

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Jijel  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

جامعة جيجل  
كلية علوم الطبيعة والحياة  
قسم علوم الأرض والكون

## Mémoire

Présenté par :

**SEDRATI SABER**

Pour l'obtention du diplôme de

**Magister**

**Filière : Géologie**

**Option : Géologie Appliquée**

**Thème**

**Géotéchnique et aléa sismique de la ville de Constantine**

Soutenu publiquement le 17 / 11 / 2014 devant le jury composé de :

|                     |                     |            |                           |
|---------------------|---------------------|------------|---------------------------|
| <b>Président :</b>  | BOUZENOUNE Azzedine | Professeur | Université de Jijel       |
| <b>Rapporteur :</b> | ZENNIR Abdelmalek   | MCA        | Université de Jijel       |
| <b>Examineurs :</b> | BENAISSA Abdelkader | Professeur | Université de Constantine |
| <b>Examineurs :</b> | BENABBAS Chaouki    | Professeur | Université de Constantine |

Année universitaire 2014/ 2015

Numéro d'ordre :

# Sommaire

## Problématique

### CHAPITRE 1 : CADRE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

|   |   |
|---|---|
| I. Cadre géographique et localisation du secteur d'étude..... | 2 |
| II- Cadre géologique local.....                               | 3 |
| II.1. Présentation des séries stratigraphiques.....           | 3 |
| II.1.1. Le Néritique Constantinois.....                       | 3 |
| II.1.2. Les nappes telliennes.....                            | 4 |
| II.1.3. Les nappes des flyschs.....                           | 5 |
| II.1.4. Le Miocène.....                                       | 5 |

### CHAPITRE 2 : HYDROLOGIE ET HYDROGÉOLOGIE

|  |    |
|--|----|
| I. Hydrologie.....                       | 10 |
| I.1. Climat .....                        | 10 |
| I.1.1. Précipitation .....               | 10 |
| I.1.2. Température .....                 | 11 |
| I.2. Le réseau hydrographique .....      | 12 |
| I.2.1. Les principaux oueds .....        | 13 |
| II. Hydrogéologie.....                   | 14 |
| II.1. Ressources en eau souterraine..... | 14 |

### CHAPITRE 3 : NEOTECTONIQUE ET SISMOTECTONIQUE

|  |    |
|--|----|
| I. Cadre sismotectonique régionale.....                                  | 16 |
| I.1- Introduction .....  | 16 |
| II. La sismicité historique .....  | 18 |
| II.1. Généralité .....   | 18 |
| II.2. Disponibilité des données de sismicité historique en Algérie ..... | 19 |

|  |    |
|--|----|
| II.3. Les séismes décrits dans la région de Constantine avant 1900 .....               | 20 |
| II.4. les séismes destructeurs décrits dans la région de Constantine depuis 1900 ..... | 21 |
| III. Étude néotectonique .....   | 25 |
| III.1. Étude photogéologique et linéamentaire .....                                    | 25 |
| III.1.1. Méthodologie .....  | 25 |
| III.1.2. Présentation des résultats .....  | 25 |
| IV. Tectonique actuelle .....  | 30 |
| IV.1. Généralité .....   | 30 |
| IV.2. Failles actives du Constantinois .....   | 30 |
| IV.2.1. Faille d'Ain Smara (Constantine) .....   | 30 |
| IV.2.2. Accident du front de nappes constantinois.....                                 | 31 |
| IV.2.3. Faille de Temlouka (Guelma) .....  | 31 |
| IV.2.4. Faille de Sigus (Oum El Bouaghi) .....   | 31 |
| V. Conclusion .....  | 31 |

## **CHAPITRE 4 : PRINCIPAUX GLISSEMENTS DE TERRAIN**

|  |    |
|--|----|
| I. Introduction .....  | 32 |
| II. Quelques glissements de terrain de la ville de Constantine ..... | 33 |
| II.1. Glissement de Belouizdad-Koudia-Kitouni (ex-Saint Jean) .....  | 33 |
| II.2. Glissement du Ciloc .....                                      | 35 |
| II.3. Les glissements de Boussouf .....                              | 38 |
| II.4. Glissement du pont de Sidi Rached et Chemin forestier .....    | 39 |
| II.5. Glissement de Belle vue .....                                  | 42 |
| II.6. Glissement de la mosquée Emir Abd El Kader .....               | 45 |
| II.7. Glissement de l'université de Constantine .....                | 47 |
| II.8. Glissement de la Décharge Publique-Ben Chargui-Salah Bey ..... | 47 |
| II.9. Glissement du Bardo .....                                      | 47 |

## **CHAPITRE 5 : GEOTECHNIQUE DE LA VILLE DE CONSTANTINE**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>I. Introduction .....</b>                                | <b>49</b> |
| <b>II. Description géotechnique des unités du sol .....</b> | <b>50</b> |
| <b>II.1. Le rocher de Constantine .....</b>                 | <b>50</b> |
| <b>II.2. Les formations marneuses .....</b>                 | <b>51</b> |
| <b>II.3. Les formations argilo-marneuse .....</b>           | <b>53</b> |
| <b>II.4. Les conglomérats .....</b>                         | <b>56</b> |
| <b>II.5. Les terrasses récent à actuel .....</b>            | <b>57</b> |

## **CHAPITRE 6 : ALEA SISMIQUE DE LA VILLE DE CONSTANTINE**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>I. Introduction .....</b>                                      | <b>60</b> |
| <b>II. Étude de l'aléa sismique (glissement de terrain) .....</b> | <b>60</b> |
| <b>II.1. Les formations marneuses .....</b>                       | <b>61</b> |
| <b>II.2. Les formations argilo-marneuse .....</b>                 | <b>69</b> |
| <b>II.3. Les argiles rouges de conglomérats .....</b>             | <b>77</b> |
| <b>III. Conclusion .....</b>                                      | <b>85</b> |
| <b>CONCLUSION ET RECOMMANDATION.....</b>                          | <b>86</b> |
| <b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>   | <b>89</b> |
| <b>LISTE DES FIGURES.....</b>                                     | <b>92</b> |
| <b>LISTE DES PHOTOS.....</b>                                      | <b>94</b> |
| <b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>                                    | <b>95</b> |
| <b>ANNEXE.....</b>  | <b>96</b> |
| <b>RESUME.....</b>  | <b>98</b> |



## I- PROBLEMATIQUE

Les séismes sont des catastrophes naturelles aussi meurtrières qu'imprévisibles. En l'espace de quelques dizaines de secondes et sans signes précurseurs clairement identifiables, des villes entières peuvent être détruites et les victimes se comptent par dizaines de milliers. A défaut de prédire les séismes, mieux vaut prévenir leurs effets et construire des bâtiments capables de résister aux secousses, ils représentent donc un enjeu autour duquel gravitent des facteurs humains, économiques et environnementaux.

Le microzonage sismique est une pratique récente développée dans quelques pays ayant une activité sismique importante, tel que le Japon, les U.S.A, l'Italie, la Yougoslavie et la France. L'étude est menée afin de réduire la vulnérabilité des concentrations urbaines et industrielles face au risque sismique.

Il comprend une somme d'informations géologiques, sismiques et géotechniques, qui varie suivant les pays, les auteurs et les moyens d'investigation. Les cartes de microzonage très élaborées, donnent des indications détaillées à l'échelle locale (fréquence et amplification des vibrations), permettant à l'urbaniste et au constructeur de choisir en fonction du zoning, le type de construction et de fondation qui assure aux ouvrages leur sécurité.

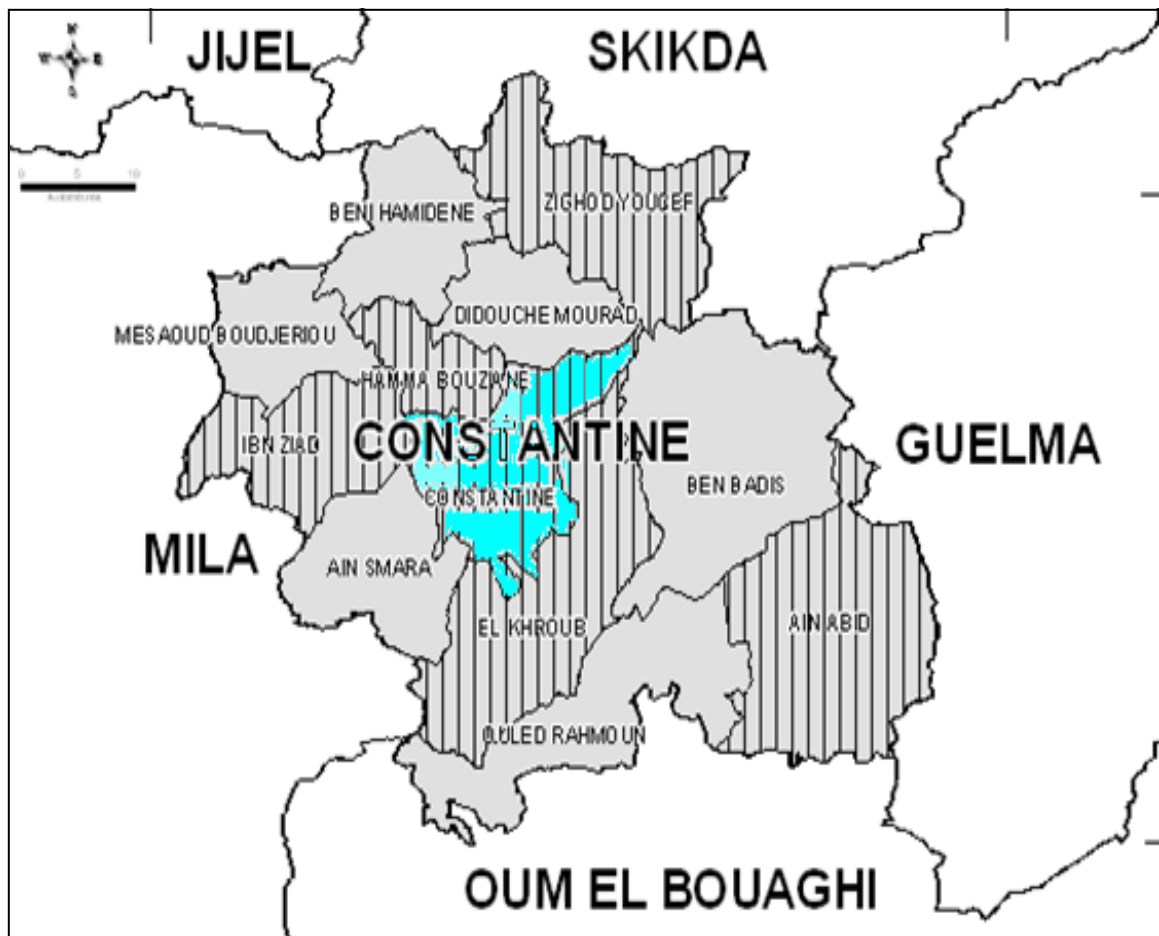
Vue que les catalogues de la sismicité historique de l'Algérie montrent que le Nord du pays a été ébranlé par de nombreux séismes de magnitudes modérées à élevées (Ech-Chelif ex El Asnam octobre 1980, **Constantine 1985**, Oued Djer 1988, Tipaza 1989, Mascara 1994, Aïn Témouchent 1999, Béni Ourtilane 2000 et le plus récent celui de Boumerdes Mai 2003), pour cela une étude de microzonage couvrant le secteur d'étude (Constantine) est la démarche la plus adéquate pour réduire les dégâts causés par un séisme.

# Chapitre 1

CADRE GÉOGRAPHIQUE  
ET GÉOLOGIQUE

## I - Cadre géographique et localisation du secteur d'étude

La région étudiée (ville de Constantine) est le chef lieu daïra de Constantine, elle fait partie du domaine constantinois (Nord-est Algérien) limitée géographiquement par les latitudes 36° 20' N et 36° 25' N et longitudes 6° 30' E et 6° 35' E. Elle fait partie du secteur Est des zones externes telliennes au Sud de la Petite Kabylie. Elle est limitée au sud par la wilaya d'Oum El Bouaghi, au nord par Skikda et Jijel, Guelma à l'Est et Mila à l'Ouest



 Zone d'étude

**Fig1 : Situation de la région d'étude**

## **II- Cadre géologique local**

La géologie de la ville Constantine et de sa périphérie montre quatre grands ensembles géologiques distincts : l'anté-nappes, les nappes de charriages, le Néogène post-nappes et le Quaternaire.

L'ensemble anté-nappes correspond aux formations anté-néogènes dont le Crétacé néritique constitue le soubassement et dont l'enracinement ou le flottement fait l'objet de grandes controverses. C'est pourquoi, il est appelé môle néritique constantinois.

Les unités supérieures sont considérées allochtones : nappes telliennes (épitelliennes), ultratelliennes, flysch massylien (à microbrèches) et flysch numidien. Ce dernier est largement développé dans le Dj Ouahch, au-delà de la limite NE du secteur étudié.

L'ensemble post-nappes est constitué de formations détritiques rouges du Miocène moyen, de marnes à gypses, de marnes brunes et de calcaires lacustres suivi du Quaternaire continental argilo-conglomératique.

### **II.1. Présentation des séries stratigraphiques**

#### **II.1.1. Le Néritique Constantinois:**

Le « Rocher » de Constantine, sur lequel est bâtie l'antique Cirta (époque romaine), est découpé par les gorges profondes du Rhummel, qui offrent la série la plus complète du Néritique constantinois.

A Constantine, le Crétacé moyen néritique affleure largement dans la partie nord-centrale de la ville. Il est limité par un réseau conjugué de failles sub-verticales (N130, N010-N020°E et E-W), des unités telliennes et du Miocène post-nappes

- Sa limite Nord correspond aux falaises de Sidi M'Cid.

- Au sud et à l'ouest, il est limité par une faille de direction N130 qui le met en contact avec les conglomérats néogènes et les marnes pélitiques telliennes. Cet accident, bien visible à l'entrée amont des gorges du Rhummel (pont de Sidi Rached), se prolonge vers le NO en passant par la place de la « Brèche ». (EEG SIMECSOL 2002)

- A l'ouest, par la faille N010 longeant la falaise la plus occidentale entre les quartiers Belouizdad et la vieille ville (Casbah).

- A l'est, c'est une limite qui longe sensiblement la rue Chihani Bachir, orientée N20, le long d'accidents sub-méridiens.

Ces grands accidents qui délimitent bien le Rocher, sont associés à une fracturation secondaire qui découpe le massif et favorise notamment l'entaille des gorges du Rhummel, suivant des directions prédominantes N10, N100 à N130, depuis le pont de Sidi Rached jusqu'au Nord du Pont de Sidi M'Cid. (EEG SIMECSOL 2002)

La succession stratigraphique, d'après Coiffait .P.E (1992), est la suivante :

- A la base, des calcaires massifs cristallins à rudistes et orbitolines par analogie de microfaciès avec le Djebel de Debar ; il s'agirait de Cénomaniens (8 m).
- Des calcaires azoïques cristallins, parfois massifs, gris-jaunâtre, alternant avec des calcaires fins, blancs (azoïques), d'une puissance de 105 m.
- Des calcaires gris plus ou moins noirâtres, à riche association de Miliolidés et d'autres foraminifères qui ont permis de dater le Cénomaniens (30 m).
- Des calcaires gris, rubanés à pâte fine avec quelques bioclastes. On y a reconnu des faciès qui correspondent au Turonien supérieur.

Au niveau du pont de Sidi M'Cid, sous l'hôpital, le Turonien et le Sénonien sont observés en bancs métriques, reposant sur le Cénomaniens. Au-dessus, se développe une vingtaine de mètres de calcaires noirs légèrement fétides, biodétritiques. Ces derniers se terminent par des calcaires à rognons de silex. La présence de Globotruncana permet d'affirmer qu'il s'agit du Sénonien.

Une controverse subsiste sur la nature des marnes qui surmontent les calcaires du Rocher. Ces marnes constituent (J.M.Vila, 1980) une unité tectonique (nappe) sénonienne au-dessus du rocher de Constantine, alors que pour P.E.Coiffait (1992), ces marnes noires sont la suite progressive des termes précédents, d'âge maestrichtien.

