes, pouvant atteindre 17m. Les calculs de stabilité par rétro-analyse, utilisant le logiciel Talren, montrent que le facteur de sécurité s'améliore très peu avec la diminution de la pression interstitielle (rabattement de nappe). Les solutions préconisées consistent à évacuer les remblais existants, à adoucir les pentes et à clouer la tête des talus. Pour ce qui concerne le risque d'inondation, les mesures à entreprendre sont : la réhabilitation du réseau naturel de drainage, la purge des lits des cours d'eau et l'endiguement de leurs berges.

**Mots-clés** - Glissement de terrain - Argiles - Urbanisation - Inclinomètre - Calcul de stabilité - Zoning - Confortation.

## LANDSLIDES OF CONSTANTINE'S BOUSSOUF DISTRICT, ALGERIA.

### ABSTRACT

The urban expansion of Constantine city to the South-West : Boussouf area, faces landslides causing damage in many buildings. It is also exposed to flood risk near rivers. Causes are linked to low stability of marly Miocene slopes, often disrupted by excessive earthworks, and occupation of river beds. Geological and geotechnical mapping, investigation by in situ and laboratory tests, highlight these gravity movements in the weathered and saturated clay zones. Inclinometric measurements reveal the presence of shallow and surfaces of ruptures reaching up to 17m. Stability calculations by back-analysis, using Talren software, show that the safety factor improves very little with the decrease of pore pressure (lowering underground water table). Recommended solutions are to remove the existing embankments, to soften the slopes and nailing slope's heads. Concerning flood risk, measures to be undertaken are : rehabilitation of natural drainage, purging the beds of rivers and damming up their embankments.

**Keywords** - Landslide - Clays - Urbanization - Inclinometer - Stability calculation - Zoning - Confortation.

---

\*Laboratoire de Géodynamique, Géologie de l'Ingénieur et Planétologie, Faculté des Sciences de la Terre, Géographie et Aménagement du Territoire, USTHB, BP. 32, El Alia, Bab Ezzouar, Alger.

\*\*Ingénieur Expert, ARCADIS, Paris.

\*\*\*Expert international.

\*\*\*\*Ingénieur Expert, Chef de projet, ARCADIS, Paris.

- *Manuscrit déposé le 17 Février 2009, accepté après révision le 02 Janvier 2001.*

## 1. OCCUPATION URBAINE PROGRESSIVE

Le quartier Boussouf est situé à l'extrémité sud-ouest de la ville de Constantine. Il est bâti sur un versant essentiellement argileux de 10 à 20% de pente (photos 1 et 2), drainé par deux talwegs dont la confluence forme Chabet el Merdja (photo 3).

Ce quartier peut être subdivisé sur le plan urbain, en trois parties :

- une partie haute, correspondant à une zone de replat topographique, occupé par des constructions individuelles (type R+2 et R+3);

- une partie d'altitude intermédiaire, formée par plusieurs blocs d'immeubles d'habitation occupant les talwegs et versants des collines de Boussouf (photo 1);

- une partie basse, formée par des constructions privées (villas) situées dans le lit de Chabet El-Merdja (photo 2).



**Photo 1** - Vue d'ensemble du site Boussouf, (2005), versant marneux instable

*Boussouf site overview, (2005), Unstable marly slope*



**Photo 2** - Vue de la partie basse du site Boussouf (2005). Les bâtiments en construction (B) sont sur un glissement de terrain actif.

*Boussouf lower site view (2005). New buildings (B) are located in active landslide field*

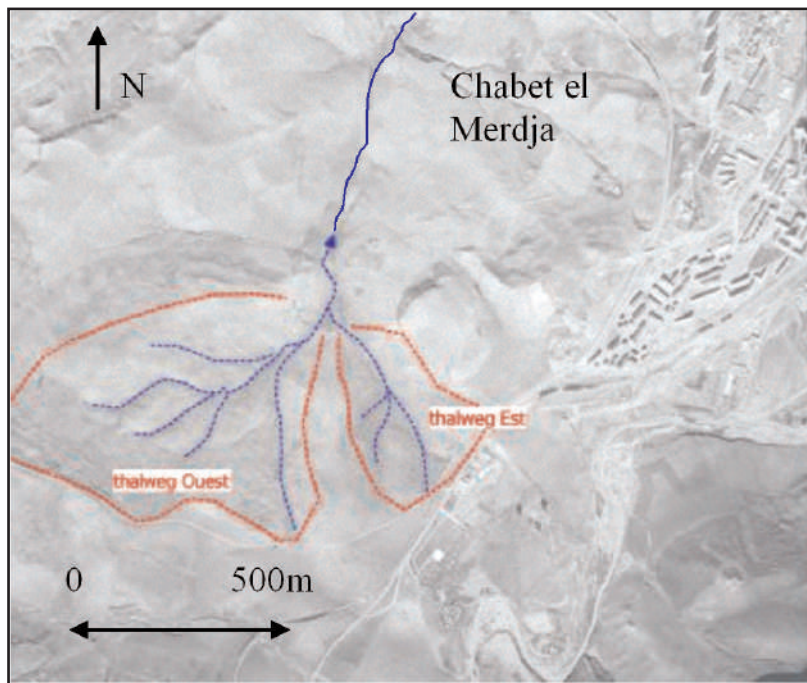
L'urbanisation de Boussouf s'est déroulée progressivement depuis 1988 et se poursuit activement aujourd'hui. Elle a débuté par la partie haute, dans une zone de replat topographique stable, portant la Cité Boussouf. Elle s'est ensuite, étendue tout d'abord sur les versants qui s'avèrent de faible stabilité ou franchement instables (photo 2), puis dans les fonds de talwegs, obstruant les écoulements superficiels.

L'analyse comparée de photos aériennes prises à différentes périodes (1972, 1980, 1988 et 2002), fournit quelques jalons de l'urbanisation de Boussouf :

**1972** : Le site est entièrement destiné à l'activité agricole (photo 3). Seule une zone de replat élevé, à l'est, porte la Cité Boussouf.

**1980** : La situation a peu évolué (photo 4A). La Cité Boussouf s'étend néanmoins, vers la terminaison sud-ouest du plateau : construction d'un ensemble de bâtiments en R+5 et R+6 et de maisons individuelles.

**1988** : l'urbanisation est active, elle déborde sur les versants limitrophes du plateau : construction de la cité Boudjenana, au nord-est, extension de la cité Boussouf vers le sud, terrassement de la future cité Zaouche vers le nord.



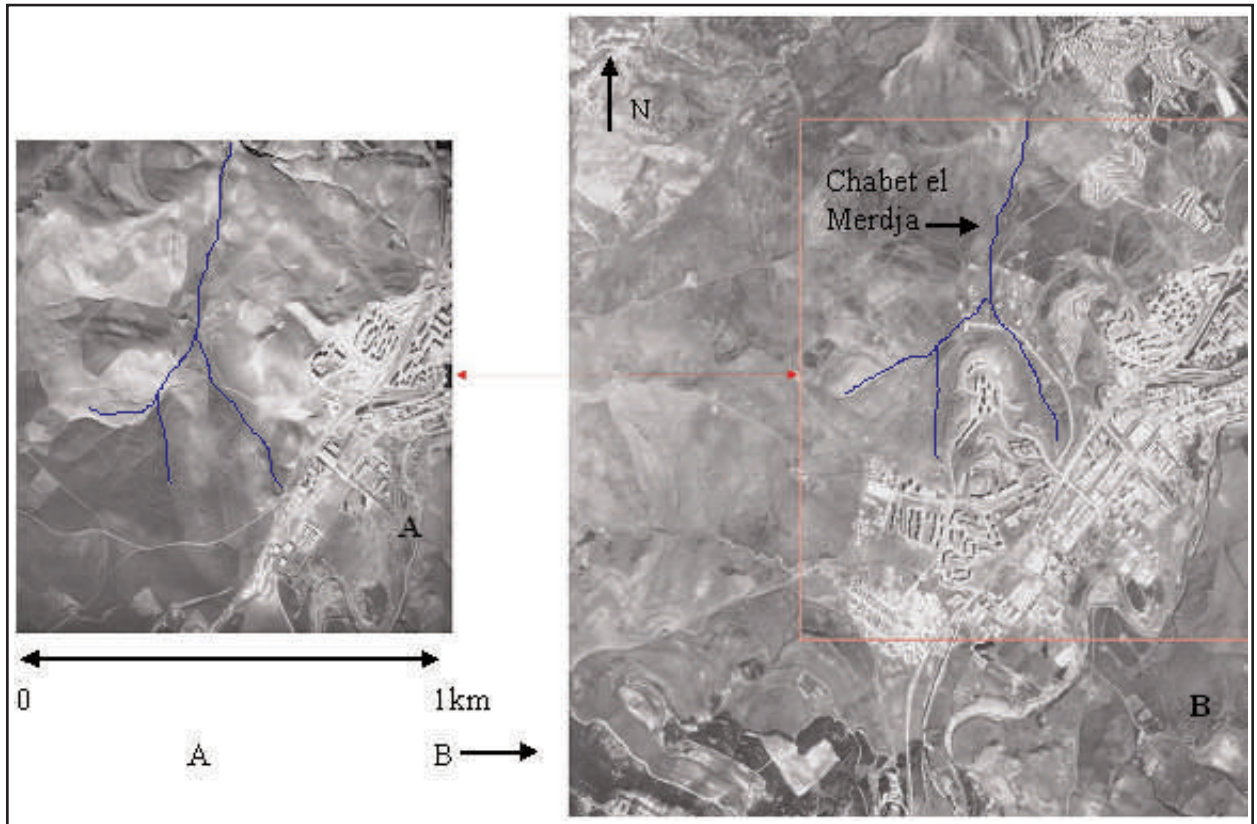
Boussouf photo aérienne 1988 (extrait)

**Photo 3** - Site Boussouf en 1972 et réseau hydrographique.

***Boussouf site in 1972 and hydrographic network.***

Noter l'absence totale d'urbanisation à l'exception de la zone de replat située à droite de la photo : la Cité Boussouf (**Note the absence of urbanization, excepted the flat zone located on the right of the photo : Boussouf City.**)





Boussouf photo aérienne 1980 (extrait)

**Photo 4, A et B** - Urbanisation évolutive du site Boussouf entre 1980 (A) et 1988 (B). La partie "haute" est urbanisée et les talwegs est et ouest sont encore libres de construction. Des villas commencent à s'installer dans le lit de Chabet El-Merdja.