Au pont de Sidi Rached, à l'intérieur du dépôt de carburant de Naftal, il est bien visible, de bas en haut, la coupe ci-après :

- Des calcaires néritiques,
- Un niveau brun clair oxydé et raviné (hard ground),
- Des pélites et grès calcaires.

### **II.1.2. Les nappes telliennes**

Ce sont des séries épaisses à dominante marneuse. On distingue du nord au sud :

- **Les nappes ultra-telliennes (épitelliennes):** d'âge néocomien à lutétien supérieur, leur faciès est marneux à marno-calcaire.

- **Le Priabonien à blocs** : il s'agit de formations argileuses ou marneuses de teinte grise ou gris-verdâtre, recouvertes par un ensemble écaillé, complexe de type ultratellien. Ces formations affleurent essentiellement au sud de Constantine
- **Les nappes telliennes au sens strict (mésotelliennes)** : d'âge sénonien inférieur à lutétien, elles sont représentées par des marnes noires à boules jaunes et des calcaires clairs.
- **Les nappes pénitelliennes** : Elles sont marneuses et marno-calcaires d'âge lias à maestrichtien

### **II.1.3. Les nappes des flyschs**

Elles sont subdivisées en deux grands ensembles :

- **Le flysch massylien à microbrèches**

Au SE de l'Université, sur la rive gauche de l'oued Boumerzoug, et au SO du parc du Djebel Ouahch (route de Mechta Tafrent), une série typique de flysch à microbrèches d'âge crétacé supérieur à affinité massylienne, affleure largement.

Ce faciès tranche nettement avec les faciès telliens. Il constitue une nappe bien individualisée sans risque de confusion. Il s'est manifestement déposé dans un domaine paléogéographique différent du domaine tellien et vraisemblablement immédiatement au nord de l'aire de dépôt de l'ultratellien (Coiffait.P.E., 1992).

Il s'agit d'une alternance de calcaires microbréchiques et de pélites marneuses souvent micacés. (EEG SIMECSOL 2002)

- **La nappe du flysch numidien**, formée de grès massif surmontant des argiles, l'ensemble étant d'âge oligocène à aquitanien. Cette nappe est très développée et occupe la majeure partie de la région d'El Aria à l'Est et au Nord-est de Constantine où elle peut atteindre 400 m de puissance au Djebel Ouahch. (EEG SIMECSOL 2002)

### **II.1.4. Le Miocène**

La mise en place des nappes et des grands chevauchements des Maghrébides, fût suivie immédiatement par l'ouverture de bassins d'orientation latitudinale, souvent intra-montagneux, depuis l'Atlantique jusqu'en Sicile.

Ces bassins sont ouverts dans un édifice déjà structuré au cours des phases alpines. Ils sont dits post-nappes et scellent des contacts tectoniques qui juxtaposent des unités structurées en nappes (nappes de flysch, nappes telliennes).

A Constantine, ce sont surtout des formations sédimentaires qui sont liées à un bassin dont la subsidence débute au Miocène moyen.

On peut distinguer six (6) faciès dans ce Néogène post-nappes :

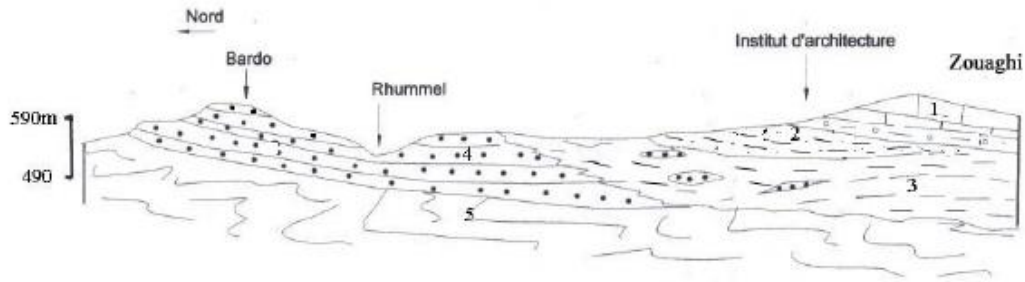
- ❖ Les conglomérats rouges tels que ceux du Koudiat et du Bardo. Ils correspondent aux « conglomérats de Chettabah » de Coiffait .P.E;
- ❖ Les argiles rouges comme celles des environs de l'Université ou du Ciloc ;
- ❖ Les grès bruns et conglomérats de Koudiat Touifez ;
- ❖ Les marnes à Gypse du Polygone d'artillerie avec leur conglomérat à éléments hétérogènes, bien roulés et grès gris-marron. Ces marnes fossilifères, renferment des niveaux riches en gastéropodes (Hélix) et des fragments de vertébrés ;
- ❖ Les marnes brunes à galets ;
- ❖ Les calcaires lacustres, parfois travertineux de Salah bey, Mansourah et Aïn el Bey, avec leur termes de base sablo-conglomératiques.

Selon PE. Coiffait (1992), les conglomérats, argiles, grès et marnes son d'âge astarasien (équivalent continental du Serravalien), tandis que les sables et calcaires lacustres sont du Quaternaire ancien.

Trois (3) coupes de terrain permettront de clarifier avec précision la succession lithostratigraphique du Mio-Pliocène de Constantine :

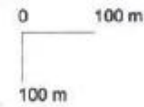
- La coupe A, entre Le Bardo et l'Institut d'Architecture (au sud de l'Université)
- La coupe B, entre la Koudiat Touifez et le sud du Polygone d'artillerie
- La coupe C, entre Bellevue et Chaabet Habet (El merdja). (EEG SIMECSOL 2002)

Fig.2 : Coupes géologiques de différentes directions de la ville de Constantine (Bougdal.R 2007)



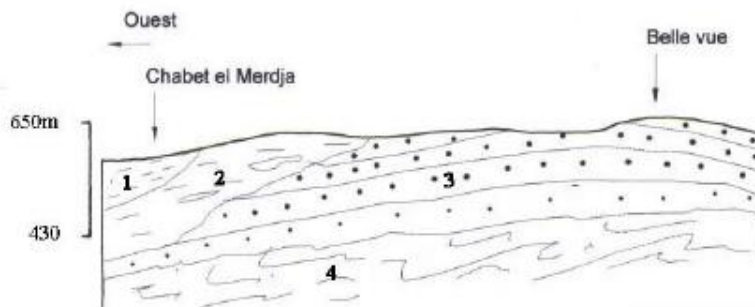
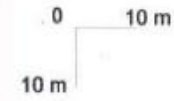
**Coupe entre le Bardo et l'Institut d'Architecture**

- 1: Argiles conglomératiques et calcaires travertineux, quaternaires,
- 2: Marnes brunes sableuses, miocènes,
- 3: Conglomérats et argiles rouges, miocènes, de l'Université,
- 4: Conglomérats rouges, miocènes du Bardo,
- 5: Marno-calcaires telliens



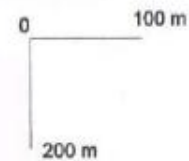
**Coupe du versant Nord de Zouaghi**

- 1: Dalles calcaires plio-quaternaires,
- 2: Argiles conglomératiques mio-pliocènes,
- 3: Marnes sableuses mio-pliocènes,
- 4: Marnes brunes supérieures, à gypse, mio-pliocènes,
- 5: Grès lenticulaires à gypse et à Hélix, mio-pliocènes
- 6: Marnes brunes inférieure à gypse lamellaire, mio-pliocènes



**Coupe entre Bellevue et Chabet el Merdja**

- 1: Marnes grises à gypse, miocènes,
- 2: Argiles rouges miocènes,
- 3: Conglomérats et grès miocènes,
- 4: Marno-calcaires telliens





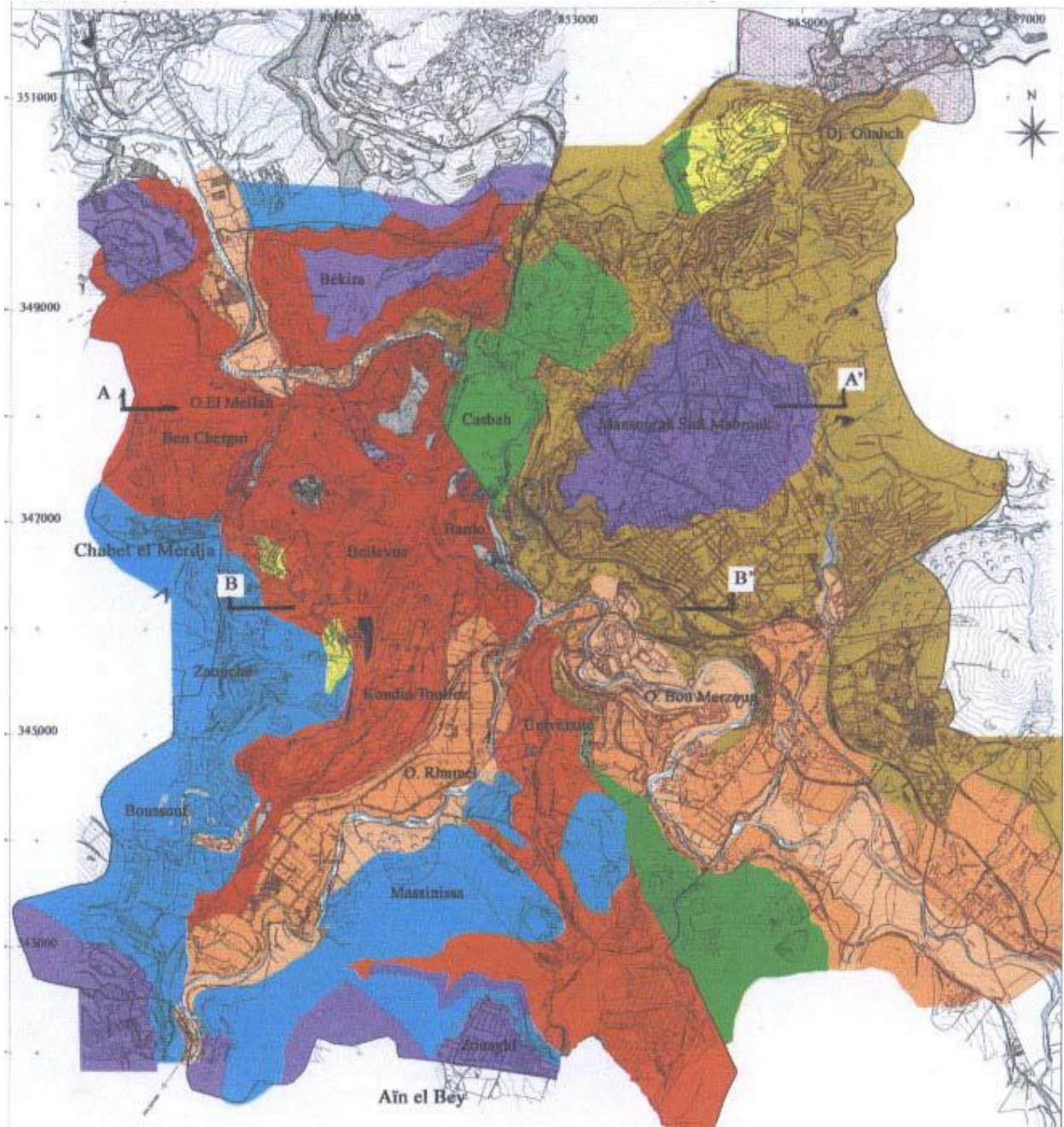


Fig.3 : Esquisse géologique de la ville de Constantine (Bougdal.R 2007)

### Légende de la carte géologique de Constantine

|   |  |
|---|--|
|    | Remblais épais   |
|    | Terrasse récente, basse (T2). Quaternaire.                                 |
|    | Terrasse ancienne, élevée (T1). Quaternaire.                               |
|    | Dépôts de pente, limoneux. Quaternaire                                     |
|    | Conglomérat à matrice limoneuse rouge du djebel Ouahch. Quaternaire ancien |
|    | Calcaires lacustres. Quaternaire.  |
|    | Conglomérat à matrice limoneuse. Quaternaire                               |
|   | a: Conglomérat et grès rouge<br>b: Argiles rouges<br>c: Marnes à gypse     |
|  | Miocène moyen à supérieur.   |
|  | Flysch massylien. Crétacé supérieur.                                       |
|  | Nappes telliennes. Crétacé-Eocène  |
|  | Calcaire néritique Cénomano-Turonien                                       |
|  | Faïlle et sens du déplacement  |
|  | Contact anormal  |
|  | Limite de couche   |
|  | Limite de couche incertaine  |
|  | Pendage et valeur  |

# Chapitre 2

HYDROLOGIE ET  
HYDROGEOLOGIE

## **I. Hydrologie**

Les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau et surtout les précipitations qui constituent le facteur principal.

Les différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon l'effet combiné des autres paramètres physiques (température et évaporation). Les facteurs climatiques sont dans l'ensemble des variations aléatoires dans le temps permettant d'expliquer quantitativement les variations du régime hydrologique.

### **I.1. Climat**

Notre secteur d'étude est soumis à un climat sec et chaud en été et un hiver froid. Il se caractérise par des fortes précipitations. (D'après l'O.N.M d'Ain El Bey. Constantine).

#### **I.1.1. Précipitation**

| année | Jan   | Fev  | Mar   | Avr   | Mai  | Juin | Juin | Jull | Aout | Sep   | Oct   | Nov   | Dec   | Moyenne |
|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 1995  | 99.9  | 187  | 50.3  | 59.9  | 58.6 | 43.4 | 43.4 | 3.1  | 6.3  | 49.9  | 9.1   | 41.4  | 22.7  | 52.6    |
| 1996  | 38.8  | 21.5 | 39.6  | 43.6  | 19.9 | 22.2 | 22.2 | 3.2  | 10.4 | 14    | 15.3  | 30.8  | 47.9  | 25.6    |
| 1997  | 42.3  | 60.4 | 36.5  | 78.1  | 60.4 | 16.5 | 16.5 | 0    | 7.9  | 78.5  | 50.5  | 102.1 | 75.1  | 50.7    |
| 1998  | 90.4  | 44.1 | 44.9  | 31.7  | 27.9 | 23.5 | 23.5 | 7.9  | 1.2  | 74.7  | 33    | 150.3 | 58.5  | 49      |
| 1999  | 21.2  | 18.5 | 19.7  | 32.6  | 79.7 | 38.9 | 38.9 | 0    | 28   | 84.5  | 24    | 80.2  | 111   | 44.9    |
| 2000  | 121.9 | 34.4 | 21    | 43.6  | 42.1 | 0    | 0    | 0.2  | 3.6  | 17.9  | 46.4  | 29.2  | 58.9  | 34.9    |
| 2001  | 28.1  | 53.5 | 19.8  | 33.7  | 11.3 | 3.4  | 3.4  | 19.1 | 9.7  | 92.2  | 11.7  | 25.4  | 19.9  | 27.3    |
| 2002  | 203.8 | 56.5 | 32.6  | 115.5 | 23.5 | 6.3  | 6.3  | 12.6 | 8.4  | 15.6  | 32.9  | 133.1 | 117.1 | 63.2    |
| 2003  | 92.2  | 13   | 61.2  | 52.3  | 73.9 | 31   | 31   | 0    | 5.1  | 55.2  | 43.9  | 22.4  | 178.7 | 52.4    |
| 2004  | 64.9  | 87.3 | 40.7  | 64.4  | 11.3 | 3.5  | 3.5  | 3.7  | 4.4  | 34.7  | 45.1  | 155.1 | 202.5 | 59.8    |
| 2005  | 106.1 | 71   | 39.5  | 21.1  | 85.5 | 3.4  | 3.4  | 0.2  | 25.3 | 17.3  | 5.5   | 23    | 74.6  | 39.4    |
| 2006  | 18.3  | 40.2 | 150.3 | 89.4  | 22.2 | 15.1 | 15.1 | 2.4  | 13.1 | 47.2  | 8.6   | 21.2  | 148   | 48.0    |
| 2007  | 12.6  | 15.4 | 102.9 | 22.6  | 62.6 | 20.3 | 20.3 | 3.9  | 11.2 | 53.2  | 37.6  | 38.9  | 131.9 | 42.8    |
| 2008  | 105.7 | 59.5 | 76    | 133   | 71.5 | 0.6  | 0.6  | 6.1  | 24.6 | 68.2  | 22.2  | 47.1  | 24.6  | 53.3    |
| 2009  | 96.4  | 43.8 | 57.9  | 85.2  | 72.9 | 16.5 | 16.5 | 8.6  | 18.7 | 136.5 | 54.8  | 24.3  | 61.1  | 56.4    |
| 2010  | 50.0  | 16.5 | 2.0   | 8.0   | 37.3 | 48.1 | 48.1 | 76.4 | 33.7 | 74.0  | 30.5  | 46.9  | 67.2  | 490.6   |
| 2011  | 40.6  | 24.2 | 7.0   | 5.2   | 13.4 | 87.0 | 87.0 | 26.8 | 53.3 | 8.0   | 174.5 | 65.4  | 66.4  | 571.8   |
| 2012  | 19.5  | 6.2  | 1.8   | 10.5  | 36.2 | 33.4 | 33.4 | 29.4 | 19.0 | 34.6  | 104.6 | 52.0  | 68.4  | 415.6   |

**Tab.1 : Données pluviométriques de la station Ain El Bey de Constantine pour la période 1995-2012**

Les précipitations englobent toutes les eaux présentes sous la forme liquide (pluie et brouillard), ou solide (neige et grêle).