***Boussouf site evolutive urbanization between 1980 (A) and 1988(B). The high site is urbanized and the Eastern and Western talwegs are free of construction. Some houses are built in Chabet el Merdja bed river.***

Au sud, des immeubles ont été bâtis en tête de talus argileux de faible stabilité. Des traces de glissements sont visibles sur les photographies aériennes.

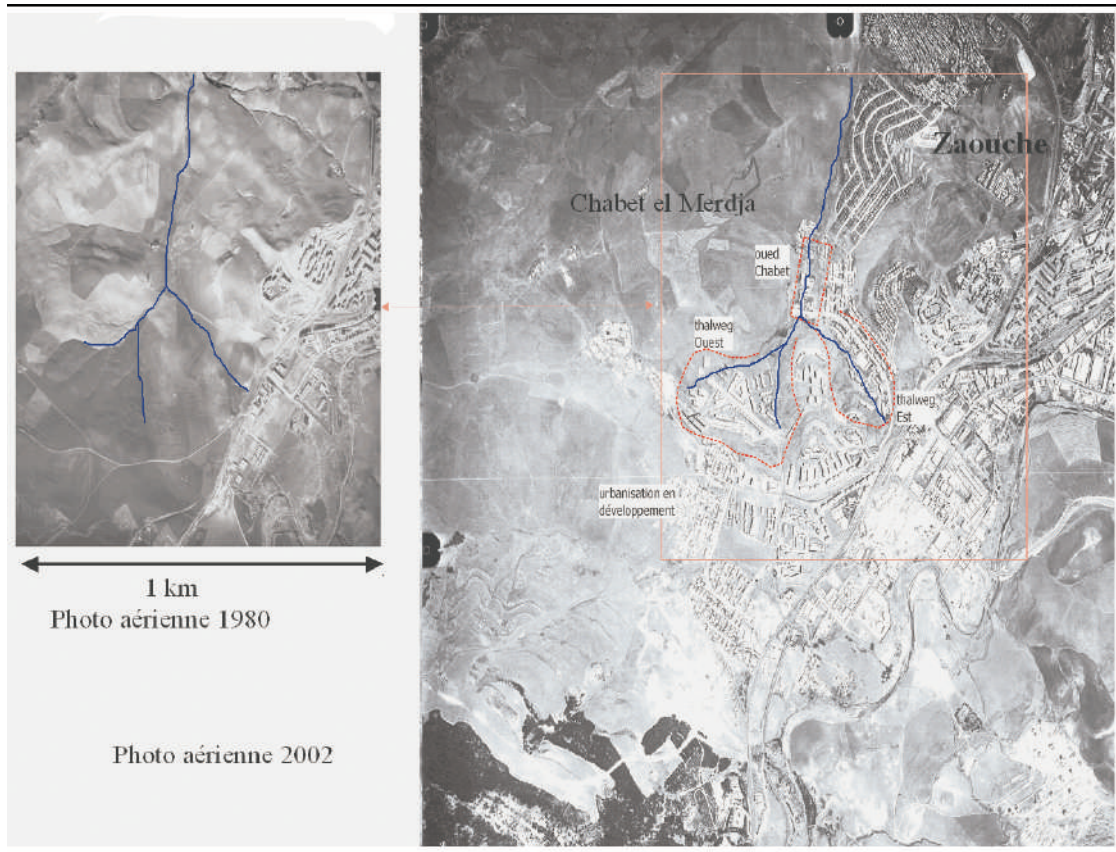
**1995** : La cité Zaouche est en cours de construction sur le versant rive droite de Chabet el Merdja.

**2002** : Les constructions occupent tout le talweg est (photo 5); certaines sont fondées dans les

versants, d'autres se sont établies dans le lit des écoulements naturels.

Dans le talweg ouest, trois tours de 17 étages, une quarantaine d'immeubles de longueur variable et une école ont été érigés sur des terrains qui présentent des indices évidents d'instabilité.

Entre 2002 et 2005, la situation du bâti a peu évolué par suite d'une décision d'arrêt momentané des constructions par la Wilaya.



**Photo 5** - Urbanisation évolutive de Boussouf entre 1980 et 2002. Hormis quelques talus fortement instables, tout le site est urbanisé. Les talwegs est et ouest et le lit de Chabet El-Merdja sont construits.

***Boussouf evolutive urbanization between 1980 and 2002. All the site is urbanized, excepted clearly unstable slopes. The Eastern and Western talwegs and the Chabet El Merdja bed are built.***

## 2. HISTORIQUE DES DÉSORDRES

Dans son rapport de 1995, le CTC Est (Organisme de Contrôle Technique de la Construction) souligne l'existence de nombreux glissements actifs et met en relief l'anarchie des constructions et le mauvais dimensionnement du réseau d'assainissement. Il signale par ailleurs, un site inconstructible sur lequel ont été construits plusieurs immeubles et les trois tours de 17 étages.

En l'absence de mesures, le CTC Est pense alors que dans la majorité des cas, les glissements sont superficiels. Il insiste sur la néces-

sité impérieuse de traiter le problème des écoulements d'eau et propose de conforter les glissements par des murs de soutènement et/ou reprofilage du terrain.

Le rapport de G. Evans (1998) ne mentionne pas les instabilités de Boussouf. En revanche, dans son rapport d'expertise de 1999, Paulsen suggère de capter et de canaliser les nombreuses venues d'eau et indique que "les immeubles hauts encore en construction (il s'agit des 3 tours de 17 étages) sont fondés sur des pieux de 22 m. Le problème de stabilité ne se pose pas ici".

Lors de nos visites sur site en 2004 et 2005, nous avons constaté de nombreux désordres affectant les constructions : fissuration de murs de clôtures, ouverture excessive de joints de dilatation d'immeubles, inclinaison d'un bâtiment d'une cité récente CNEP, dégradation de deux villas en début de construction dans la partie haute de Boussouf.

Nous avons observé aussi de nombreuses fuites d'eau potable et usées, témoignant de la détérioration des réseaux d'assainissement et d'eau potable.

### 3. GÉOLOGIE

Boussouf est situé à l'extrémité sud-ouest du PDAU (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme) de Constantine et couvre une superficie d'environ 600 ha.

Cette zone, qui est le siège d'une urbanisation récente et dense, est caractérisée par une faible stabilité de ses versants argileux, menaçant sérieusement une grande partie du bâti.

Un levé géologique et géotechnique à l'échelle du 1/2000<sup>ème</sup> a été entrepris (Bougdal, 2007). C'est sur la base de ces travaux de terrain qu'un programme d'investigation in situ a été réalisé : 9 sondages carottés de 25 à 30 m de profondeur, équipés d'inclinomètres, 4 sondages équipés de piézomètres et 15 essais au pénétromètre statique.

La série stratigraphique est représentée par des formations superficielles quaternaires : alluvions, colluvions et des calcaires plio-quaternaires, reposant en discordance sur des argiles épaisses du Miocène post-nappes (figs.1 et 2).

#### - Les terrasses alluviales

Elles sont de nature limoneuse et se développent en particulier le long des rives de l'oued Rhumel, à une altitude de quelques mètres par rapport à la côte topographique du cours d'eau.

Ces terrasses existent également sur les berges de l'oued M'gharouel, affluent du Rhumel et le long de Chabet el Merdja, au nord. Leur faible dénivelée par rapport à ces cours d'eau les expose fréquemment à l'inondation. Ces terrasses correspondent aux termes les plus récents (Holocène) des formations alluviales étagées, connues, le long du Rhumel.

#### - Les colluvions

Elles sont peu épaisses, de nature hétérogène, mais à dominante limoneuse, rousse. Les colluvions les plus développées sont localisées dans la zone centrale de Boussouf. Elles sont également largement répandues sur le versant sud, bien que peu épaisses.

Les talus de terrassement montrent là (photo 6) des colluvions grossières, encroûtées en surface, de 1 à 3m d'épaisseur. Elles sont suffisamment perméables et peuvent renfermer des aquifères superficiels, temporaires. En effet, de nombreux suintements se manifestent durant la période humide, au contact entre ces colluvions et les argiles miocènes imperméables, sous-jacentes.