Les données de la pluviométrie de la période comprise entre 1990-2012 enregistrées par la station Ain El Bey de Constantine ; sont représentées dans le tableau 2 :

D'après les données du tableau, on note que :

- Les mois les plus pluvieux sont : Janvier et Décembre avec respectivement une moyenne de 84,44 mm et de 72,79 mm
- Les mois les plus secs sont : Juillet et Août avec pour chacun, une moyenne de 9,26 mm et de 13,10 mm

### **I.1.2. Température**

Les données de la température pour la même période que celle des précipitations et pour la même station sont représentées dans le tableau.2.

A partir des données de la température, on remarque que

- Le mois le plus frais est Janvier avec une moyenne de 6,77°C.
- Le mois le plus chaud est Juillet avec une moyenne de 26 °C

La moyenne mensuelle des précipitations et des températures pour la période étudiée au sein de la station d'Ain el Bey (tableau 3) permet d'établir le graphique ombrothermique que nous représentons en fig.4

| année | Jan | Fev  | Mar  | Avr  | Mai  | Jun  | Juil | Aout | Sep  | Oct  | Nouv | Dec  | Moyenne |
|-------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| 1990  | 6.8 | 10.4 | 10.5 | 12.2 | 17.1 | 24.1 | 24.5 | 23.5 | 24.3 | 18.5 | 11.4 | 5.7  | 15.75   |
| 1991  | 5.9 | 6.1  | 10.8 | 9.9  | 12.9 | 20.7 | 25.5 | 25.4 | 22   | 16.1 | 10.4 | 5.8  | 14.29   |
| 1992  | 5.1 | 6.8  | 8.9  | 11.4 | 16   | 19.2 | 22.7 | 24.9 | 21.8 | 16.7 | 11.9 | 7.1  | 14.38   |
| 1993  | 5   | 5.8  | 8.6  | 12.3 | 17.3 | 22.6 | 25.4 | 26.2 | 21.7 | 17.8 | 10.9 | 7.8  | 15.2    |
| 1994  | 7.5 | 8.3  | 11.3 | 10.3 | 19.7 | 22.5 | 26.7 | 28.7 | 22.9 | 16.8 | 12.7 | 7.9  | 16.28   |
| 1995  | 5.9 | 9.7  | 9    | 11.2 | 18.2 | 21.9 | 25.9 | 24.5 | 20.7 | 16.7 | 11.5 | 10.1 | 15.44   |
| 1996  | 9.1 | 6.5  | 10.2 | 11.9 | 16.4 | 19.7 | 24.9 | 25.6 | 19.3 | 14.5 | 12.2 | 9.6  | 14.99   |
| 1997  | 8.3 | 9.1  | 9.1  | 12.3 | 19.9 | 24.9 | 25.5 | 25.3 | 21   | 16.7 | 11.7 | 8.3  | 16.01   |
| 1998  | 7.1 | 8.1  | 9.4  | 13.3 | 16.2 | 23.6 | 26.5 | 25.4 | 22.2 | 14.5 | 10   | 6.4  | 15.23   |
| 1999  | 7.1 | 5.5  | 10   | 13.3 | 21   | 24.2 | 25.4 | 28.8 | 23.1 | 19.3 | 10.4 | 7.5  | 16.3    |
| 2000  | 4.6 | 8.2  | 11.2 | 14.7 | 20.1 | 22.3 | 26.9 | 26.4 | 21.9 | 15.9 | 12.3 | 9.1  | 16.3    |
| 2001  | 8   | 7.4  | 14.3 | 12.4 | 17.2 | 23.8 | 27.1 | 26.3 | 21.6 | 20.2 | 10.9 | 6.6  | 16.32   |
| 2002  | 6.4 | 8.6  | 11.1 | 14   | 18.7 | 24.8 | 25.6 | 25   | 21.3 | 17.9 | 12.3 | 9.2  | 16.24   |
| 2003  | 7   | 6.3  | 10.5 | 14   | 17.7 | 25.3 | 28.4 | 27.4 | 20.9 | 18.6 | 12   | 6.8  | 16.24   |
| 2004  | 7.7 | 8.8  | 10.6 | 11.9 | 15.1 | 21.4 | 25.7 | 26.9 | 21   | 19.4 | 9.9  | 7.9  | 15.48   |
| 2005  | 4.6 | 4.7  | 10.8 | 13.2 | 19.2 | 23.9 | 26.8 | 24.7 | 21.1 | 17.8 | 11.8 | 7    | 15.47   |
| 2006  | 5.5 | 6.9  | 11   | 15.6 | 20.1 | 24.9 | 26.8 | 24.4 | 21   | 19.1 | 12.5 | 8.4  | 16.35   |
| 2007  | 8.3 | 9.4  | 9    | 13.4 | 17   | 23.2 | 26.2 | 25.9 | 21.2 | 16.9 | 9.9  | 6.8  | 15.6    |
| 2008  | 7.4 | 8.2  | 9.7  | 13.6 | 18.3 | 21.8 | 27.1 | 26.2 | 21.7 | 16.9 | 10.3 | 6.8  | 15.67   |
| 2009  | 7.1 | 6.5  | 9.4  | 10.9 | 17.7 | 23   | 28.3 | 25.6 | 19.9 | 15.3 | 11   | 9.8  | 15.38   |
| 2010  | 7.8 | 9.1  | 10.5 | 13.6 | 15.3 | 21.2 | 26.0 | 25.5 | 20.6 | 16.4 | 11.6 | 8.2  | 15.5    |
| 2011  | 7.2 | 6.5  | 9.9  | 14.5 | 16.9 | 21.3 | 26.2 | 26.5 | 22.1 | 15.8 | 12.1 | 7.7  | 15.6    |
| 2012  | 6.2 | 3.7  | 10.1 | 12.7 | 17.8 | 25.6 | 27.4 | 28.3 | 21.7 | 18.4 | 12.9 | 7.8  | 16.1    |

**Tab.2 : Données de la température de la station Ain El Bey de Constantine pour la période 1995-2012**

| Mois      | J     | F     | M     | A     | M     | J     | JU   | OUT   | S     | O     | N     | D     |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P(m<br>m) | 72,79 | 49,49 | 47,41 | 54,17 | 44,58 | 22,66 | 9,26 | 13,10 | 47,47 | 42,56 | 59,01 | 88,44 |
| T(c°)     | 6,77  | 7,42  | 10,3  | 12,7  | 17,6  | 22,9  | 26   | 26    | 21,5  | 17,2  | 11,4  | 7,75  |

Tab.3 : La moyenne mensuelle des précipitations et des températures

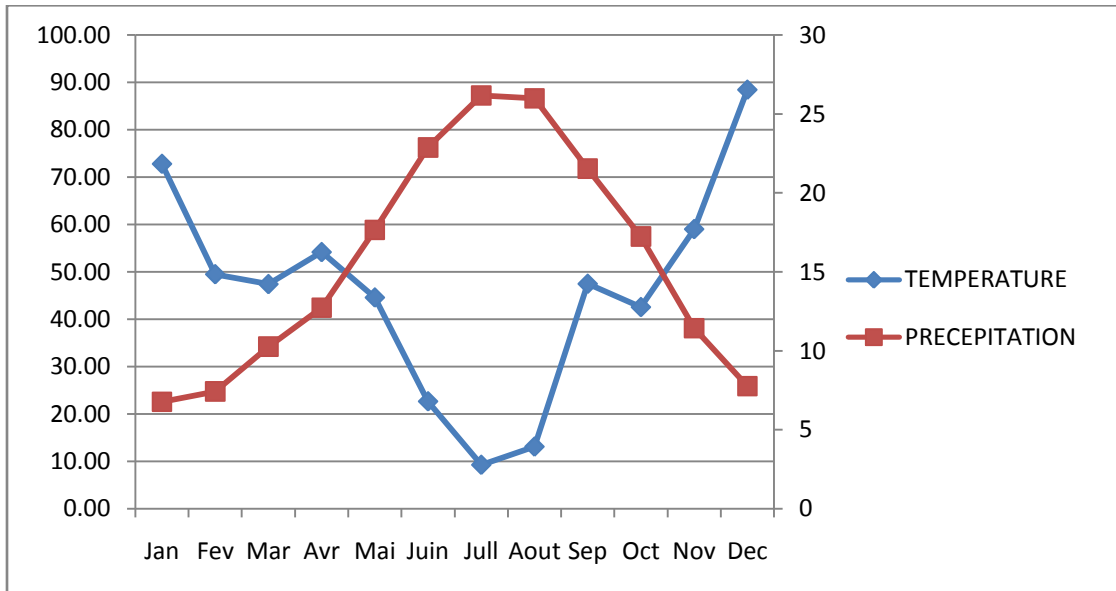


Fig.4 : Graphe Ombrothèrmique (1990-2012)

A partir du graphe ombrothèrmique des données moyennes mensuelles de précipitation et de température, on note que les mois les plus pluvieux sont : Décembre, Janvier, Février correspond les mois les plus frais.

La période la plus sèche est représentée par les mois les plus chauds et à faible pluviométrie, elle s'étend généralement du mois de Juin à Août.

### I.2.le réseau hydrographique

La région de Constantine est traversée par des cours d'eau à ruissellement intermittent, ayant un régime d'écoulement irrégulier et parfois excessif en hiver, par contre, en été, ils sont le plus souvent à sec.

D'autre part, la nature des terrains et leur perméabilité ont une grande influence sur la répartition des cours d'eau notamment dans les régions des flyschs où le réseau hydrographique est très dense du fait de la faible perméabilité de ces derniers et donc un phénomène d'érosion intense s'ensuit.

Au niveau des formations mio-pliocènes, le réseau devient moins dense surtout lorsque celui-ci traverse les formations argilo-marneuses rouges qui présentent des niveaux très grossiers d'une grande perméabilité, ce qui induit un ruissellement faible et une infiltration importante.

### **I.2.1. Les principaux oueds :**

- **Le Rhummel :**

Le Rhummel est le principal oued de la région, il prend sa source à BELAA (NW de Tadjnet) et son exutoire se situe à Sidi Abdelaziz (Jijel par l'oued Kebir), ainsi, il occupe une grande étendue en drainant avec son affluent l'oued Bou Merzoug une superficie de 4000 Km<sup>2</sup> qui correspond au bassin versant considéré du Kebir-Rhummel.

Il façonne les zones d'accumulation actuelles, sape les berges et emporte ainsi des pans entiers de basses terrasses. Il creuse son lit dans des matériaux essentiellement peu cohérents. Son action ne rencontre donc aucun obstacle, hormis au niveau des massifs calcaires ou dans des ensembles conglomératiques (Benaissa, 1989).

Le Rhummel traverse, suivant une direction SW-NE, dans son parcours d'amont en aval : la plaine d'oued Athmania, celle d'Ain Smara et s'écoule vers Constantine où il va confluer avec le Bou Merzoug.

En dehors des gorges calcaires néritiques, la circulation des eaux se fait dans un chenal de 1.5 m de profondeur moyenne et de largeur très variable, allant de 4 m à 10 m environ. Au niveau des gorges, l'oued Rhummel dévie : il prend une direction NW jusqu'à Sidi Merouane où il va confluer avec l'oued Ennadja.

En traversant la Petite Kabylie, le Rhummel rejoint plus en aval la Méditerranée. Ses principaux affluents sont : O. Bou Merzoug, O.Hamma Bouziane, O.Mellah et O.M'gharouel.

- **Oued Bou Merzoug :**

C'est l'un des principaux affluents du Rhummel qui présente un écoulement permanent. Il prend la même direction NW- SE que la vallée du Rhummel et le rejoint en amont de la ville de Constantine.

Le Bou Merzoug traverse en grande partie les formations anciennes de type flyschs et draine d'amont en aval : les plaines de l'oued Rahmoun et celles d'El Kroub. Ses principaux affluents sont : oued Yakoub et Hamimine.

- **Oued Hamma Bouziane :**

C'est un affluent de l'oued Rhummel qui prend naissance au pied de Djbel Kellal, il coule suivant une direction SE – NW en amont et devient NE – SW au nord de Hamma Bouziane.

- **Oued Mellah :**

Il possède plusieurs affluents sous forme de “chaabets “, drainant la vallée du Mellah.

- **Oued M'gharouel :**

Il prend sa source au pied de Djbel Ben Ouataf au NW de Constantine, puis rejoint la vallée du Rhummel. Il constitue une limite entre les marnes de Boussouf et les calcaires de Djbel Hadj Baba

## **II. Hydrogéologie**

### **II.1. Ressources en eau souterraine :**

Il convient de noter l'existence de plusieurs niveaux d'eau, que ce soit dans les formations calcaires karstifiées ou dans les sédiments continentaux pliocènes, et aussi la possibilité que certains niveaux profonds puissent éventuellement remonter à la surface, ce qui explique l'abondance des sources dans la région.

Les études lithostratigraphique et géophysiques réalisées dans la région ont permis de déterminer deux types d'aquifères :

- Un aquifère profond, karstique du Crétacé ;
- Un aquifère superficiel, poreux du Mio-Plio-Quaternaire.

- **l'aquifère profond du Crétacé : (captif)**

Il est représenté par les calcaires karstifiés du Crétacé qui font partie de la nappe nérétique constantinoise. C'est un aquifère qui s'étend sous le plateau du Ain El Bey et plonge en direction de la vallée du Bou Merzoug au SE de Constantine.

Le toit de cette formation calcaire s'approfondit en allant vers le NE, par conséquent, l'épaisseur de la couverture étanche formée par les argiles marneuses du Mio-Pliocène est plus importante au NE.

L'alimentation de cette nappe se fait principalement par l'infiltration des eaux météoriques à travers les failles et les fissures de ces calcaires karstifiés.

Les paramètres de cet aquifère sont déterminés à partir des essais de pompage réalisés par l'E.B.E :



La perméabilité moyenne est de l'ordre de  $10^{-5}$  m/s, le débit maximum exploitable est de l'ordre de 25 l/s.

L'épaisseur de cet aquifère est de 260 m au minimum (profondeur maximale des forages), étant donné qu'aucun forage réalisé lors de cette campagne n'a atteint le mur des calcaires karstifiés.

- **l'aquifère superficiel :**

C'est un aquifère qui fait partie de l'ensemble Mio-plio-quadernaire. Celui-ci présente un faciès argilo-marneux avec présence d'intercalations détritiques.

Cet aquifère est constitué par trois (03) nappes :

- Nappe Quadernaire ;
- Nappe Plio-quadernaire ;
- Nappe Mio-pliocène.

Ces trois nappes suscitées, de par de leur nature lithologique, sont en communication continue entre elles. Il y a donc une liaison hydraulique qui relie ces aquifères, ce qui nous laisse penser que ces trois ensembles forment un complexe aquifère ayant pour substratum les marnes et les argiles du Miocène.

Les variations latérales et verticales de faciès dans ces formations argilo-marneuses rendent complexe l'étude des eaux souterraines.

En effet, la présence de niveaux grossiers perméables (sables et graviers), lenticulaires et discontinues dans ces formations laisse penser que les eaux souterraines s'accumulent sous forme de poches qui sont isolées avec de faibles débits.

Ainsi, lors d'une campagne de reconnaissance géotechnique réalisée sur la plate forme de la mosquée Emir Abdelkader, un même forage, resté sur toute sa longueur dans les formations argilo-marneuses, a rencontré trois niveaux aquifères différents. D'autre part, dans deux forages distants seulement d'une vingtaine de mètres, le premier présente un niveau d'eau, alors que le second était totalement sec (Benaissa, 1989).

# Chapitre 3

NEOTECTONIQUE ET  
SISMOTECTONIQUE

## I. Cadre sismotectonique régional

### I.1- Introduction

La croûte terrestre est constituée de plusieurs grandes plaques qui évoluent les une par rapport aux autres, et environ 90% des séismes sont localisés à leurs limites.

Les plaques africaine et eurasiennne s'affrontent à leurs limites. La plaque africaine se déplace globalement vers le Nord, par conséquent, l'on assiste à une compression subméridienne du domaine Nord africain. Le taux de rapprochement a été évalué près de Gibraltar à 1.3cm/an et dans la région de Chlef à 1.8 cm/an. (WCC, 1984)

La région Nord-Ouest du Maghreb appartient à un espace hérité de la collision alpine ; déformé au Tertiaire et connu son paroxysme à l'éocène et miocène inférieur, ce secteur Sud-méditerranéen est le plus souvent soumis à une dynamique de convergence selon une direction subméridienne induisant encore un régime compressif. Ce dernier est conjugué depuis le Néogène avec une tectonique de fracturation dans laquelle les failles du Constantinois ont intégré dont le séisme de 1985 représente un rejeu actuel.

La convergence de limite de plaques est accommodée par des plis et des failles souvent inverses. Cette convergence n'est pas définie par une zone de Benioff, sur tout que les séismes sont superficiels, mais plutôt par une limite de collision. Les séismes se produisent sur des failles actives qui peuvent être identifiées en surface.

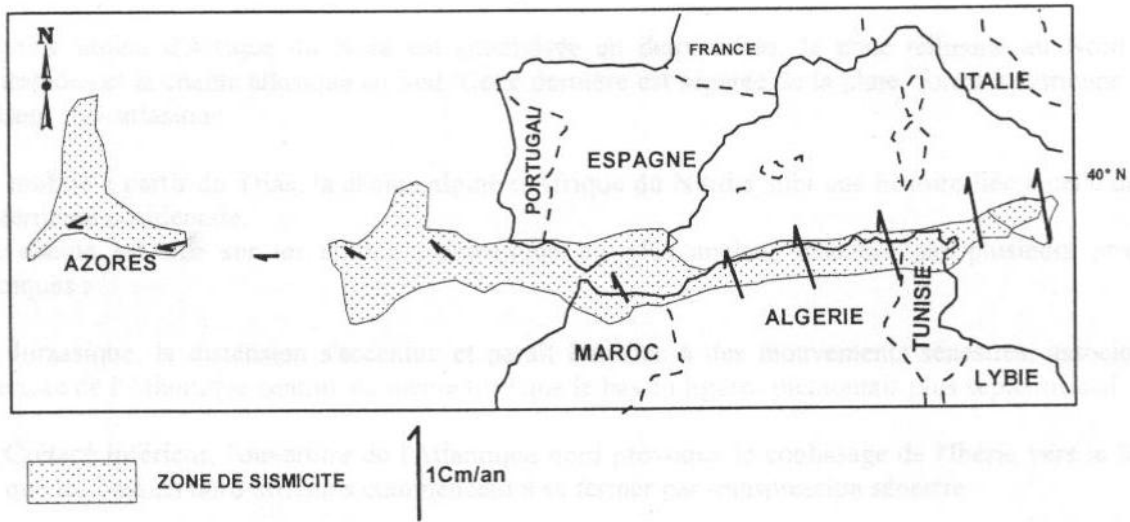
Alors qu'en profondeur les plaques se déplacent régulièrement de quelques mm à quelques cm par an, dans la partie supérieure de la croûte terrestre (30 premier km), ce mouvement n'est pas continu. Les failles peuvent rester bloquées durant une longue période, tandis que le déplacement régulier des plaques se poursuit, provoquant ainsi l'accumulation des contraintes.

La tectonique étant l'ensemble des déformations ayant affecté les terrains géologiques postérieurement à leur formation, la tectonique active est celle qui affecte ces mêmes formations durant le Quaternaire (Holocène et par fois Pléistocène).

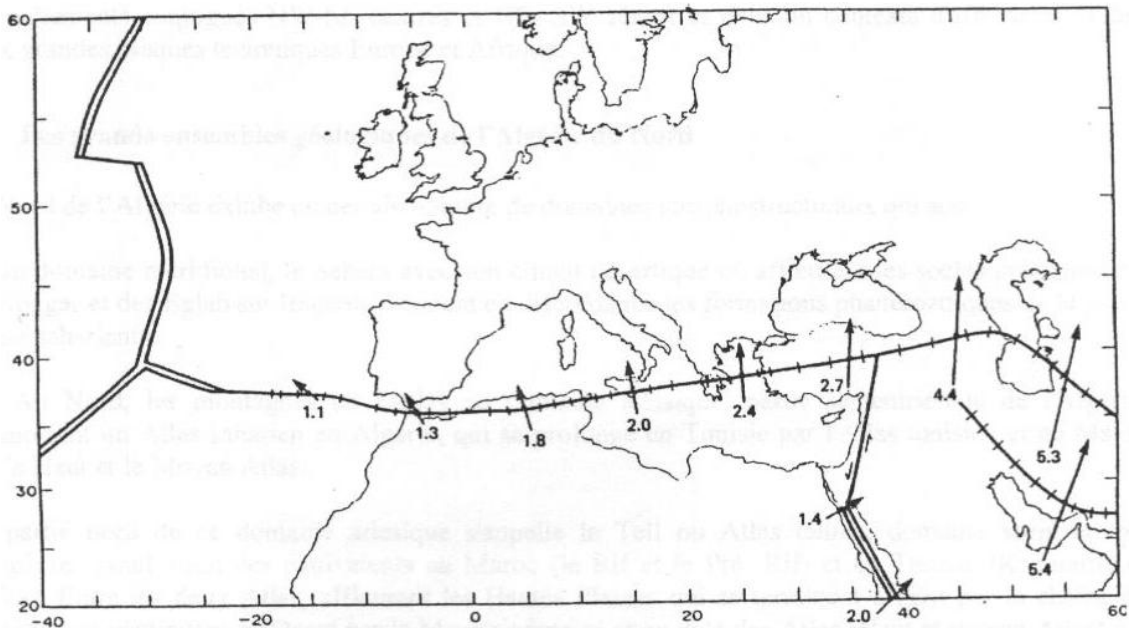
La chaîne tellienne (Atlas tellien) constitue le segment orogénique péri méditerranéen de la ceinture active alpine et himalayenne qui s'étend du Sud-ouest asiatique à l'océan atlantique (Mackenzie, 1972 ; Anderson et Jackson, 1987). Cette ceinture (Fig.5, Fig.6) est caractérisée par des plaques qui sont en mouvement de convergence. Ceci a engendré des

déformations compressives au niveau de la chaîne tellienne (WCC, 1984 ; Bouhadad, 2001 ; Bouhadad, 2003).

L'observation des mécanismes aux foyers déterminés pour certains séismes montre que les séismes situés entre Oran et Tipaza se caractérisent par des mécanismes donnant des solutions en compression orienté NNO-SSE, contrairement à la région de Constantine où le mécanisme en décrochement est souvent observé (Bounif et al, 1987 ; Bounif, 1990)



**Fig.5 : la limite des plaques africaine et eurasiennne entre les Açores et la Sicile (Anderson & Jackson, 1987)**



**Fig.6 : Convergence entre les plaques africaine et eurasiennne (Mackenzie, 1972)**

## II. La sismicité historique

### II.1. Généralités:

Les études de la sismicité historique permettent d'aider à localiser les sources sismiques, du moins des zones sources qui auraient engendré des séismes durant l'histoire récente (en termes de centaines d'années). Les données de sismicité présentent un intérêt certain dans ce cadre, surtout après les dernières mises à jour des catalogues traitant de la sismicité en Algérie du Nord.

Les catalogues récemment compilés et homogènes par Harbi (2001) pour la région de l'Est algérien et par le CRAAG (1994) pour la sismicité algérienne de 1365 à 1992, constituent des sources d'informations indispensables à l'analyse de la sismicité, en ce sens qu'ils ont pu accéder à des archives et sources rares dans les différentes bibliothèques de la région méditerranéenne. En outre, le développement du réseau de sismographe géré par le CRAAG permet de fixer avec plus de précision la localisation des épacentres et donc de réduire la marge d'erreur dans la localisation des séismes.

les analyses des répliques ayant suivi les séismes de Constantine (1985) et celui de Chenoua (1989) ont permis de mieux comprendre les sources sismiques respectives qui les ont générés.

L'Algérie est située à la limite des plaques tectoniques africaine et Eurasienne qui sont en mouvement de convergence. L'observation des données fournies par les catalogues de sismicité permettent de définir clairement une zone de concentration d'épacentres correspondant à la zone côtière qui s'étend d'Annaba à Tlemcen. Cette zone sismo-active définit d'une certaine façon la zone de collision entre les plaques tectoniques. Cette sismicité montre des concentrations particulières dans certaines zones de l'Algérie du Nord telles que: l'Oranie (autour d'un triangle incluant Oran, Mascara, et Mostaganem), la région de Chellif ou El Asnam qui est la zone la plus sismique de l'Afrique du Nord, la région Algéroise dont des séismes destructeurs ont été décrits, particulièrement ceux d'Alger de 1365 et 1716, la zone des Babors- Hodna et enfin la zone de Constantine- Guelma.

L'histoire sismique de la région de Constantine est incontestablement un élément important dans la perspective de l'évaluation de l'aléa sismique de cette région. L'objectif de la préparation d'une carte des épacentres ou sismicité historique est de compiler un catalogue de sismicité historique en se basant sur l'ensemble des documents disponibles relatifs à la

sismicité de cette région. Il est important de signaler que les références listées à la fin de ce mémoire reprennent souvent des journaux et des notes d'articles contemporains relatifs à la description de ces différentes secousses sismiques. Certains séismes sont largement décrits et étudiés. Il s'agit notamment des séismes destructeurs de 1908, de 1947 et, le plus récent, de 1985.

## II.2. Disponibilité des données de sismicité historique en Algérie

Les catalogues de la sismicité en Algérie, généralement, ne couvrent qu'une partie de l'histoire sismique du pays. Néanmoins, les nombreuses études menées depuis essentiellement 1980, à la suite du séisme du 10 Octobre d'El Asnam, ont permis au moins de relever les carences et d'en y remédier par des investigations dans les archives et autres documents anciens. Quatre principales périodes peuvent être remarquées:

- Période antérieure à 1850 :

Pour la région de Constantine, malheureusement aucun document ou autres indications sur les séismes qui ont eu lieu dans cette région avant 1850.

- Période 1850- 1900 :

C'est une période relativement incomplète dans la mesure où il n'y a que quelques séismes qui ont été enregistrés. Même si les techniques récentes de l'analyse de la sismicité historique ont évolué, la plupart des données sont sous forme de descriptions historiques. (CGS 2003)

- Période 1900-1990 :

La sismicité de cette période peut être considérée comme instrumentale et donc suffisamment documentée, même si le premier instrument sismographe en Algérie n'est installé qu'en 1917, à Bouzareah (Alger), tous les séismes de magnitude ~ 4.0 ont été enregistrés par des stations situées dans le pourtour méditerranéen. (CGS 2003)

- Période 1990-2002 :

Avec les techniques récentes d'analyse des enregistrements et la densification des réseaux à travers le monde, notamment dans la région péri- méditerranéenne, cette période est connue parfaitement et donc toutes les secousses de magnitudes supérieures à 3.0 sont automatiquement enregistrées. (CGS 2003)

### II.3. Les séismes décrits dans la région de Constantine avant 1900

- **Le séisme de Constantine du 11 janvier 1860**

Le 11 janvier 1860 à 17h 45m, une secousse sismique est ressentie à Constantine aussi bien par les personnes assises que celles debout sans qu'on ait aucun dommage à déplorer. Les effets se sont bornés à un entrechoquement de la vaisselle suspendue aux murs et à un ébranlement des meubles. Mme Harbi, 2001 attribue une intensité IV MSK à ce séisme. (CGS 2003)

- **Le séisme de Constantine du 17 octobre 1865**

Une secousse sismique d'une durée d'une seconde s'est produite à Constantine le 17 octobre 1865 à 22h05m ressentie surtout par les personnes éveillées; ce qui suggère une intensité de III MSK. Harbi 2001 a reproduit un passage lu dans l'Africain à propos de ce séisme. « Constantine: le 17 courant. Les habitants de Constantine (ceux qui du moins se couchent à des heures indues) ont pu entendre une forte détonation accompagnée d'un tremblement de terre. Les oscillations paraissent se diriger du N au S. S'il faut croire les alarmistes, la secousse a été terrible. Des portes ont été ouvertes, des fenêtres se sont fermées, des pianos ont joué tout seul, dans les cafés les verres trinquaient en l'absence des consommateurs, chez les épiciers les bocaux se donnaient l'accolade ». Selon Mme Hée, le séisme se serait produit plutôt le 18 à la même heure. (CGS 2003)

- **Le séisme de Constantine du 07 octobre 1866**

Mme Harbi, 2001 en reprenant Mme Hée (1950) cite le journal Le courrier de l'Algérie, qui décrit ce séisme: « Le 7 courant vers 6 heures du matin, un tremblement de terre a été ressenti à Constantine et à philippeville. Ce tremblement de terre n'a pas été assez prononcé car la plus grande partie de la population ne s'en est pas aperçue » (CGS 2003)

- **Le séisme de Constantine du 7 mai 1871**

Le 7 mai une secousse a été ressentie à Philippeville. Mme Hée parle d'un séisme qui se serait produit à Constantine où des murs ont été lézardés, et ressenti à Philippeville. On notera cependant que les journaux de l'époque, passent cet événement sous silence et traitent surtout de l'insurrection d'El Mokrani. Sources d'information macrosismique: Mme Hée (1950), le journal *Akhbar*. Selon le bulletin de l'observatoire d'Alger. L'intensité serait de IV MSK et la magnitude Ms de 3.2. (CGS 2003)

- **le séisme de Constantine du 20 janvier 1876**

Source d'information: Mme Hée (1950), les journaux Akhbar, La Vigie Algérienne, le Moniteur de l'Algérie. Ces journaux reprennent le Zeramna qui signale une secousse de 2 secondes le 20 janvier à 9h du matin à Constantine. Cette secousse n'a occasionné aucun dégât. (CGS 2003)

- **le séisme de Constantine du 26 novembre 1893**

M<sup>me</sup> Hée (1950) cite un séisme qui se serait produit à Constantine le 26 novembre 1893 à 11 h 55 mn. Cependant, selon Le Moniteur de l'Algérie deux secousses ont été ressenties respectivement à 7 h du matin et à midi à Collo. La secousse de midi aurait été la plus forte et a été ressentie à Ain Abid, Regada et Renier. L'ensemble des sources ne s'accorde pas sur une intensité donnée et le type de dégâts. (CGS 2003)

- **le séisme de Constantine du 19 septembre 1894**

Le 19 septembre 1894 à 6h 45m, une forte secousse sismique a été ressentie à Constantine «causant la chute de plusieurs meubles et produisant en ville une très vive émotion surtout dans le quartier israélite où tout le monde avait quitté les maisons». Mme Hée (1950) donne l'intensité de VI MSK, Mme Harbi 2001 la réestime à V MSK. (CGS 2003)

#### **II.4. les séismes destructeurs décrits dans la région de Constantine depuis 1900**

On ne connaît pas durant la période précédant l'année 1900, un séisme fort dans la région de Constantine. Ce qui n'est pas le cas de la période instrumentale où au moins 3 séismes d'intensité maximale VIII MSK ont touché la région: le premier est celui du 4 août 1908 de magnitude  $M_s = 5.2$ , le deuxième celui du 6 août 1947 de magnitude  $M_s = 5.0$  et enfin le troisième de mémoire assez récente le 27 octobre 1985 de magnitude  $M_s = 5.7$ . On signalera aussi la crise sismique (33 séismes) de janvier à avril 1925 qui aurait selon Mme Hée frappé la ville de Constantine.