**Photo 6** - Colluvions grossières, quaternaires, encroûtées du versant sud (zone D)

***Quaternary gravel colluvium in the Southern slope (zone D)***



### - Les calcaires lacustres pliocènes

Ils n'existent à Boussouf que dans sa partie sud-ouest où ils forment des plateaux et collines, boisées, relativement élevés. Ces calcaires se présentent en bancs épais, massifs, faisant relief par rapport aux argiles miocènes qu'ils recouvrent.

### - Les sables et grès miocènes.

Ils n'affleurent que localement dans la partie nord-est du site Boussouf (Cités du 5 juillet et Boudjenana) et se développent plus au nord, le long de la Koudia Touifez. Les sables sont fins, épais, et admettent des bancs grésifiés d'échelle métrique, à rares cristaux de gypse.

### - Les argiles brunes à grises, miocènes

Elles forment le substratum de l'ensemble du secteur de Boussouf et correspondent à la formation la plus développée en surface. Elles se distinguent des autres formations par une végétation rare, des pentes naturelles qui ne dépassent pas 10 à 15 % et une morphologie souvent moutonnée (photo 7), signe de leur fréquente in-



**Photo 7-** Argiles miocènes à lames décimétriques de gypse

***Miocene clay enclosing decimetric gypsum plates***

stabilité. Elles renferment des inclusions de gypse qui se présentent sous plusieurs formes : grosses lames (photo 7), cristaux centimétriques isolés, agrégats de cristaux, fibres, et renferment des fragments de vertébrés.

Elles admettent de rares passées finement sableuses. En profondeur, elles deviennent plus compactes. Les sondages carottés qui les ont systématiquement traversées, montrent qu'elles sont recouvertes, sur 5 à 10m, par des niveaux décomprimés, plastiques et remaniés.

Du point de vue tectonique, les formations superficielles et l'état altéré des argiles miocènes, masquent les traces de la déformation.

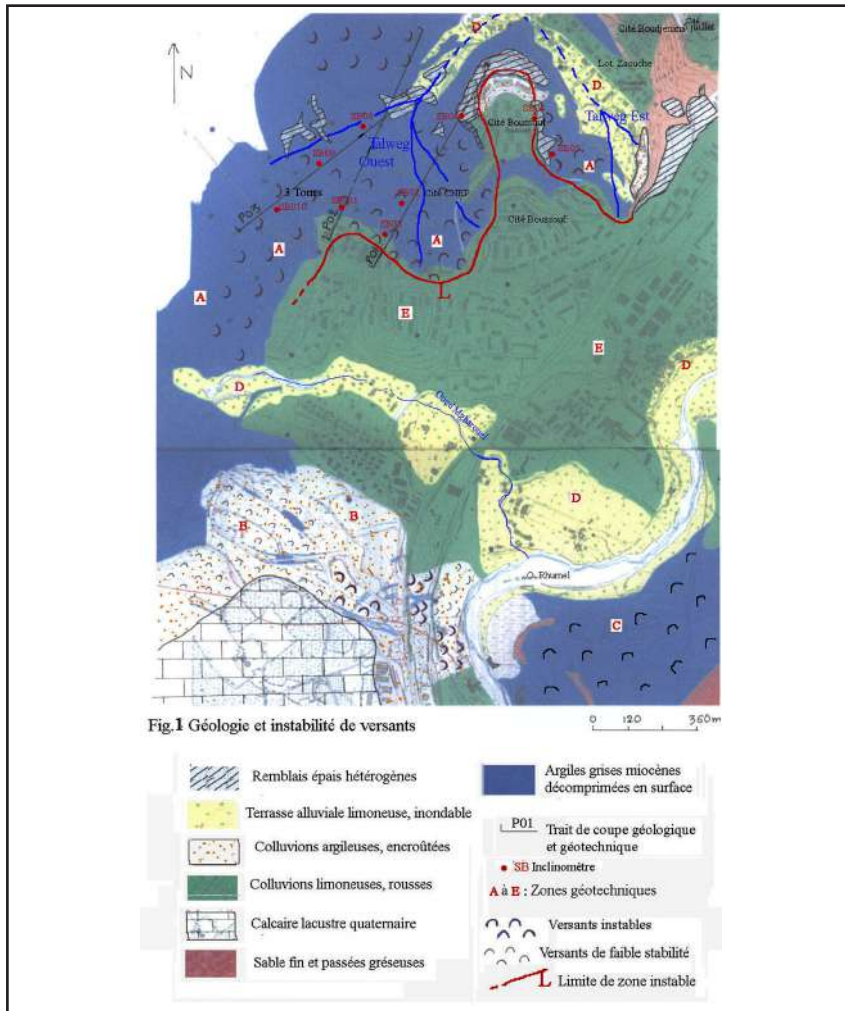
Les calcaires lacustres pliocènes qui affleurent au sud de Boussouf (au-delà du site étudié), montrent une légère déformation et sont affectés par des failles à rejet vertical important.

A l'échelle de l'ensemble du PDAU, le secteur de Boussouf correspond au prolongement sud de la structure synclinale orientée nord-sud, mise en évidence à Ben Chergui- Oued El Mellah (Boug-dal et *al.*, 2007). Sa partie orientale correspond, quant à elle, au prolongement de la structure anticlinale de Koudiet Touifez.

Ces structures plissées expliquent la morphologie irrégulière du toit des argiles miocènes que l'on peut retrouver à différentes altitudes dans le secteur de Boussouf. Les coupes géologiques synthétiques (fig. 2), établies dans le site Boussouf, à partir des sondages carottés, illustrent sa structure d'ensemble.

## 4. APERÇU HYDROGÉOLOGIQUE

Les eaux souterraines sont contenues dans les différentes formations de Boussouf. Dans les argiles miocènes, elles jouent un rôle important dans les mécanismes qui conduisent aux fréquents mouvements gravitaires observés.



**Fig. 1- Géologie et instabilité de versants**

### **Geology and unstability slopes**

Les terrasses alluviales limoneuses sont aquifères comme en témoigne la présence de puits dans la zone industrielle de Constantine.

Dans les colluvions graveleuses, encroûtées, quelques suintements observés à leur base (au contact avec les argiles miocènes), attestent de leur perméabilité (photo 8).

Dans les argiles miocènes, la frange altérée et décomprimée renferme des eaux pelliculaires, notamment en période humide. Celles-ci se manifestent par des suintements à la base des murs de

soutènement fondés dans les argiles (photo 9) et par l'inondation de sous-sols de plusieurs immeubles (photo 10). Elles proviennent de l'infiltration des eaux météoriques, mais aussi des nombreuses canalisations défectueuses.

Les relevés piézométriques du sondage SBOZ7, montrent une grande fluctuation du niveau statique (entre 2 et 20m de profondeur, suivant la saison de mesure). Cette fluctuation traduit bien la formation de nappe temporaire, toute proche de la surface, en période humide.





**Photo 8** - Source captée à la base des colluvions grossières, au contact avec les argiles miocènes.

*Spring at the gravel colluvium base over Miocene clays*



**Photo 9** - Ecoulement d'eau souterraine dans des barbacanes sur un mur de soutènement.

*underground water flow cross*

La perturbation du réseau hydrographique par la construction, favorise par ailleurs, la création de nombreuses aires de stagnation d'eaux pluviales et par conséquent, une infiltration efficace et une augmentation des pressions interstitielles.

## 5. DESCRIPTION DES INSTABILITÉS

Les argiles miocènes qui affleurent sur de grandes surfaces à Boussouf, sont altérées, très plastiques et propices aux mouvements gravitaires qui s'expriment sous différentes formes : glissements de terrain avec ruptures franches,

fluage, solifluxion. Ces mouvements sont identifiables, aussi bien dans le milieu bâti, qui est alors fissuré, que dans les aires non bâties qui présentent tous les signes d'instabilité : crevasses, morphologie moutonnée (photo 11). Au-delà de 10 % de pente, les argiles peuvent devenir instables, à la faveur, notamment, de leur saturation durant la période pluvieuse.

L'évaluation globale de la stabilité de Boussouf est illustrée par une carte géologique et géotechnique (fig. 1) et des coupes synthétiques (fig. 2).



**Photo 10** - Sous-sol de bâtiment constamment inondé, baignant dans la nappe superficielle des argiles décomprimées miocènes

*flooded underground building by water level weathered Miocene clay*



**Photo 11** - Argile miocène sur versant instable (zone D)  
*Miocene clay landslide (zone D)*

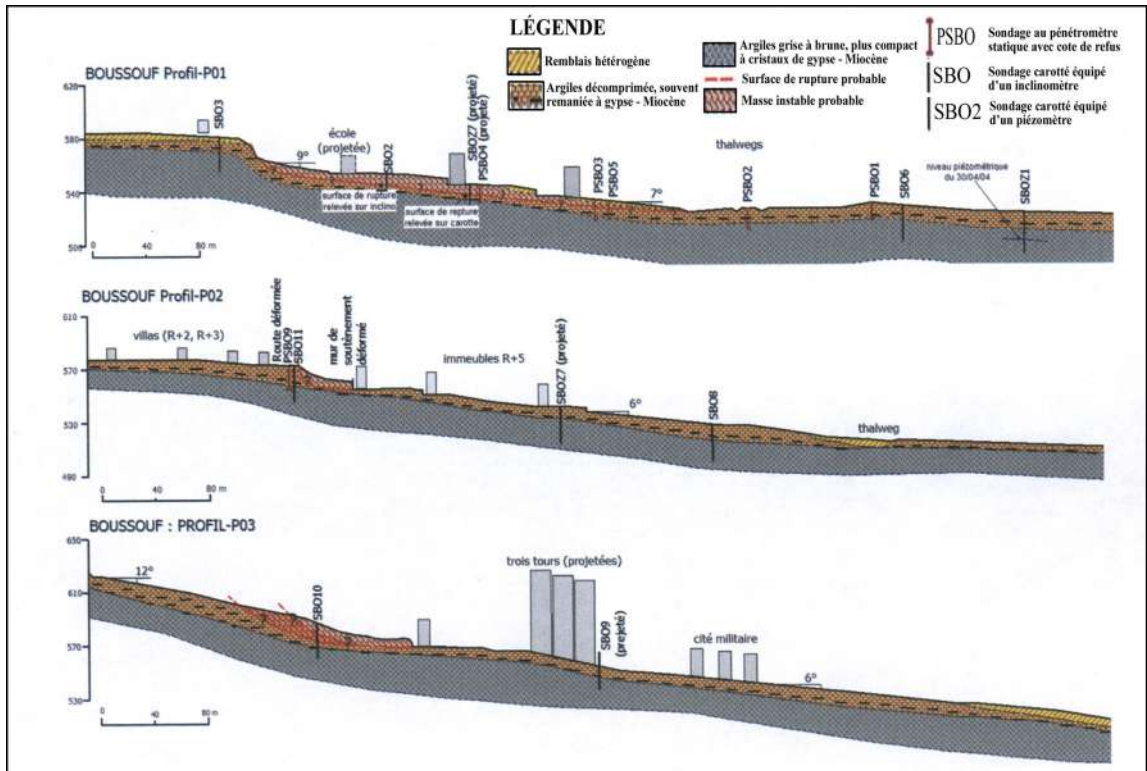


Fig. 2 - Coupes géologiques P01 à P03 (voir localisation sur figure 1)

**Cross sections P01 and P03 (see location on figure 1)**

La carte distingue deux types d’instabilités :

- les glissements de terrain franchement déclarés, qui se manifestent par des ruptures franches (escarpements de tête de glissement, fissuration, bourrelets de pied). Les constructions réalisées sur ces glissements, sont très dégradées;
- les versants de faible stabilité qui sont de constitution argileuse, de pente voisine de l’équilibre limite (10 %), mais ne montrant pas de rupture franche. Nous avons rangé dans cette catégorie, les zones limitrophes de la première catégorie (glissements déclarés).

**5-1. Analyse par zones**

Le site Boussouf présente différentes aptitudes aux glissements de terrain et à l’inondation qui sont régies par deux facteurs essentiels : la lithologie et la géomorphologie. Cinq zones géotech-

niques notées A à E peuvent être distinguées (fig. 1). Nous présentons succinctement ces différentes zones suivant leur degré de vulnérabilité décroissant. L’analyse détaillée de ce zoning peut être consultée dans l’étude des glissements de terrain de la ville de Constantine (Direction de l’Urbanisme et de la Construction, Constantine, 2004).

**Zone A :** Elle correspond à un versant de pente moyenne 10 à 15 %, drainé par un réseau de talwegs confluant vers Chabet El Merdja. Ce drainage naturel est entièrement perturbé par des constructions récentes.

Cette zone, essentiellement argileuse, est particulièrement vulnérable dans la mesure où elle renferme un habitat dense affecté par plusieurs glissements de terrain à sa périphérie.

Les profils géologiques établis (fig. 2), montrent que les argiles miocènes qui forment le terrain substratum, sont altérées sur une profondeur de l’ordre de 5 à 10m.

**Zone B :** Elle correspond à un versant argileux de pente moyenne 10%, recouvert par des colluvions d'épaisseur variable et limité vers le sud par le plateau calcaire pliocène du Djebel Hadj Baba. Cette zone, peu urbanisée, présente une aire occidentale argileuse, franchement in-

stable et une aire orientale de faible stabilité, recouverte superficiellement de colluvions.

**Zone C :** Elle forme un versant étendu, de 10 à 15% de pente en rive droite du Rhumel et en aval du plateau calcaire de Zouaghi. Le réseau



La nouvelle cité CNEP située dans la zone A, montre un bâtiment (R+5) franchement incliné (photo 12), des joints excessivement dilatés et des murs de soutènement.

**Photo 12 -** Bâtiment incliné de la cité CNEP  
*CNEP city inclined building*



A environ 200 m au sud des trois tours, en zone A, l'évolution d'un glissement de terrain, a entièrement détruit quelques maisons en cours de construction (photo 13).

**Photo 13 -** Fondation dégradée d'une maison en cours de construction  
*Collapsed house foundation*



Dans le prolongement ouest de l'exemple précédent, un glissement récent (photo 14) a causé diverses dégradations dans le bâti.

**Photo 14 -** Glissement récent affectant une route et envahissant un rez de chaussée de deux bâtiments situés en contrebas

*New landslide breaking a road and crossing two buildings downstairs*



hydrographique est représenté par des ravines étroites issues du plateau calcaire, et soumises à une action érosive intense de leurs berges.

Cette zone est formée essentiellement par les argiles miocènes à lamelles de gypse et est affectée par des glissements de terrain de grande ampleur. La route de Massinissa, qui relie Bousouf à Aïn el Bey, est affectée par deux glissements de terrain dont le plus occidental menace sérieusement le pont franchissant l'oued Rhumel (photo 15). La surface de rupture paraît profonde.

D'après l'ampleur des désordres observés, la zone C, est à rapprocher de la zone A instable et ne s'en distingue que par sa moindre vulnérabilité, sachant qu'elle n'est pas urbanisée.

**Zone D :** Cette zone concerne deux aires inondables :

- la première est située à la limite nord de Bousouf, à la confluence des deux talwegs formant en aval Chabet El Merdja. Cette aire correspond à une zone basse dont l'urbanisation récente (constructions en R+2 et R+3) a totalement obstrué les écoulements superficiels, si bien qu'elle est régulièrement inondée (photos 5 et 16),

- la seconde, située plus au sud, correspond à la dépression topographique longée par l'oued M'gharouel. Ce cours d'eau, peu encaissé, déborde souvent de son lit et inonde ses propres terrasses alluviales. Une urbanisation récente (constructions individuelles), gagne sur ces terrasses inondables.

**Zone E :** Cette zone correspond au secteur central, surélevé de Bousouf, de faible déclivité. Elle est formée par des colluvions limoneuses rousses, denses et suffisamment épaisses (4 à 8m), recouvrant les argiles miocènes. L'urbanisation y est relativement ancienne et ne montre pas de désordre ni d'indices d'instabilité des

pentés. Cette zone est naturellement bien drainée par les versants limitrophes, ce qui explique, avec la faible déclivité du terrain, sa bonne stabilité d'ensemble.

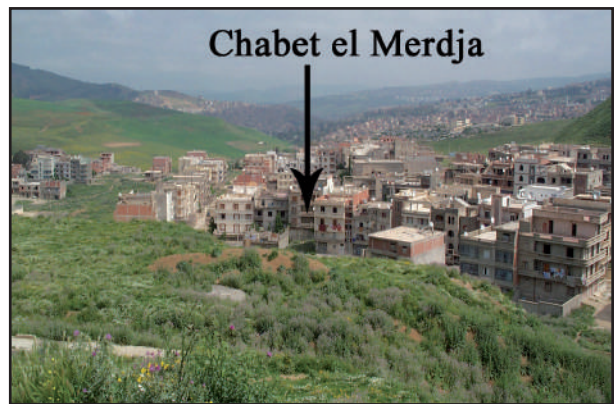


**Photo 15 -** Séries de glissements récents sur le versant rive droite de l'oued Rhummel (lieu-dit Massinissa) entraînant la dégradation de la culée du pont.

*Recent landslides series in the Rhumel river right side, breaking the abutment bridge*

**S :** escarpements de glissements

**M :** masse glissée déstabilisant la culée du pont sur l'oued Rhumel



**Photo 16 -** Obstruction du drainage naturel par des constructions en fond de talweg (zone nord de Bousouf)

*Obstruction of natural drainage by constructions over river bed (Bousouf Northern side)*

## 5-2. Conclusions

La carte géotechnique montre que l'ensemble des versants argileux est affecté par des mouvements déclarés qui progressent vers les sites voisins que nous avons classés de faible stabilité.

Le secteur le plus vulnérable, compte tenu de son urbanisation, correspond aux versants nord de la zone A. La limite cartographique «L» (fig. 1), circonscrit le domaine urbanisé le plus menacé par les glissements de terrain et leur évolution à moyen terme, si des mesures de stabilisation, ou du moins d'atténuation des mouvements, ne sont pas mises en œuvre dans les délais les plus courts. Les désordres actuellement observés dans plusieurs constructions risquent de se propager dans les constructions voisines, non encore touchées.

Pour les versants argileux des zones B et C, la vulnérabilité est moindre, sachant qu'ils sont peu ou pas urbanisés. Ces versants sont peu recommandés pour la construction.

Les terrains classés en stabilité incertaine (zone B), pourraient recevoir un habitat léger (sous réserves d'études géotechniques ponctuelles), en prenant soin d'éviter les terrassements en grandes masses et respecter le réseau de drainage naturel.

Les terrains inondables sont localisés au nord de Boussouf : talwegs est et ouest, Chabet el Merdja, et au sud, le long de l'oued Mgharouel.