- **Le séisme du 4 Août 1908.**

Le séisme a touché la ville de Constantine et ses alentours, il est reporté par Rothé (1951), le choc a duré 10s, suivi par 12 répliques de moindre importance.



Le choc principal n'a pas eu de signes prémonitoires mais a été suivi par des répliques; l'une d'elles est comparable à la secousse principale qui a été enregistrée par plusieurs stations sismologiques de Tiflu (URSS) et de Hi1wan (Égypte). Ce séisme a été ressenti à 175 Km à l'Est de La Calle, l'intensité maximale est évaluée à  $I_0 = VIII$  à Constantine et couvert un rayon de 14 Km. Sur le terrain, ce tremblement de terre est associé à une fissure de 200m de long et 50 cm de largeur observée dans le plateau de Mansourah. (CGS 2003)

Les dégâts les plus importants sont recensés dans plusieurs régions de l'Est en particulier dans les régions envoisnant la ville de Constantine (**Fig.7**):

L'intensité maximale est évaluée à:

- VIII (MSK) à Constantine, Sidi Mabrouk, Rouffah et El Kantara.
- VII à El Arrouch, Ain Smara, Khroub, Ouled Rahmoun et mila



**Fig.7 : Carte des isoséistes du séisme du 04 Août 1908 (redessinée à partir de Benouar, 1994). (CGS 2003)**

- **Le séisme du 6 août 1947:**

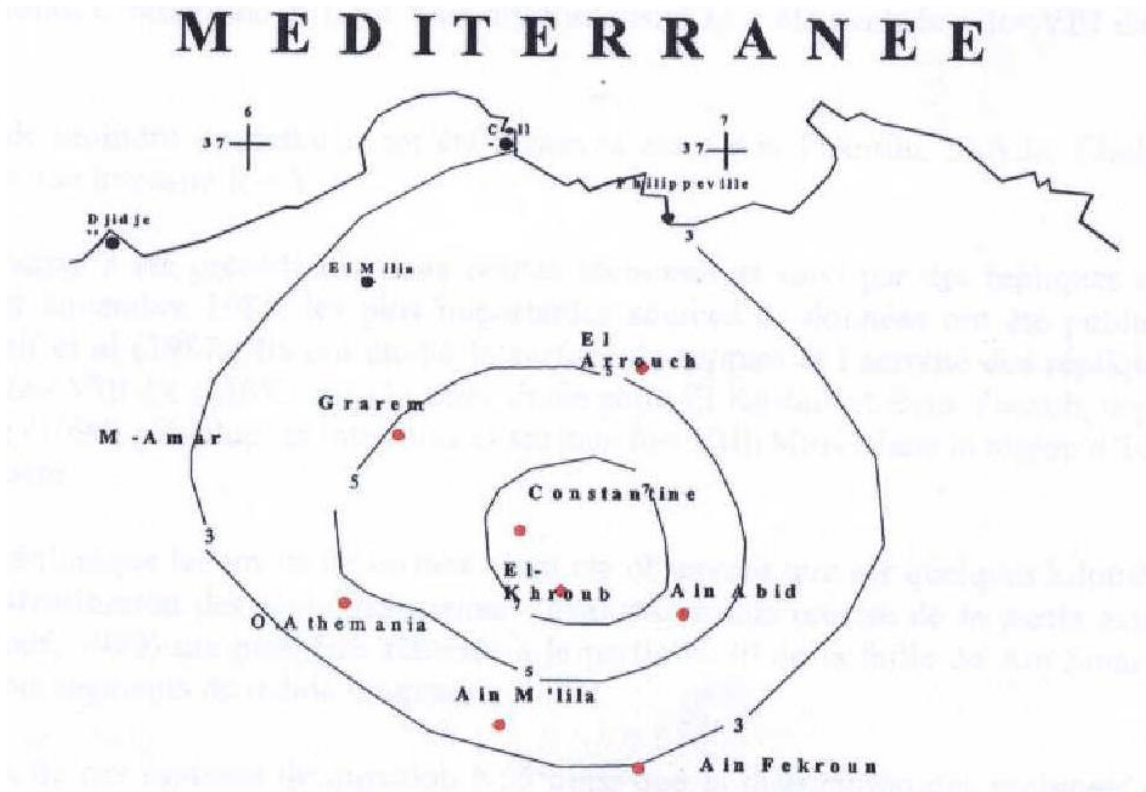
Mercredi, le 6 août 1947, un séisme d'une magnitude de 5 a touché la région de Constantine et a causé d'importants dégâts dans la ville et les régions voisines, l'épicentre est localisé à 330 Km à l'Est d'Alger. Il a été ressenti dans un rayon de 70Km.

Le choc principal a causé beaucoup de blessés et a endommagé un nombre important de structures surtout dans la région epicentrale en particulier dans la zone d'Oued Hamimine (District d' El Khroub). Dans la région de Constantine beaucoup de vieilles constructions ont subi des dommages moindres (lézardées), alors que les nouvelles bâtisses n'ont pas été affectées. Ce séisme a duré 24s rapporté comme record par le IMPGA (Alger), il a été ressenti à Constantine ou l'intensité est de  $I_0 = V$ . (CGS 2003)

Les données macrosismiques de ce tremblement ont été rapportées par la presse algérienne et internationale et a été étudié par Rothé (1950), qui a donné une description détaillée des dommages; suite à ses analyses il a affecté une intensité de  $I_0 = VIII -IX$  à Oued Hamimine; (**Fig.8**):

Les dommages les plus importants ont été observés dans la région de Oued Hamimine à 13Km au SE de la ville de Constantine.

Le choc a été ressenti dans les localités de Skikda, Oued Seguin, Ain M'ilia, Lucette, Ain Fakroun, El Milia et Collo. (CGS 2003)



**Fig.8 : Carte des Isoséistes du séisme du 06 Août 1947 (redessinée à partir de Benhallou, 1985). (CGS 2003)**

- **Le séisme du 27 octobre 1985:**

Le 27 Octobre 1985, la ville de Constantine a été ébranlée par un séisme de magnitude  $M_s$  6.0, les pertes humaines ont été évaluées à une dizaine de victimes essentiellement dans les régions d'El Aria. Beni Yacoub et Kef- Tassenga.

Cet événement est le plus important ressenti dans l'Atlas Tellien depuis le séisme de Chlef ( $M_s=7.3$ , CSEM). (CGS 2003)

Le choc principal a été enregistré par toutes les stations sismologiques (474 stations, ISC), il a été ressenti à 120 Km de rayon à l'Est d'El Kata. A l'Ouest de Setif, au Sud de Batna et au Nord de la côte où l'intensité est évaluée à  $I_0=III$  sur l'échelle de MSK.

Le tremblement de terre a causé la mort de cinq personnes et 300 blessés et endommagé plusieurs vieilles constructions, les plus importants dégâts ont été enregistrés dans la région d'El Aria située entre El Khroub, Constantine et Beni Yacoub, l'intensité  $I_0$  a été évaluée à  $I_0=VIII$  dans cette région (**Fig.9**).

Le choc principal a été précédé par deux petites secousses et suivi par des répliques qui ont persisté jusqu'à la fin novembre 1985, les plus importantes sources de données ont été

publiées par Bounif et al (1987), Bounif (1990); Ils ont étudié la surface de rupture et l'activité des répliques ils évaluent l'intensité à  $I_0=VIII-IX$  (MSK) dans la zone située entre El Khroub et Beni Yacoub, cependant, Bounif dans sa thèse (1990) réévalue les intensités et attribue  $I_0= VIII$ (MSK) dans la région d'El Aria et publie la carte d'isoséiste

Sur le plan géologique, les traces de surface n'ont été observées que sur quelques kilomètres seulement (4.5Km), la distribution des répliques permet l'évaluation plus précise de la partie active de la faille (36Km) (Bounif, 1990) qui peut être associée à la partie Nord de la faille d'Ain Smara qui peut être divisée en trois segments de même longueur. L'alignement de ces ruptures de direction  $N55^\circ$  ainsi que la distribution des répliques observées sont des indices d'une faille active de pur coulissage. Ainsi, la plus longue des ruptures de surface observée comme branche active de la faille (3.8km) et les structures géologiques récentes indiquent que la zone affectée est active durant le Quaternaire. (CGS 2003)

Les dégâts les plus importants ont été observés dans la région située entre El Khroub, Constantine et Beni Yacoub, ce séisme a causé la perte de 10 personnes et 300 blessés et détruisant un nombre important de constructions anciennes et récentes. Les dégâts ont été décrits dans plusieurs régions de l'Est.

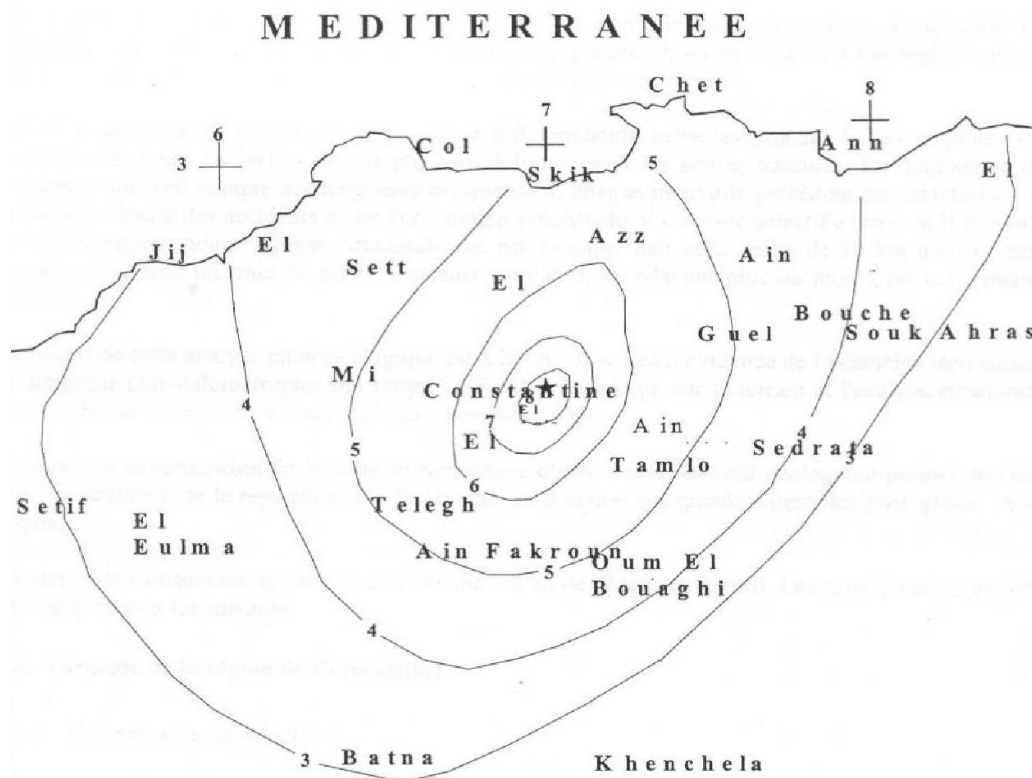


Fig.9 : Carte des isoséistes du séisme du 27 Octobre 1985. (CGS 2003)

### III. Étude néotectonique

#### III.1. Étude photogéologique et linéamentaire

##### III.1.1. Méthodologie

L'analyse photogéologique de la région de Constantine a été faite à partir de l'étude de photographies aériennes à l'échelle du 1/63000, du 1/140000 et du 1/120000. L'analyse stéréoscopique donne une vision en relief des zones observées sur les photographies aériennes ce qui permet de reconnaître plus ou moins facilement les linéaments.

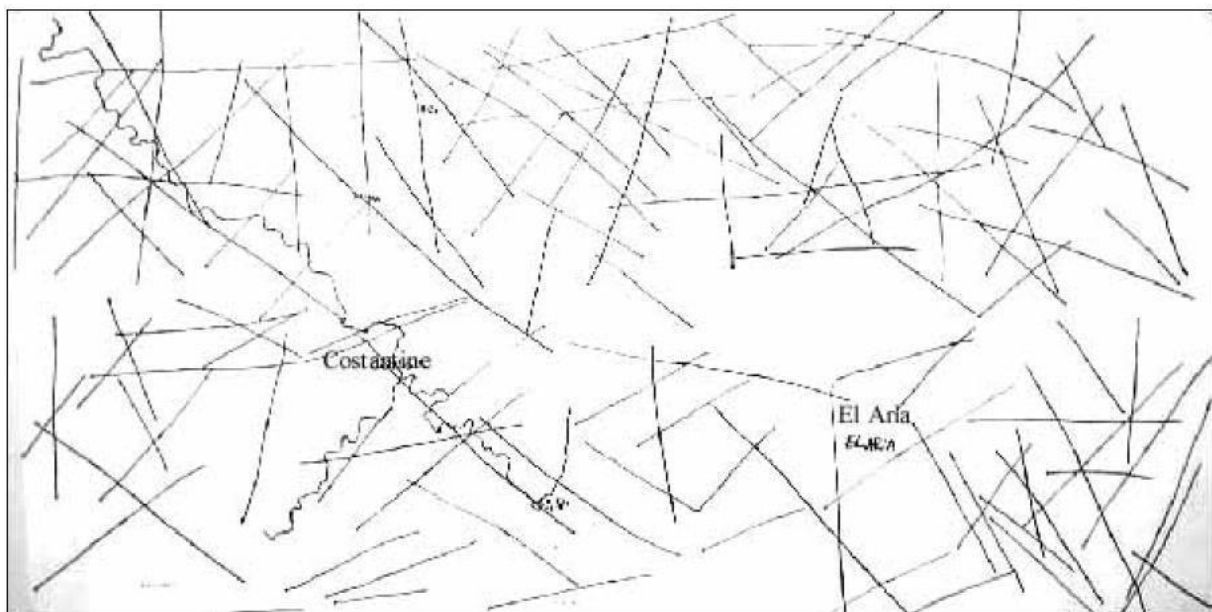
Sur la trame dense obtenue, tous les linéaments ont été dénombrés selon leur orientation par rapport au Nord géographique et la longueur de leur tracé respectif. Ces données ont été groupées et projetées de façon à ce que cela soit traduit sous la forme, plus facilement lisible, de diagrammes de fréquences, plus communément appelés rosaces de direction et de longueur.

L'objectif de cette analyse photogéologique est à la fois, la mise en évidence de linéaments tectoniques de longueur plurikilométriques qui feront l'objet de vérification sur le terrain et l'analyse structurale des nombreux linéaments recensés.

En outre, la superposition de la carte linéamentaire obtenue avec le fond géologique permet de faire une interprétation de la répartition des linéaments en fonction des grands ensembles géologiques de la région. (Machane 2002)

##### III.1.2. Présentation des résultats

L'analyse linéamentaire fait ressortir une densité de linéaments variable selon la nature géologique des formations de la région de Constantine qui ont été regroupés en trois grandes formations: L'anté-Néogène, le Néogène et le Quaternaire.



**Fig.10 : Carte linéamentaire de la région de Constantine à l'échelle 1/300 000 (Machane 2002)**

Afin de comprendre la signification structurale des linéaments, une étude statistique a été effectuée. L'interprétation des diagrammes de fréquence donne:

#### ✓ **Dans l'anté-Néogène**

La fracturation est la plus intense dans les terrains anté-néogènes, du fait de la présence de plusieurs épisodes tectoniques ayant affecté ces formations. Le nombre de linéaments relevé au niveau de ces terrains anciens représente 47 % du total de la fracturation relevée au niveau de la région.

L'analyse du diagramme de fréquence (fig.11) montre clairement que la direction dominante est de loin la direction NE-SW, viennent ensuite les directions NNE-SSW et E- W et à un moindre degré la WNW-ESE.

Il est également à noter que les linéaments les plus importants en longueur sont orientés selon la direction NE-SW. (Machane 2002)

#### **Dans le Néogène**

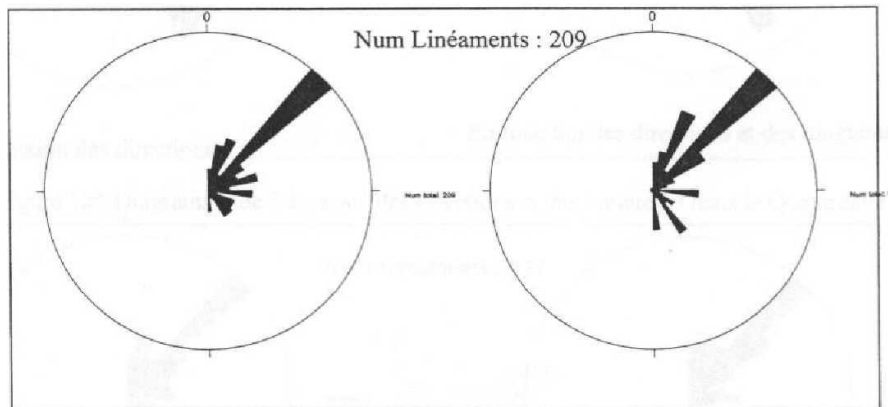
La densité des linéaments relevés dans les terrains néogènes représente 31% de la totalité des linéaments. La direction dominante reste toujours la NE-SW suivie des directions NNW-SSE et NW-SE qui sont beaucoup plus représentées que dans les terrains anté-néogènes (fig.12). Pour ce qui est des longueurs, le même cas de figure se présente où les linéaments les plus importants sont orientés NE-SW suivis des linéaments NW-SE puis NNW-SSE. La direction E-W est comme dans le cas des terrains anté-néogènes, la moins représentée. (Machane 2002)

#### **Dans le Quaternaire**

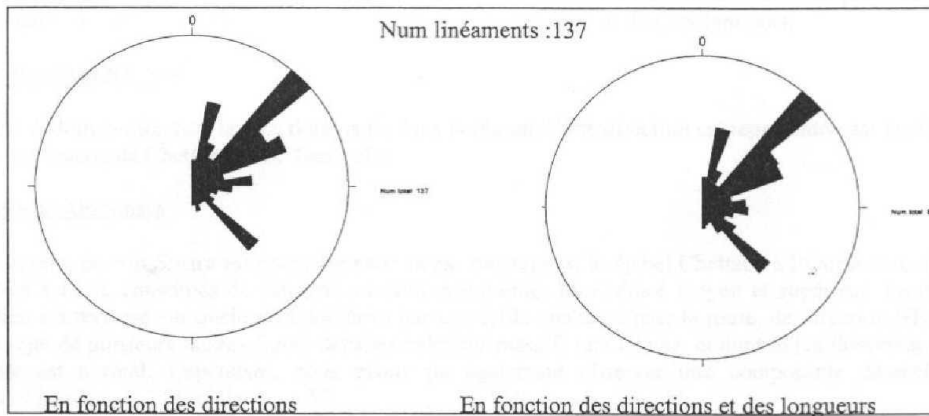
Environ 22% de la totalité des linéaments se localisent dans les terrains quaternaires. Dans cette proportion, ont été considérés les linéaments qui traversent totalement ou partiellement le Quaternaire.

L'observation du diagramme de fréquence (fig.13), montre que trois directions principales sont représentées de manière presque équivalente. Ainsi après la direction NE-SW viennent les directions N-S puis NW -SE. La direction E- W semble être plus fréquente dans les terrains quaternaires que dans les terrains plus anciens. Pour ce qui est de la longueur des

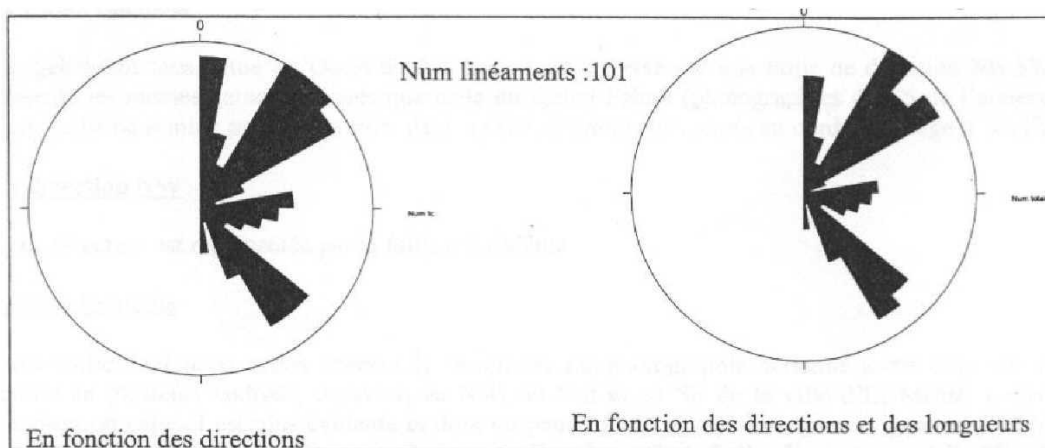
linéaments, la direction NE-SW reste toujours la direction selon laquelle les plus grands linéaments sont orientés. (Machane 2002)



**Fig.11 : Diagramme de fréquence des directions et des longueurs dans l'anté-Néogène (Machane 2002)**



**Fig.12 : Diagramme de fréquence des directions et des longueurs dans le Néogène (Machane 2002)**



**Figure.13 : Diagramme de fréquence des directions et des longueurs dans le Quaternaire (Machane 2002)**

Parmi les différentes directions de linéaments, il y a certains accidents importants qui définissent le cadre structural de la région du Constantinois.

### **La direction NE-SW**

C'est de loin la direction la plus dominante dans la région. Cette direction est représentée par les failles d'Ain Smara, de Chettaba et de Temlouka

- **Faille d'Ain Smara**

La cuvette d'Ain Smara est comprise entre deux montagnes, le djebel Chettaba à l'Ouest et le djebel Felten à l'Est, constitués de calcaires massifs et dolomies du Crétacé moyen et supérieur. Le djebel Felten est traversé sur quelques kilomètres par une faille visible depuis la route, de direction NE-SW. (CGS 2003)

- **Le djebel Chettaba**

Le djebel Chettaba, situé à l'Ouest de Ain Smara est traversé par une faille de direction NE-SW qui présente les mêmes caractéristiques que celle du djebel Felten. Cette faille ne semble pas se continuer dans les terrains miocènes situés au nord du village d'Ibn Ziad. (CGS 2003)

### **La direction NW**

Cette direction est représentée par la faille d'El Ménia. Cette faille qui est représentée par un linéament sur photographie aérienne, a été observée sur terrain en plusieurs endroits, à savoir, au NW, au Sud et au SE d'El Ménia. Cependant l'endroit où celle-ci est plus évidente et dont on peut voir le jeu se situe dans le quartier d'El Ménia (banlieue NE de la ville), sur la route de Hamma Bouziane. Cette faille, d'orientation NW-SE, affecte les couches conglomératiques du Miocène continental. (CGS 2003)

### **La direction E-W**

Au nord de Constantine, le front des nappes telliennes est matérialisé par un grand contact chevauchant de direction globale E-W. Il s'agit d'un accident discontinu observé en deux endroits :



- **Au niveau d'El Kantour**

Dans la localité d'El Kantour, située à environ 25 km au nord de Constantine sur la route d'El Harrouch, le contact de l'Oligocène avec un petit affleurement de grès sur lequel apparaît un grand miroir strié est visible.

- **Au niveau de Beni Haroun**

A l'entrée des gorges de Beni Haroun, sur la route de Jijel, à environ 5 kilomètres en aval du Barrage, un grand miroir de faille strié de 20 à 30 mètres de haut, traverse la route. Cette faille sépare les terrains crétacés du Miocène post-nappe. Il s'agit, à ce niveau d'une faille verticale normale qui ne semble pas perturber les dépôts de l'oued qu'elle traverse. (CGS 2003)

### **La direction N-S**

Peu de failles importantes de direction N-S sont connues dans la région de Constantine. La faille d'El Méridj en est l'un des rares exemples connus.

## **IV. Tectonique actuelle**

### **IV.1. Généralité :**

Du Quaternaire supérieur au temps actuel se met en place une phase tectonique compressive orientée NW-SE à NNW-SSE qu'on retrouve dans tout le domaine septentrional algérien et qui est responsable de la sismicité actuelle. Les accidents générés par cette phase tectonique sont représentés par des failles inverses et des décrochements à l'exemple de la faille d'Ain Smara (Constantine) responsable du séisme de 1985 à Constantine qui est un pur coulissage senestre. Cette phase tectonique engendre également la réactivation des failles et des décro-chevauchements senestres orientés  $N45^\circ$  et  $N70^\circ$  à l'exemple de la faille de Constantine.

### **IV.2. Failles actives du Constantinois:**

#### **IV.2.1. Faille d'Ain Smara (Constantine)**

La région de Constantine (Nord-est d'Algérie), a été fortement secouée par un séisme survenu le 27 octobre 1985 à 19h 34' 59" de magnitude égale à 6° (CRAAG 1994).

Ce séisme a été engendré par l'activité d'une faille néotectonique qui a affecté des dépôts plio-quaternaires. Il s'agit de la faille de Ain Smara ou encore appelée faille de Constantine. Cette faille est de direction NE-SW était déjà connue avant le dernier séisme

(Vila, 1980). Dans cette même direction, des fissures correspondant à des ruptures de faille en surface ont été observées (Bounif et al, 1987 ; CGS, 1999).

#### **IV.2.2. Accident du front de nappes constantinois**

La localité d'El Kantour est située à l'entrée de Skikda au Nord de Constantine. La faille en question est de direction globalement E-W. Cet accident est bien visible sur la route menant vers Skikda, à partir du col d'El Kantour jusqu'à l'ancien pont ainsi qu'au niveau de la région de Béni Haroun. Cet accident serait actif et peut engendrer de grandes catastrophes sismiques. Cet accident se trouve à quelques dizaines de kilomètres de la ville de Constantine. (Machane 2002)

#### **IV.2.3. Faille de Tamlouka (Guelma)**

La localité de Tamlouka (ex Montcalm) est située dans la Wilaya de Guelma, à une cinquantaine de Km au SE de Constantine. Le contact plaine quaternaire avec les formations anciennes est matérialisé par une petite dénivelée de quelques décimètres, orienté globalement à (N040-N060). Cette faille quaternaire (Vila, 1980) serait également active.

#### **IV.2.4. Faille de Sigus (Oum El Bouaghi)**

C'est une faille de direction globalement E-W. Elle affecte les formations quaternaires qui présentent un certain pendage au niveau du lit de l'oued par où passe cette faille. C'est une faille également quaternaire et active située à quelques dizaines de km de Constantine.

### **V. Conclusion**

Les séismes qui peuvent être causés par les failles actives localisées dans la région de Constantine pourront avoir un effet, pour le moins déclenchant, sur les glissements de terrain qui sont déjà à la limite d'équilibre. La faille de Ain Smara (ou encore appelée faille de Constantine), de par sa proximité de la ville de Constantine, et aussi par la forte sismicité qu'elle peut générer pourra réactiver toutes les instabilités de terrain de cette région. Cette faille qui passe au Sud immédiat de la ville de Constantine et traverse l'Oued Boumerzoug, pourrait générer également un séisme qui se manifesterait par une rupture de faille en surface et qui déclencherait une inondation en cas de crue du lit d'oued. Nombreuses chutes de blocs peuvent être générées à cause d'un séisme causé par l'une de ces failles, notamment au niveau du quartier du Bardo ou bien au niveau de la région d'El Ménia.

# Chapitre 4

## PRINCIPAUX GLISSEMENTS DE TERRAIN

## I. Introduction

Depuis des décennies, Constantine souffre de plusieurs problèmes urbains : le vieillissement de la vieille ville, les bidonvilles et le problème de glissements de terrain, les premières manifestations avaient été observées au début du 20<sup>ème</sup> siècle :

-En 1910 le glissement du pont de Sidi Rached (Benazzouz 1991).

-En 1911 une avalanche de terrain a emporté 200 000 m<sup>3</sup> de terre au bas versant Nord face au Moulin Carbonnel (Benazzouz 1991).

Le problème des glissements de terrain à Constantine, semble du à la conjonction d'un certain nombre de causes naturelles et anthropiques. L'arasement des sommets des collines par les autorités coloniales, a permis de construire des quartiers résidentiels destinés aux colons et les travaux d'aménagement ont permis de multiplier de vastes surfaces de remblais, support pour la construction d'autres quartiers.

Dés 1930, l'urbanisation s'accroît par la réalisation d'immeubles sur des versants instable, ainsi que la croissance démographique et l'évolution urbaine qui s'est étendue sur tous les terrains sans prendre en considération leur stabilité.

Les caractéristiques topographique et géologique du site, vont pousser à une instabilité du milieu urbain.

En 1972 le glissement du quartier Kaidi Abdellah, a engendré l'évacuation de 1543 familles vers d'autres sites (Benazzouz 1991).

L'urbanisation continue et conquies les sites les plus vulnérables : les terrasses inondables et les terrains très accidentés et peu stables, par la construction de plusieurs zones d'habitations urbaines nouvelles ZHUN tels que : Ziadia, Sakiet Sidi youcef, BUM, Daksi, 5 Juillet 1962, Dj Ouhch, Boudjenana et Boussouf.

Ces dernières décennies le phénomène a pris de l'ampleur dans plusieurs quartiers de la ville : Belouizded, l'avenue Kitouni, Kaidi Abdellah, Belle vue, Ciloc, Boudraa Salah, Boussouf, Zaouch, Benchergui et Bardo...etc.