L'urbanisation qui s'y est développée ne permet pas d'envisager de drainage efficace (afin de réduire ce risque), sans toucher au milieu bâti. Les premières mesures à prendre sont l'interdiction formelle de toute construction nouvelle sur ces terrains.

Cette faible stabilité naturelle est accentuée par les travaux d'urbanisation : terrassements

excessifs, surcharge du terrain par les remblais laissés sur place, perturbation du réseau hydrographique par des constructions en fond de talwegs, stagnation des eaux d'origines diverses (pluviale, fuites à partir du réseau d'assainissement et d'AEP, défectueux).

## 6. CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES

Le site Boussouf a fait l'objet de deux campagnes de reconnaissance géotechnique progressives entre 2003 et 2005. Ces campagnes ont porté sur la réalisation de :

- 9 sondages carottés SBO2 à SBO6 et SBO8 à SBO11 équipés d'inclinomètres;
- 4 sondages carottés SB01, SBZ1, SBZ2 et SBOZ7, équipés de piézomètres;
- quinze essais au pénétromètre statique PSBO1 à PSBO15;
- des essais physico-mécaniques en laboratoire.

Les résultats indiqués ci-dessous concernent les essais réalisés sur des échantillons prélevés des sondages : identification physique, analyses chimiques, cisaillement rectiligne.

### 6-1. Formations du Quaternaire et remblais

Il s'agit des terrains superficiels argileux, décomprimés, et des remblais de même nature qu'il est difficile de distinguer du sol en place.

Leur masse volumique sèche est comprise entre  $1.5 \text{ g/cm}^3$  et  $2.0 \text{ g/cm}^3$  (moyenne :  $1.7 \text{ g/cm}^3$  sur 6 valeurs).

Les valeurs des teneurs en eau sont comprises entre 12.5% et 27.5% sur 8 échantillons (tab. I).

**Tableau I - Teneur en eau et plasticité des remblais et argiles quaternaires**

*Moisture content and plasticity of Quaternary clays*

	Wl %	Wp %	Ip %	Ic	W %
maximum	67.7	31	36.7	1.5	12.5
minimum	52.6	23	29.6	0.8	27.5
moyenne	59.7	26.8	32.9	1.1	22.9
nombre de valeurs	7	7	7	7	7

Les valeurs des limites d’Atterberg sont élevées.

Les valeurs de l’indice de consistance (Ic) sont modérées : Ic = 0.8 à 1.5 avec une moyenne de 1.2 pour 7 valeurs. Ces terrains correspondent à un sol plastique, ferme à dur.

**6-2. Formations du Miocène**

Il s’agit ici de formations profondes, constituées d’argiles qui peuvent être limoneuses.

Leur masse volumique sèche est comprise entre 1.6 g/cm<sup>3</sup> et 2.0 g/cm<sup>3</sup> (moyenne 1.9 g/cm<sup>3</sup> pour 10 valeurs).

Les valeurs de teneur en eau sont comprises entre 11.5% et 27.9%. La moyenne des teneurs en eau est de 16.8% (24 valeurs).

Les valeurs des limites d’Atterberg sont très élevées (tab. II) avec des indices de plasticité pouvant atteindre 40%.

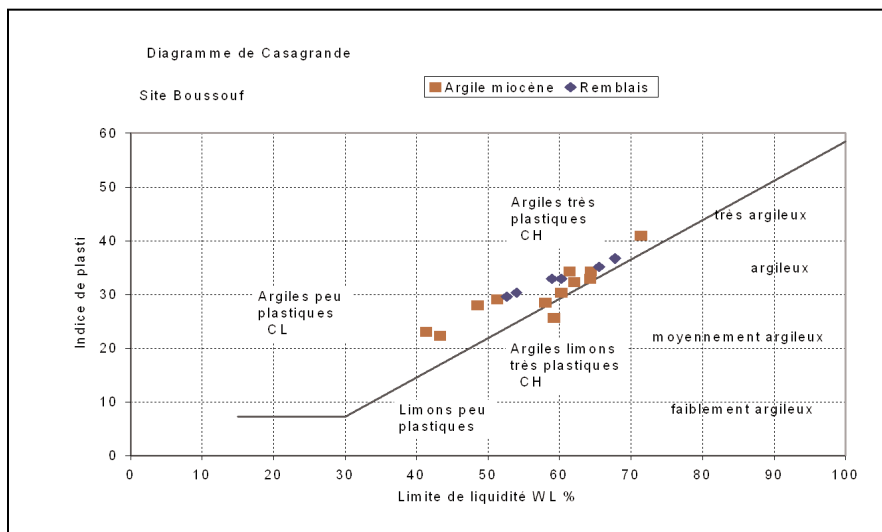
**Tableau II - Teneur en eau et plasticité des argiles miocènes**

*Moisture content and plasticity of Miocene clays*

	Wl %	Wp %	Ip %	Ic	W %
maximum	71.4	33.6	40.9	1.4	11.5
minimum	41.4	18.4	22.3	0.6	27.9
moyenne	57.1	27.0	30.1	1.3	15.8
nombre de valeurs	12	12	12	12	12

Les valeurs de l’indice de consistance sont situées entre 0.6 et 1.4.

Ces terrains correspondent à un sol très plastique (fig. 3), de consistance dure. Cette caractéristique est confirmée par des analyses géotechniques antérieures (Benaïssa et Bellouche, 1999).



**Fig. 3 - Diagramme de Casagrande des sols du site. Les terrains sont de type argiles plastiques à très plastiques.**

*Site soils plasticity diagramm. Soils are plastic to high plastic clays*



Deux essais de cisaillement rectiligne (non consolidé, non drainé) ont été réalisés. Les résultats sont les suivants :

**Tableau III** - Mesures au cisaillement rectiligne dans les argiles miocènes

***Shearing measurements of Miocene clays***

		Cisaillement rectiligne	
Sondage	Prof. échantillon	Cohésion (MPa)	Angle de frottement (°)
SBO4	10,00 – 10,50	0,04	15
SBO5	11,20 – 11,80	0,06	16

Trois essais au triaxial (à court terme) ont été réalisés et les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau IV** - Mesures au triaxial dans les argiles miocènes

***Triaxial measurements of Miocene clays***

		Essai triaxial	
Sondage	Prof. échantillon	Cohésion (MPa)	Angle de frottement (°)
SBO4	7,00 – 7,60	0,05	22
SBO4	16,00 – 16,40	0,05	25
SBO5	5,00 – 5,70	0,07	23

L'interprétation globale des 15 sondages au pénétromètre statique (PSBO1 à PSBO15) fait ressortir les trois groupes suivants :

- PSBO2 à PSBO5 et PSBO7 : la résistance de pointe varie très peu ou pas du tout jusqu'à des profondeurs de 9 à 14 m. Les valeurs se situent autour de 20 à 40 bars. C'est une zone de remblais épais et non consolidés;

- PSBO6, PSBO8 à PSBO12 : la résistance en pointe augmente très rapidement et le refus est atteint entre 5 et 7 m de profondeur seulement. C'est une zone où la frange décomprimée des argiles miocènes est très réduite;

- PSBO13 à PSBO15 : la résistance augmente progressivement mais le refus est atteint vers 9 à 10 m de profondeur avec une valeur de résistance en pointe de l'ordre de 60 bars. Dans cette zone, les remblais sont peu développés mais la frange décomprimée des argiles miocènes est relativement plus développée.

## 7. MESURES INCLINOMÉTRIQUES

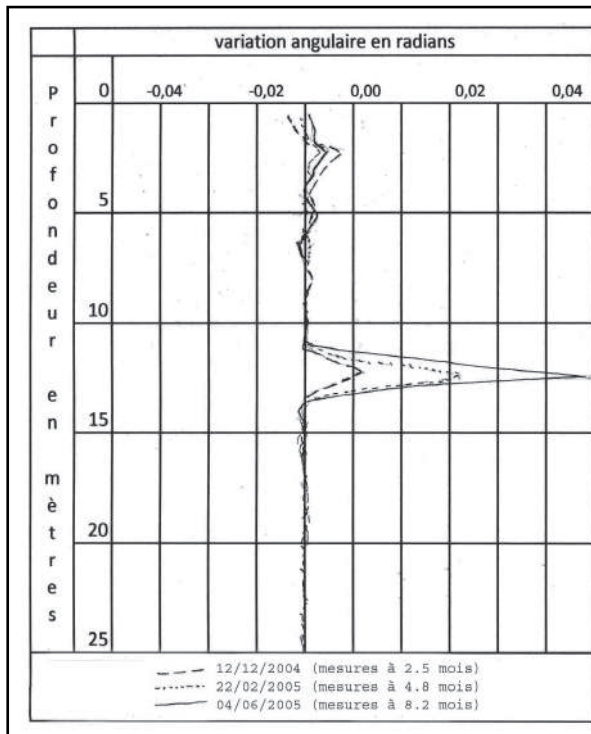
L'objectif des mesures inclinométriques est de déterminer au cours du temps, l'amplitude et la direction des déplacements horizontaux du terrain, en profondeur. Pour cela, après avoir scellé un tube spécial dans un forage, on vient mesurer régulièrement l'inclinaison de ce tube à l'aide d'une sonde de mesure (inclinomètre).