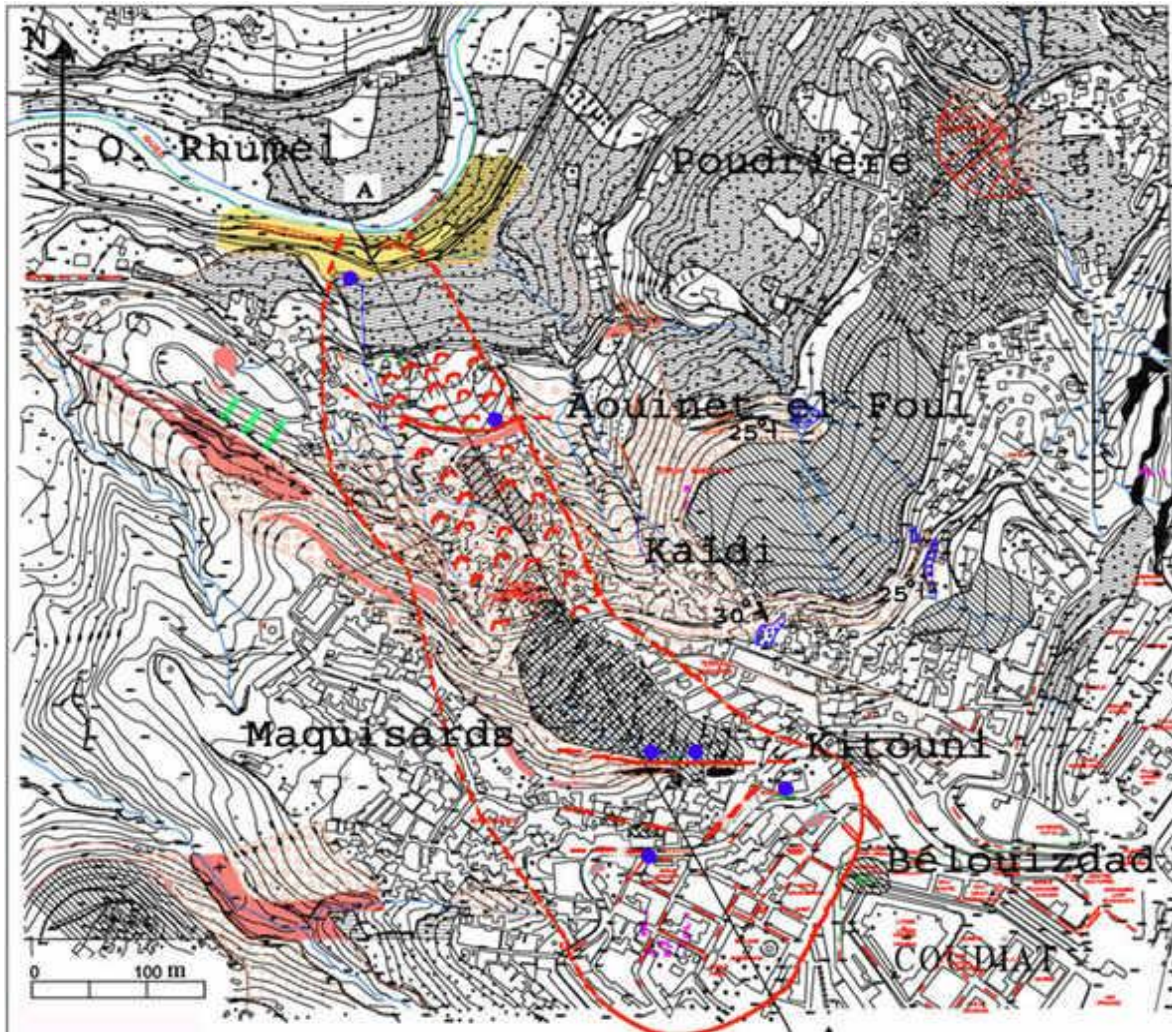
Devant cette situation critique la direction de l'urbanisme et de construction de la wilaya de Constantine DUC, a pris l'initiative de transférer les familles sinistrées, vers les deux nouvelles villes Ali Mendjeli et Massinissa.

## **II. Quelques glissements de terrain de la ville de Constantine**















Plusieurs glissements menacent actuellement la ville de Constantine qui sont les glissements entre autre de : Belouizdad-Koudia-Kitouni (ex-Saint Jean), La Décharge Publique-Ben Chargui-Salah Bey, Belle Vue-Mosquée Emir Abd El Kader, Ciloc, Boussof, Zaouech, El Menia Boudraa Salah, Bardo, Université de Constantine...

### **II.1. Glissement de Belouizdad-Koudia-Kitouni (ex-Saint Jean)**

La région de Belouizdad-Kitouni-Koudia (ex-Saint Jean) a été endommagée par un glissement complexe qui s'étendrait de l'oued Rhumel jusqu'à la rue adjacente au marché Batou Abdallah. L'angle de la pente est d'environ 15°. Le mouvement descendant est visible sur de nombreux édifices détériorés, particulièrement le grand immeuble de Saint Jean qui présente une inclinaison bien visible et de nombreuses fissures. Heureusement que cet immeuble qui menace de s'effondrer est évacué actuellement mais le danger qui persiste menace les magasins de commerce qui se trouvent en dessous de cet immeuble et toutes les habitations et lieux de commerces environnants. Ce grand glissement affecte et met en péril la vie de plus de 60 000 habitants. La lithologie du sol met en évidence une succession hétérogène d'âge mioplIOCène composée de conglomérats grossiers et de brèches enveloppées dans une matrice d'argile marneuse ainsi que des zones de silt et d'argiles calcaires. Ce grand glissement visible vers la base des pentes est associé à l'érosion du pied des pentes par l'oued Rhumel. Depuis 1934, ce glissement a pu rétrogresser vers le sommet de la pente et entraîné sûrement par les effets nuisibles de l'urbanisation. La présence de nombreuses sources sur ces pentes laisse supposer l'existence de plusieurs nappes phréatiques. Le rejet anarchique des effluents est ubiquiste sur les pentes et amplifie le phénomène de ce glissement de terrain dans le quartier de Belouizdad Kitouni-Koudia. (Machane ; 2002)



**Légende**

- |   |   |   |  |
|---|---|---|--|
|  | Remblai ancien, argilo-graveleux                  |  | Sources et zones de suintement           |
|  | Terrasse alluviale limoneuse, Quaternaire         |  | Limites du glissement                    |
|  | Colluvions argilo-graveleuses rouges, Quaternaire |  | Zones actives du glissement              |
|  | Conglomerats et sables grésifiés, Miocène         |  | Glissement récent (2003) de la Poudrière |
|  | Brèche, Miocène                                   |  | Trait de coupe géologique                |
|  | Pendage et valeur                                 |   |  |
|  | Couches horizontales                              |   |  |
|  | Failles   |  | Fissures                                 |

**Fig.14 : Glissement de Belouizdad-Koudia-Kitouni (Bougdal.R 2007)**

## II.2. Glissement du Ciloc:

La dénomination « CILOC » concerne une série de cinq bâtiments en R+ 12, orientés N-S, en échelons, et construits en 1958 dans le cadre du « Plan de Constantine ». Ces bâtiments occupent la bordure occidentale du plateau de Bellevue, et dominent un versant de pente relativement élevée (20 à 25 %) jusqu'à la RN 27. En aval de cette route, le versant est de plus faible déclivité (10 à 15 %) et se prolonge jusqu'à Zaouch et Boudraa. (EEG SIMECSOL 2003)

Le glissement du CILOC remonte à février 1987 d'après Montjoie (1987) et A. Benaïssa (1989) qui relaient l'apparition d'un escarpement qui longe le coin Sud Ouest du bâtiment B, à 2-3 mètres de ce dernier, avec des décrochements de 1 à 2,5 m, en tête du versant, et à proximité du bâtiment B, à la suite de travaux de terrassements dans la pente (paulsen 1999). Il faut noter qu'au début des mouvements, la rupture de canalisations a provoqué le déversement de grandes quantités d'eaux usées et pluviales en tête du glissement (Montjoie, 1987).

Une campagne de reconnaissance géotechnique a été lancée en 1987 par le LTPEst. Le programme comprenait huit forages carottés et deux forages destructifs (LTPEst 2001). Six forages ont été équipés de tubes inclinométriques. Des échantillons intacts ont été prélevés dans les forages et ont fait l'objet d'essais en laboratoire.

L'étude de ce glissement, menée par l'Université de Liège (Montjoie, 1987, citée aussi dans le rapport SAETI, 1989), à partir des sondages carottés, des inclinomètres et des piézomètres installés, révèle l'existence d'une surface de rupture que l'Université de Liège a estimée à 7-8m de profondeur à l'aval du bâtiment B qui s'en trouve le plus menacé. Une prospection sismique menée par cette même Université, aux alentours du Bâtiment B, a évalué, entre 14 et 17m, la profondeur des fondations sur pieux de ce bâtiment. Les photos aériennes de 1980 montrent l'existence d'un remblai d'une dizaine de mètres de hauteur à cet endroit obstruant la tête de deux ravins (Montjoie 1987).

Le rapport SAETI de 1989 a abouti à la recommandation d'une série de travaux visant à stabiliser le versant et le bâtiment B en particulier, soit:

-Un drainage superficiel et souterrain (tranchées de 3 à 5 m de profondeur) de l'ensemble du versant compris entre le CILOC et la RN27,



- Un mur en pieux forés, profonds (20 m), ancrés dans les marnes miocènes et liés par une poutre chevêtre pour la stabilisation du terrain à l'aval immédiat du bâtiment B,
- Une butée de pied du versant par la réalisation d'une série de pieux de 1,2 m de diamètre et de 20 m de longueur, ancrés dans le substratum marneux miocène,
- Un reboisement du versant.

Parmi ces recommandations, les seuls ouvrages réalisés, à ce jour, sont:

- Trois dalles en béton armé, fondées sur pieux profonds et ancrés dans les marnes miocènes. Ces dalles, disposées à la base du talus de déclivité 20 %, sont destinées à jouer le rôle stabilisateur de butée de pied,
- Un drainage partiel à la base du premier escarpement du CILOC.

Enfin, le CTC Est a installé un réseau de 13 repères topométriques en 1998, sur le site de CILOC (CTC Est 1998). Il y a que de trois relevés. Le relevé initial a eu lieu en avril 1998, la mesure 1 en septembre 1998 et la mesure 2 en novembre 1998. Le rapport insiste sur l'urgence d'améliorer l'état environnemental de la cité et annonce des déplacements centimétriques en pied de versant.

En 1998, en l'absence de désordres significatifs sur la RN27, Evans (1998) pense qu'il est invraisemblable que le mouvement de terrain touche la RN27. Après avoir constaté "qu'en dépit du volume des travaux réalisés, des incertitudes demeurent quant à la vitesse du mouvement actuel, la forme et la profondeur de la surface de rupture et les matériaux en cause", il recommande la mise en place d'inclinomètres pour localiser d'éventuelles surfaces de glissement profondes et des travaux d'assainissement pour contrôler les eaux usées.

En 1999, Paulsen pense qu'une surface de rupture de type non circulaire (glissement "plat") existe sous les conglomérats mais estime cependant qu'il n'y a pas de risque direct pour le bâtiment B. Par ailleurs, Paulsen juge les mesures de stabilisation inappropriées et recommande l'installation d'inclinomètres, la réalisation d'une reconnaissance géotechnique et d'essais de laboratoire en se limitant à la zone de rupture.

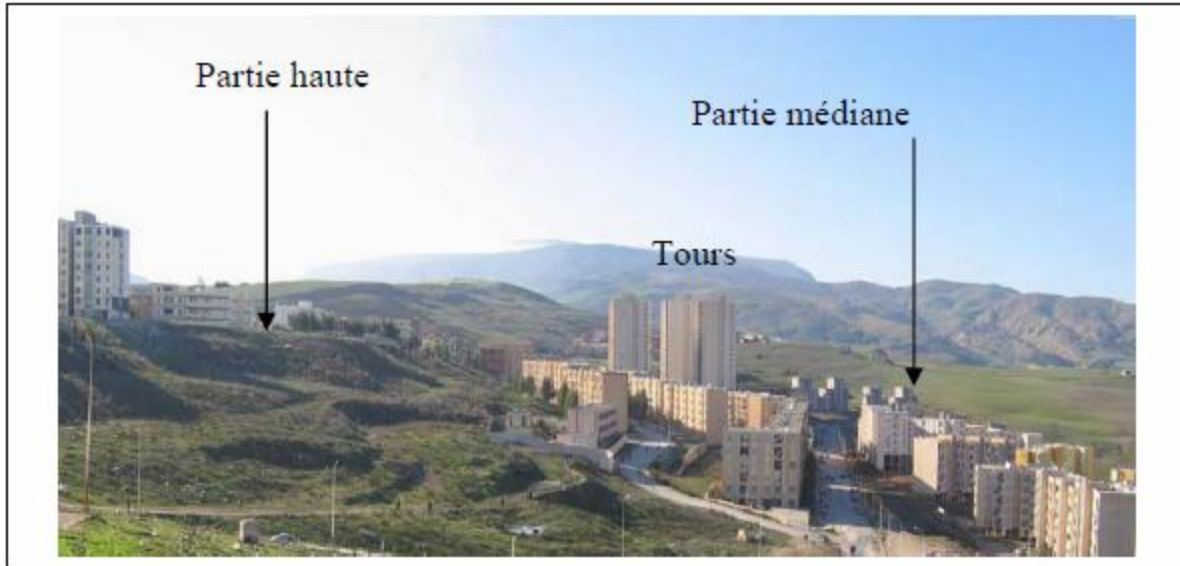




**Fig.15 : Glissement du Ciloc affectant le bâtiment B qui se fait de l'Est vers l'Ouest en direction de la route nationale. (Machene 2002)**

### II.3. Les glissements de Boussouf:

Le quartier Boussouf est situé à l'extrémité Sud-Ouest de la ville de Constantine. Il est limité au Nord-Est par la cité Zaouche, au Sud-Est par la Route Nationale 5 (reliant Constantine à Alger), la zone industrielle et l'Oued Rhumel. A l'Ouest, il délimite l'extension actuelle du PDAU (Plan de Développement et d'Aménagement Urbain) de la ville de Constantine. (EEG SIMECSOL 2003)



**Photo.1 : Vue d'ensemble du site de Boussouf - talweg Ouest. La structure moutonnée des versants à gauche de la photo et derrière les immeubles est un signe clair d'instabilité (EEG SIMECSOL 2003)**



**Photo.2 : Vue d'ensemble du site de Boussouf talweg Est. Les bâtiments en construction (B) sont sur un glissement de terrain actif. (EEG SIMECSOL 2003)**

Dans son rapport de 1995, le CTC souligne l'existence de nombreux glissements actifs et met en relief l'anarchie des constructions et les réseaux d'eau et d'assainissement incorrectement dimensionnés et installés, créant de nombreuses zones d'érosion, humides et déclenchant des glissements de terrain. Il signale par ailleurs un site inconstructible sur lequel ont été construits plusieurs immeubles et les trois tours de 17 étages.

Le rapport d'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 de 3 tours de 17 étages) sont fondés sur des pieux de 22 m. Le problème de stabilité ne se pose pas ici*".

#### **II.4. Glissement du pont de Sidi Rached et Chemin forestier :**

En 1910, à la suite d'un hiver pluvieux, des désordres apparaissent sur la culée Est qui est terminée : fissures verticales dans le parement de la culée et dans l'anneau aval de la première voûte. Les désordres sont attribués à une poussée des terres consécutive à un mauvais drainage des marnes et un drainage de la fondation par puits et galerie est mis en œuvre.

En 1922, à la suite de l'évolution des mouvements, ils posent des témoins pour suivre les fissures et ils réalisent un drainage superficiel. (EEG SIMECSOL 2003)

Les désordres se poursuivent puisqu'en 1938, une campagne de reconnaissance des sols est lancée qui montre que la culée Est et les deux piles avoisinantes sont fondées sur les marnes surmontant une couche massive de calcaire. Plus tard, en 1941, l'absence de stabilisation des désordres nécessite des mesures de consolidation : des pieux inclinés ancrés dans le calcaire sont réalisés pour asseoir les piles sur ce substratum plus stable, les deux derniers rangs de piles et la culée sont consolidés par des forages injectés, des poutres en béton armé sont installées entre les piles et la culée et les fissures sont injectées.

En 1947, à la suite d'une forte secousse sismique qui a ébranlé la région de Constantine, les fissures existantes évoluent et de nouvelles apparaissent sur les trois groupes de piles épargnées jusqu'alors. (EEG SIMECSOL 2003)

En mai 1979, une conduite d'eau potable de 400 mm de diamètre se rompt et des quantités importantes d'eau se déversent sur le talus surplombant la plate-forme des chemins de fer. Le 17 mai 1979, un glissement apparaît sur le talus de déblai situé dans la gare de Constantine. En juin de la même année, l'arc à trois articulations de la première voûte se rompt. Les vérins sont écrasés et flambent à la clé, les butons placés à mi-hauteur flambent et la chaussée se

fissure avec décollement du parement des trottoirs. Aucun désordre significatif n'est observé dans la structure du pont ; le dispositif mis en place a bien joué son rôle, jusqu'à la destruction!