Les tubes inclinométriques ont été installés dans neuf sondages carottés (SBO2 à SBO6 et SBO8 à SBO11). Leurs positions sont représentées sur la figure 6.

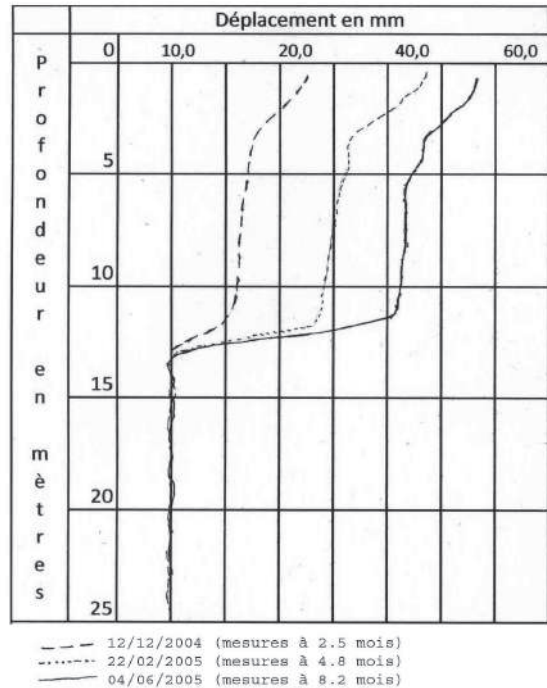
Les mesures ont été réalisées par le Laboratoire des Travaux Publics Est, entre décembre 2004 et juin 2005. Les résultats sont exprimés sous forme de courbes de variations angulaires et de déplacements dans deux directions orthogonales.

Sur les graphes, sont superposées plusieurs courbes montrant l'évolution de la déformation en fonction du temps.

Ces courbes font nettement apparaître la profondeur des surfaces de glissement (figs. 4 et 5). Pour les variations angulaires, les courbes présentent un pic correspondant à cette surface de glissement. L'amplitude et la direction des déplacements résultants sont calculées par composition des déplacements calculés dans deux directions orthogonales A et B.



**Fig. 4 - Variations angulaires, Inclinomètre SB04**  
*Angular variations, Inclinometer SB04*



**Fig. 5 - Déplacements, Inclinomètre SB04**  
*Displacements, Inclinometer SB04*

**Tableau V - Mesures inclinométriques. Synthèse**  
*Inclinometric measurements. Synthesis*

Inclinomètre	Prof. du forage (m)	Prof. de rupture (m)	Direction du déplacement (°/Nord)	Déplacement mm	Vitesse mm/an	Observations
SBO2	26	7,5	40,5	5	12,5	
SBO3	25	11 ? 20 ?				Bouché après la première mesure
SBO4	26	11,5	25,5	41	65,5	
SBO5	25,5	6,5 8,5	90	74,3	186	Rompu après 4,8 mois de mesures
SBO6	26	11 m ?-		1,8	10	Période d'observation limitée à 2.1 mois
SBO8	26	17 m -	42,5	3,3	16	Période d'observation limitée à 2.1 mois
SBO9	25,5	-				Pas de surface de rupture. Période d'observation très limitée
SBO10	25,5	4 m, 10,5 m et 13 m	71,5	39	425	Surfaces potentielles de ruptures superposées
SBO11	26	-				Pas de surface de rupture. Période d'observation limitée

Le tableau V, Ci-dessus synthétise les résultats de ces mesures.

Il permet de noter que :

- les glissements au niveau des inclinomètres SBO4 et SBO5 sont profonds (11,5 m et 8,5 m),
- une surface de glissement est mise en évidence par l'inclinomètre SBO2 à 7,5 m de profondeur. Cette surface semble se poursuivre plus en aval, vers le SBO8, où la rupture est mesurée à 17m de profondeur;
- les inclinomètres SBO6 et SBO8 révèlent des surfaces de glissement profondes à déplacement lent;
- l'inclinomètre SB010 est localisé à proximité des trois tours de 17 étages. Il montre trois surfaces de rupture potentielles superposées, la plus profonde étant à 13 m. Le déplacement est très rapide et menace directement des immeubles en R+4 voisins, fondés à moins de 13m de profondeur;
- les inclinomètres SBO9 et SBO11 n'indiquent pas de déplacements significatifs, mais il faut noter que la période de mesure est de durée très limitée, respectivement de 0,9 et 1,7 mois;
- les surfaces de rupture sont localisées, pour l'essentiel, dans les argiles miocènes décomprimées et saturées.

Cependant, les inclinomètres SB03 et SB04 montrent que mêmes les argiles plus denses peuvent être, localement, instables. Cela peut s'expliquer par la présence de niveaux fins, interstratifiés, beaucoup moins résistants.

Le report des vecteurs déplacements sur la carte des instabilités (fig. 6), montre une direction préférentielle des mouvements vers le NO.

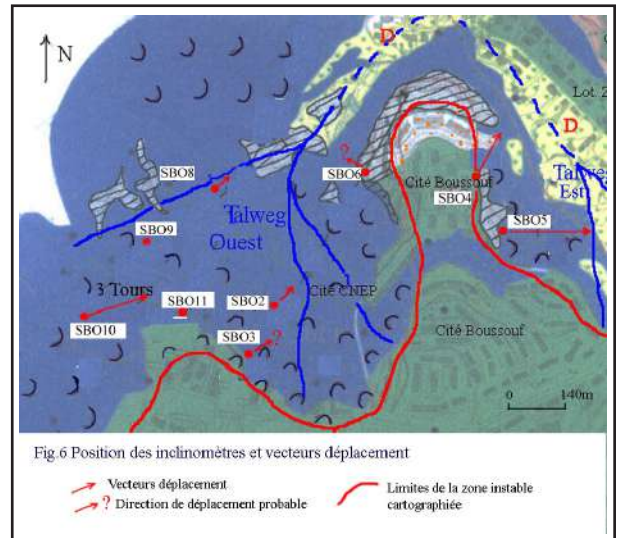


Fig. 6 - Position des inclinomètres et vecteurs déplacements

#### *Inclinometers position and displacement vectors*

Cette direction est commandée par les lignes de plus grandes pentes héritées en partie de l'érosion fluviale (talweg ouest). La déformation systématique de la majorité des inclinomètres, sur une période n'excédant pas pour certains, 70 jours, montre à quel point les glissements sont évolutifs. Les limites de la zone instable, jalonnée par plusieurs habitations, n'a de valeur que momentanément. Elle est appelée elle-même, à régresser vers le sud; c'est-à-dire vers la zone temporairement stable.

### 8. ANALYSE DE LA STABILITÉ D'UN GLISSEMENT DÉCLARÉ

Dans le cas d'un glissement déclaré, on dispose d'informations complémentaires qui permettent d'établir un "modèle" simplifié mais réaliste du point de vue mécanique du glissement.

Le raisonnement repose sur le constat qu'un glissement actif est un essai de rupture en vraie



grandeur, dont on connaît la position de la surface de rupture mesurée par inclinométrie et le coefficient de sécurité qui est très proche de 1 (on prendra  $F=1$ ). Cette méthode est appelée rétro-analyse (back analysis) que nous avons développée dans l'exemple du glissement de la culée du pont Sidi Rached (Pincet et al., 2008).

Nous nous trouvons ici, en présence de plusieurs glissements, profonds et actifs, de vitesse variable. Les pressions interstitielles jouent ici un rôle important.

**8-1. Hypothèses de calcul**

**a- Pressions interstitielles :** elles sont mal connues et dans tous les cas resteraient très complexes à mesurer, compte tenu du contexte géologique et géométrique. Guidés par les observations faites sur le site, nous ferons deux hypothèses de calcul :

- nappe au terrain naturel;
- nappe située à 2 m de profondeur.

**b- Surfaces de glissement :** elles ont été déterminées par les inclinomètres et extrapolées vers l'amont et l'aval suivant les indices géomorphologiques présents sur le site, les escarpements amont par exemple.

**c- Caractéristiques géotechniques :** Le sol a été modélisé par une seule couche de terrain de caractéristiques géomécaniques  $c'$ ,  $\phi'$  et de poids volumique  $20 \text{ kN/m}^3$ .

Les calculs sont effectués en faisant varier l'angle de frottement de  $5$  à  $20^\circ$  par pas de  $5^\circ$ . Seize calculs ont été effectués par profil et des calculs complémentaires ont été réalisés pour préciser les caractéristiques pour un coefficient de sécurité égal à 1 par exemple.

**8-2. Résultats des calculs**

La figure ci-après donne les résultats des calculs effectués pour le profil P03 (fig. 7)

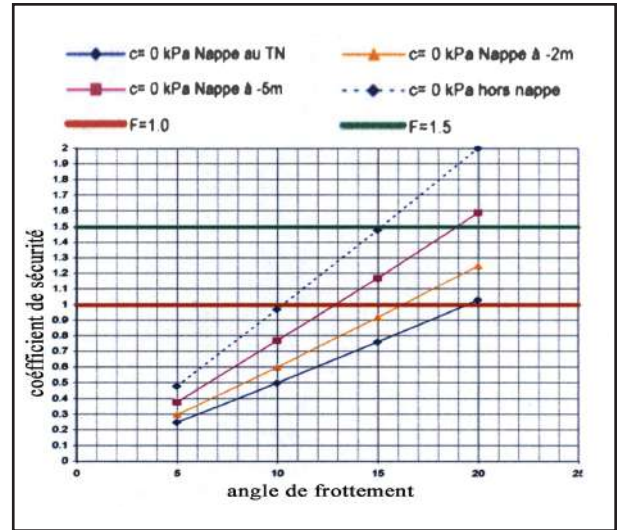


Fig. 7 - Variation du coefficient de sécurité, pour le profil P03, en fonction de l'angle de frottement avec plusieurs positions de la nappe.

**Security factor variation, P03 profil, depending on friction angle and water table position**

L'analyse du graphe met en évidence les points suivants (tab. VI) :

On note qu'un drainage semi-profond qui rabattrait la nappe du niveau  $-2 \text{ m}$  à  $-5 \text{ m}$ , apporte un gain de  $20\%$  au coefficient de sécurité lorsque l'angle de frottement  $\phi = 11^\circ$  et un gain de  $25\%$  lorsque  $\phi = 16^\circ$ . Ces améliorations par

**Tableau VI - Profil P3 - Paramètres géomécaniques pris en compte dans les calculs**  
**P3 profile - Geomechanical parameters taking by calculations**

Caractéristiques géomécaniques à la surface de rupture	Poids volumique $\text{kN/m}^3$	Cohésion $\text{kPa}$	Angle de frottement $^\circ$
les plus favorables	20	0	20
les plus probables	20	0	16
les plus défavorables	20	0	12

drainage (rabattement de nappe) ne suffisent pas pour stabiliser les talus.

### 8-3. Exemple de présentation des résultats des calculs

Pour les calculs de stabilité, nous avons sélectionné, comme pour le cas du glissement de Bélouizdad (D.U.C. de Constantine, 2004), la méthode des perturbations développée au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et intégrée dans le logiciel de calcul de stabilité des ouvrages et pentes TALREN. Elle est particulièrement bien adaptée au calcul des ruptures non circulaires qui sont celles observées à Boussouf (fig. 8).

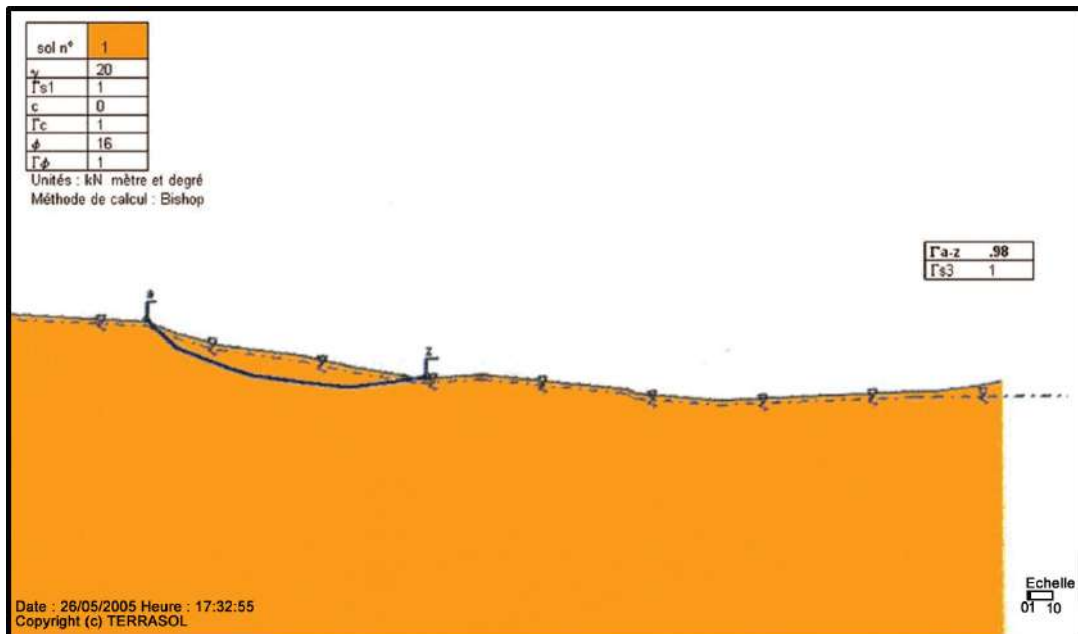
## 9. TRAITEMENT DES INSTABILITÉS - CONFORTATION

### 9-1. Problématique

La cause des instabilités relève de la nature argileuse du terrain, de l'eau (pressions interstitielles) et de la géométrie (pente des versants).

Les glissements se déclarent dès que les pentes avoisinent ou dépassent les 10% et c'est le cas des versants de Boussouf. Ils se manifestent essentiellement dans la partie supérieure altérée et décomprimée des argiles miocènes. L'épaisseur de cette frange altérée, peu stable, est variable. Elle est généralement comprise entre 5 et 10 m. La présence de gypse contribue à cette prédisposition des argiles au glissement. Ce minéral instable est intimement associé aux fissures de la roche dans lesquelles il recrystallise et c'est probablement cette recrystallisation qui engendre des pressions déstabilisatrices du milieu argileux naturellement peu résistant.

Les eaux de pluie tombant sur le site Boussouf ne sont plus suffisamment évacuées par le réseau hydrographique. Celui-ci a été barré par des bâtiments, des routes et des chemins. Certains talwegs ont disparu, recouverts par des habitations. Les systèmes de collecte des eaux pluviales sont, la plupart du temps, inexistantes ou bouchés. Les conséquences de cet état sont :



**Fig. 8-** Profil P3. Surface de rupture, nappe à 2 m, hors séisme,  $F=0,98$   
**P3 profile Rupture surface, water level : 2m, earthquakeless,  $F=0.98$**

- l'accumulation d'eau dans les points bas des chaussées et plates-formes, devant les immeubles et sur les replats;

- des écoulements anarchiques avec érosion et ravinement qui se heurtent aux immeubles et murs de soutènement ou longent les routes, en déposant de grandes quantités de matériaux.

On sait que du point de vue de la stabilité des versants, l'accumulation d'eau dans une pente est particulièrement néfaste.

La réactivation des glissements profonds est plus spécifiquement la conséquence de l'augmentation des pressions interstitielles par défaut de drainage et d'évacuation des eaux et/ou des travaux de terrassement en pied de talus.

Des ruptures, plus profondes que l'horizon altéré, sont très vraisemblables et l'inclinomètre SBO8 semble indiquer une surface de rupture à 17m de profondeur. Cette profondeur compatible avec la géométrie des lieux est possible dans des argiles miocènes qui sont plissées et affectées par un réseau de discontinuités : fractures, diaclases tapissées de gypse.

## 9-2. Mise en œuvre de solutions de confortation possibles

L'urbanisation du site Boussouf est récente et comprend de nombreux immeubles et tours qui sont des structures rigides admettant peu de déformations avant de se fissurer.

Pour éviter l'évolution des désordres et réparer efficacement les bâtiments récupérables, il est nécessaire d'arrêter les déplacements. Or, les solutions confortatives classiques : retalutage, substitution de matériaux, drainage, cloutage, soutènement, ne permettent pas de garantir l'arrêt des déplacements.

En effet, plusieurs aspects spécifiques à ce site, rendent improbable un arrêt rapide et définitif des déplacements :

- la grande difficulté est tout d'abord l'installation des systèmes confortatifs de densité suffisante dans cette zone très urbanisée;

- les glissements sont profonds, ce qui limite l'efficacité des solutions de drainage par tranchées, outre la faible perméabilité du milieu argileux prédominant, instable;

- en raison des désordres, les conduites d'eau et d'assainissement se sont rompues en de très nombreux endroits, déversant de l'eau en quantité dans les terrains. Ces infiltrations doivent être supprimées. Il faut donc réhabiliter tout le réseau d'assainissement et d'AEP en employant une solution qui supporte les déplacements du terrain en attendant la stabilité. Cette seule obligation est en elle-même une contrainte complexe très coûteuse;

- l'adoucissement des pentes augmente leur coefficient de sécurité, mais insuffisamment pour garantir la stabilité complète des versants. Cette solution est, par ailleurs, rendue difficile par la présence des constructions.

### 9-2-1. Lutte contre la régression des instabilités

Il s'agit de protéger dans la mesure du possible, les habitations et les immeubles situés à la limite des zones instables, de l'effet de la régression des instabilités. Cette limite est représentée sur la carte des instabilités (fig.1) : la ligne «L» déduite de la géomorphologie, des observations sur site et des prises de vues aériennes (fig. 9) constitue une zone de transition entre la partie stable du plateau (zone E) et la partie instable, sur les pentes et dans les talwegs (zone A).

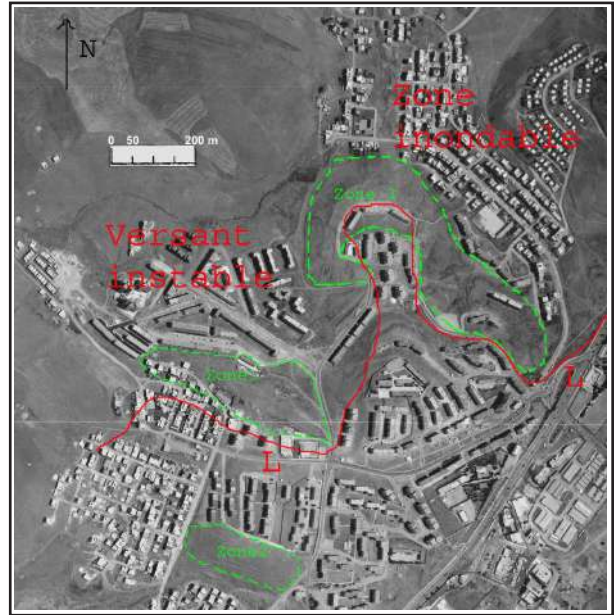
"Protéger" consiste à augmenter le coefficient de sécurité de la partie supérieure des talus. On constate que celle-ci est très souvent surchargée en remblais.

**a- Retalutage :** pour augmenter localement le coefficient de sécurité et éviter la régression des instabilités, il s'agit d'évacuer les remblais et d'adoucir les pentes pour leur faire retrouver une pente voisine de 10°. Ces confortations concernent 3 zones de grande superficie (fig. 9). Elles entraînent le déplacement de deux écoles (zones 1 et 2), la démolition de plusieurs immeubles habités dans le talweg est (zone 3) et de plusieurs villas au sud-ouest (zone 1).

**b- Clouage de la crête des talus :** pour limiter les démolitions dans les zones 1 et 3 et éviter la régression des glissements (fig. 9), nous proposons de mettre en œuvre un clouage en tête de talus après l'adoucissement de sa pente (fig. 10).

Les calculs de stabilité effectués avec la géométrie du profil P03 (fig. 2), conduit aux résultats indiqués dans le tableau III. On note que si l'on se place dans des hypothèses de cohésion et d'angle de frottement moyen du sol, l'augmentation du coefficient de sécurité après clouage est toujours supérieur à 146 %; le clouage envisagé est donc très efficace. Les coefficients de sécurité en cas de séisme sont égaux ou supérieurs à 1,5; la stabilité est donc assurée même en cas de séisme.

Il faut noter que cette amélioration du coefficient de sécurité ne concerne que la partie supérieure des talus traités. Elle n'a aucun effet sur la stabilité des grands glissements dans la pente ou plus à l'aval.

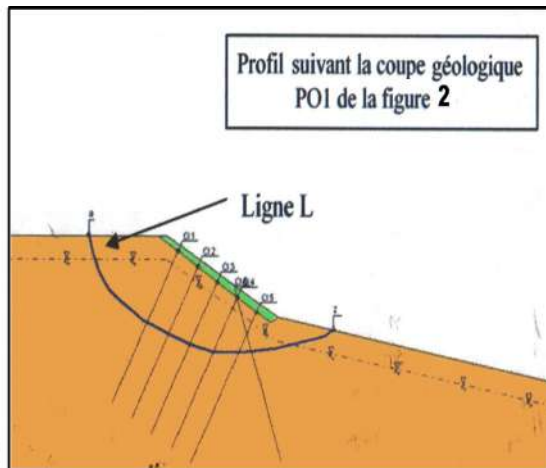


**Fig. 9 - Zones à retaluter et à réaménager**  
**Modifying and arrangement slope zones**

**L :** Limite actuelle entre le versant nord instable et le replat sud stable (**Current boundary between the unstable Northern slope and Southern stable ledge**)

sol n°	1	2
$\gamma$	20	22
$\Gamma_{s1}$	1	1
c	10	0
$\Gamma_c$	1	1
$\phi$	16	35
$\Gamma_\phi$	1	1
qsCl	100	100
Pi	2000	2000
K <sub>s</sub> .B	2245	2245

Unités kN mètre et degré  
Méthode de calcul Perturbations



**Fig. 10 - Clouage du talus amont, zone 1. Nappe à 2m, avec séisme, F = 1.86**

**High side slope nailing, zone 1. water level at 2m deep, seismic condition; F=1.86**



**Tableau VII - Stabilité du talus amont avec clouage, suivant diverses hypothèses. TN : côte du terrain naturel**  
***Nailed high side slope stability, depending of numerous hypothesis. TN: terrain altitude***

Accélération horizontale (g)	Position de la nappe / TN (m)	Cohésion (kPa) et angle de frottement du sol (°)		Coefficient de sécurité		
				avec clouage	sans clouage	amélioration
0	TN	0	20	2.1	0.7	200%
0	TN	0	16	1.6	0.5	220%
0	- 2 m	0	12	1.6	0.6	166%
0	- 2 m	10	20	3.8	1.5	153%
0	- 2 m	10	16	3.2	1.3	146%
0,1	TN	10	20	1.8		
0,1	TN	10	16	1.5		
0,1	- 2 m	10	20	2.2		
0,1	- 2 m	10	16	1.9		

### 9-3. Maîtrise des risques d'inondation et de coulées

La prévention des risques d'inondation et de coulée boueuses nécessite des travaux d'aménagement. Ces travaux concernent l'Oued Mgharouel au sud et les talwegs est et ouest, au nord et auront pour but de :

- rétablir, dans la mesure du possible, le cours naturel de ces cours d'eau, notamment au point de confluence des talwegs est et ouest, quitte à démolir des villas si nécessaire, ceci en canalisant leurs écoulements par des aménagements hydrauliques adéquats;
- protéger des crues, les habitations situées sur les berges de ces cours d'eau en endiguant ces berges;
- purger les lits de ces cours d'eau et veiller à ne pas entraver leur écoulement naturel par des remblais tels que ceux déposés à même le lit du talweg ouest. Ces remblais constituent une menace directe de coulées boueuses aux nombreuses villas situées au point de confluence des talwegs ouest et est, notamment lors des précipitations hivernales et des pluies subites d'été.

### 10. CONCLUSIONS

Parmi les nombreux glissements de terrain étudiés à l'échelle de la ville de Constantine, ceux de Boussouf sont des plus préoccupants, eu égard aux volumes de terre en mouvement et au tissu urbain dense et récent, qui a été touché et / ou menacé.

L'ampleur et la vitesse des glissements de terrain sont très variables. Des glissements peuvent se déclencher et se déplacer rapidement - jusqu'à 37 mm/mois en période sèche - en menaçant des immeubles. Les déplacements des plus grands glissements sont lents : 12 mm/an environ, d'après les premières mesures. Ceci signifie que leurs effets ne peuvent être décelés qu'à moyen ou long terme, pouvant laisser croire que le danger n'existe pas.

Cette étude montre, qu'il est certain que les constructions qui se trouvent sur des glissements actifs subiront à terme, de graves désordres et que le patrimoine construit en terrain instable ne pourra être sauvé. Il convient toutefois, d'éviter la régression des instabilités qui menacent des habitations construites sur des terrains actuellement stables.

La régression des glissements de terrain peut être évitée par adoucissement des pentes et clouage de la crête du talus lorsqu'elle se rapproche des constructions. Pour assurer la stabilité de ces zones particulières, la démolition d'habitations proches de la pente doit être envisagée.

L'adoucissement des pentes ne peut à lui seul stabiliser les grands glissements observés sur le site, il contribue à l'amélioration du coefficient de sécurité des pentes traitées et évite la régression des instabilités vers des zones stables. Il s'agit ici de :

- supprimer les remblais déversés en tête de talus ou dans les pentes;
- régulariser les pentes et si possible les adoucir, en supprimant les escarpements locaux;
- rétablir et compléter les cheminements d'eau pluviale tout en évitant l'érosion.

**Remerciements :** Nous remercions les professeurs R. Bahar et A. Issaadi pour les corrections et suggestions apportées à cet article, et qui nous ont permis de l'améliorer.

## BIBLIOGRAPHIE

- BENAÏSSA, A. ET BELLOUCHE, M.A. 1999.** Propriétés géotechniques de quelques formations géologiques propices aux glissements de terrains dans l'agglomération de Constantine. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 57, n°3 – March 1999.
- BOUGDAL, R. 2007.** Urbanisation et mouvements de versants dans le contexte géologique et géotechnique des bassins néogènes d'Algérie du Nord. *Thèse Doctorat, Univ, Bab Ezzouar, USTHB, Alger.*
- BOUGDAL, R., BELHAÏ, D. ET ANTOINE, P. 2007.** Géologie détaillée de la ville de Constantine et ses alentours : une donnée de base pour l'étude des glissements de terrain. *Bull. Serv. Géol. Nat. de l'Algérie*, vol.18, n° 2.
- DIRECTION DE L'URBANISME ET DE LA CONSTRUCTION, CONSTANTINE (D.U.C), 2004.** Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine.
- EVANS, G. 1998.** Les glissements de terrain dans la ville de Constantine, Algérie : géologie, géotechnique et travaux de correction potentielle. *Direction de l'Urbanisme et de la Construction, Constantine (D.U.C.)*, 48p.
- PINCENT, B., BOUGDAL, R., PANET, M. ET BENTABET, A. 2008.** Le pont Sidi Rached à Constantine (Algérie): une culée dans un grand glissement de terrain. *Bull. Serv. Géol. de l'Algérie*, vol. 19, n° 3.
- PAULSEN, 1999.** Glissements de terrain dans la ville de Constantine. *Mission des experts du 1 au 9/12/1999. Direction de l'Urbanisme et de la Construction, Wilaya de Constantine.*
- CENTRE DE GÉNIE PARASISMIQUE (C.G.S.).** Étude de l'aléa sismique de la région de Constantine. *Rapport final du 20/11/2003.*
- CONTRÔLE TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION (CTC EST), 1995.** Rapport d'expertise préliminaire sur l'état des lieux et glissements de terrain de la Zhun de Boussouf, Constantine. 22p.