En 1992, on observe encore un déplacement longitudinal du tablier et un écrasement du béton de la dalle. Le joint de dilatation côté pile est endommagé et des fissures au niveau du mur garde-grève sont apparues, preuve que les déplacements se poursuivent. Les travaux de réparation de 1994 consistent à démolir la dalle au niveau du joint de dilatation, rétablir le joint entre le mur garde grève et le tablier en découpant le tablier, mettre en place un joint de type Freyssinet et colmater les fissures côté pile, remettre en état le joint et enfin reconstruire le mur garde grève, côté culée. (EEG SIMECSOL 2003)

En 1997 des désordres importants sont constatés au niveau de la chaussée à la suite d'un déplacement de la culée côté gare : écrasement des appareils d'appui, fissuration du mur garde grève, fermeture des joints de chaussée.

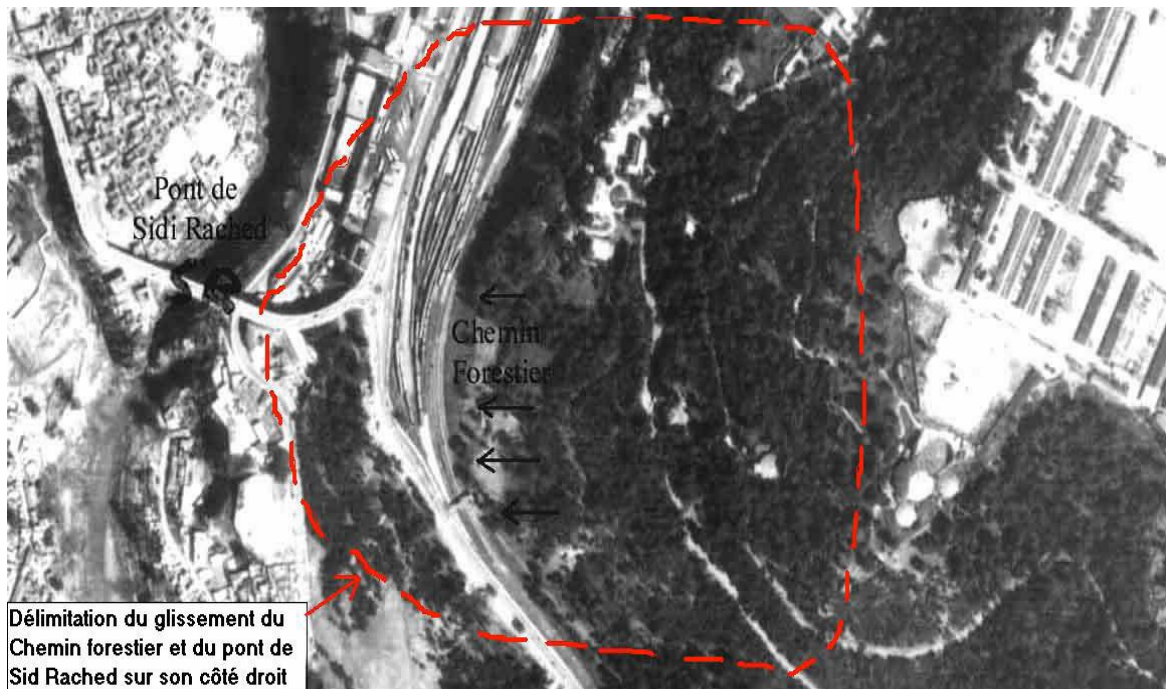
Fin 1997, de nouveaux travaux sont entrepris : mise en place d'un joint à grand souffle, réfection des poutres de renforcement par TFC, traitement des éclatements de béton sous dalle, reconstruction du mur garde grève, remplacement des appareils d'appui abîmés.

Les causes avancées pour expliquer ces désordres ont été longtemps "l'hétérogénéité du sol d'assise des fondations" et/ou un "glissement local". L'action d'un grand glissement du versant à l'amont venant buter ou englobant la culée du pont est peu mise en avant. Des questions se posent toutefois et le Laboratoire des Travaux Publics de Constantine (LTP/EST) propose d'entamer une étude approfondie à l'aide de matériel approprié (inclinomètre, piézomètre etc. pour déterminer s'il y a mouvement d'ensemble ou si celui-ci reste localisé. Seul un expert, Paulsen, avance "un glissement de grande ampleur " dans un rapport de 1999.





**Photo.3 : Arbres inclinés montrant le glissement du Chemin Forestier et proche du pont de Sidi Rached (Machene 2002)**



**Fig.16: Glissement du Chemin Forestier et du pont de Sidi Rached affectant les formations telliennes qui se fait d'Est en Ouest dans la direction de l'oued Rhumel (Machene 2002)**

## II.5. Glissement de Belle vue

Dans le quartier dit Belle Vue, une zone a souffert des dommages liés à un glissement de terrain. C'est une zone urbaine où plusieurs dégâts sont toujours présents aujourd'hui et des maisons risquant l'effondrement sont toujours occupées par des habitants. Des tours d'habitation sont inclinées et certains immeubles ont subi des dommages consistant en la séparation des joints, des fissures dans les murs et le cisaillement des poutres.

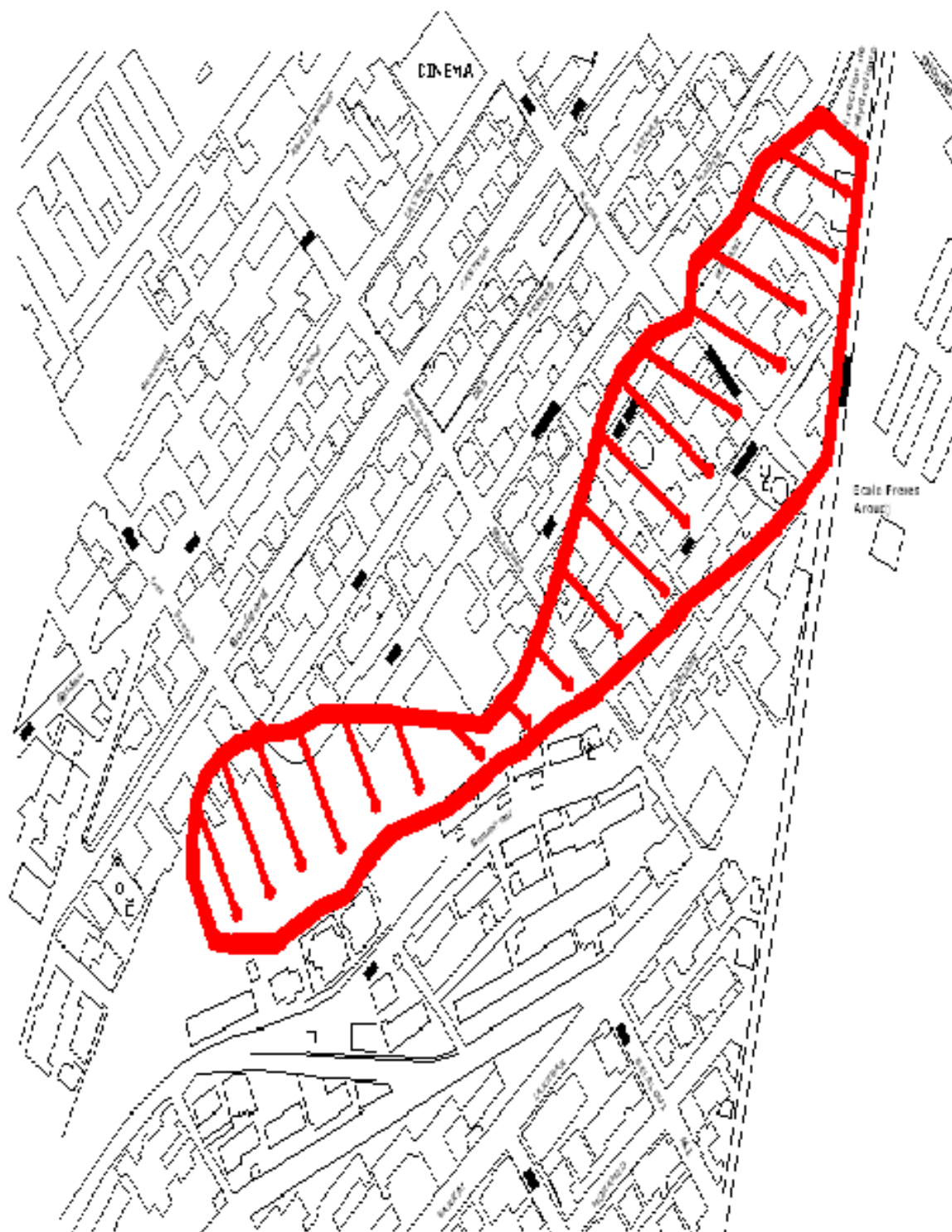
Les endommagements causés par les déformations ont commencé en 1970. L'interprétation des photographies aériennes prouve que la région est une ancienne aire de glissement.

Du point de vue géologique, le terrain se compose de conglomérats hétérogènes du Mio-pliocène. La cause principale de ce glissement est l'infiltration incontrôlée de l'eau par la canalisation.

Selon les résultats d'examen dans les rapports de Mavrovo dans le profil d'humidité naturelle (in Paulsen et al. 1998) les couches montrent dans quelques horizons des teneurs d'humidité différentes s'élevant partiellement à plus de 20 %. Les valeurs de saturation atteignent 80 à 100 %.

Bien sur, la véritable cause principale se rapporte à la formation géologique. Cependant une cause additionnelle importante des mouvements est l'eau.

La surface du glissement est estimée à 15 m de profondeur et la vitesse du mouvement est d'environ 1 cm par an en 1998. (Machene 2003)



**Fig.17 : Périmètre du glissement de Belle Vue (EEG SIMECSOL 2003)**

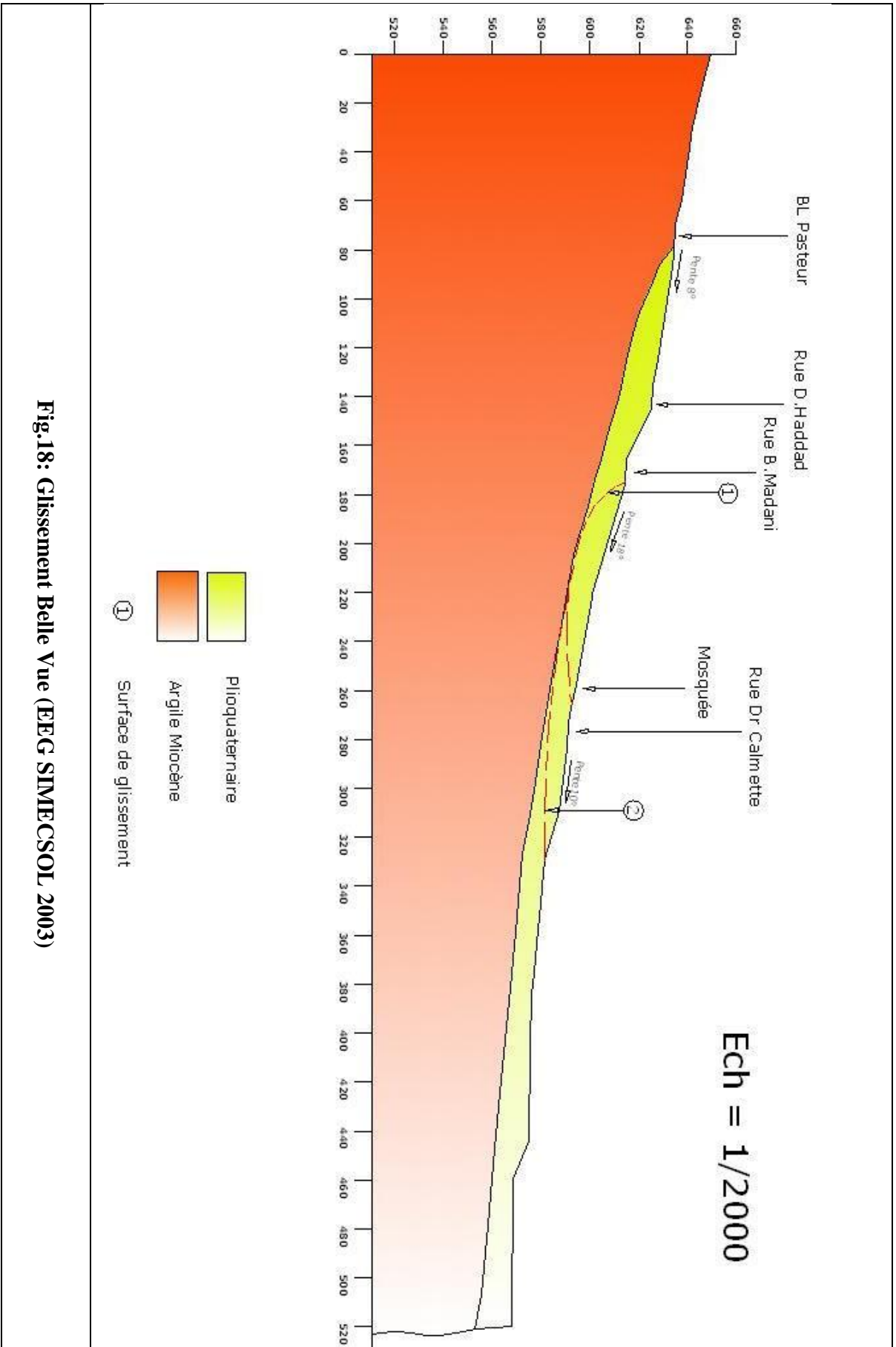


Fig.18: Glissement Belle Vue (EEG SIMÉCSOL 2003)



## II.6. Glissement de la mosquée Émir Abdelkader :

La Mosquée Émir Abdelkader de Constantine et l'Université des Sciences Islamiques attenante composent un gigantesque édifice qui a été inaugurée le Lundi 31 octobre 1994 par le chef du gouvernement en présence de plusieurs ministères, d'ambassadeurs et de chargés d'affaires auprès des pays arabes et islamiques accrédités en Algérie. Pendant la construction de la Mosquée, des désordres sont apparus sur la pente à l'ouest de la Mosquée. (EEG SIMECSOL 2003)

La stabilité des pentes près de la Mosquée a fait l'objet de nombreuses reconnaissances et études :

- en 1978, une campagne de 7 forages carottés et 11 forages destructifs équipés d'inclinomètres et de piézomètres.
- en 1984, une campagne de 10 forages carottés équipés d'inclinomètres et de piézomètres par le LTP/Est
- en 1988, une prospection sismique par l'université de Liège
- en 1988, une étude de l'université de Liège qui fournit de nombreuses informations sur les investigations et travaux entrepris sur le site de la Mosquée et qui à côté d'un glissement actif ne rejette pas l'hypothèse d'un grand glissement très profond
- en 1988, une campagne de 15 forages carottés équipés d'inclinomètres ou de piézomètres par ENRB
- en 1989, de la part de Mavrovo qui a recommandé la mise en place de drains subhorizontaux, ce qui a été réalisé (Evans, 1998).

Un confortement est proposé en 1978 était constitué de tranchées drainantes de 4 m de profondeur, espacées de 15 m et de drains subhorizontaux intercalés entre celle-ci. Un mur de soutènement ancré et drainé devait conforter la tête de talus. Les travaux effectivement réalisés se sont limités à un dispositif de drains subhorizontaux à mi-hauteur et en bas de talus. Dans le talus supérieur, en contrebas de la Rue Ganoud, un mur de soutènement de 60 m de long a été construit. (EEG SIMECSOL 2003)

En 1988, sur la base des débits des drains et de l'évolution des pressions interstitielles mesurées entre 1978 (avant travaux) et 1984 puis 1988, Montjoie pense qu'une bonne partie des équipements de drainage est détériorée (drains colmatés ou brisés).

En 1999, Paulsen explique les déformations de la pente supérieure par les travaux de déblai à cet endroit. Les déformations à l'aval seraient aussi la conséquence de glissements de terrain. Il estime que les drains installés dans la partie supérieure de la pente ne sont pas du tout ou peu efficaces. Il s'inquiète aussi de la stabilité des talus dont la pente est assez élevée, au-dessous de la terrasse en proposant de les conforter par des "appuis en terre stabilisée.

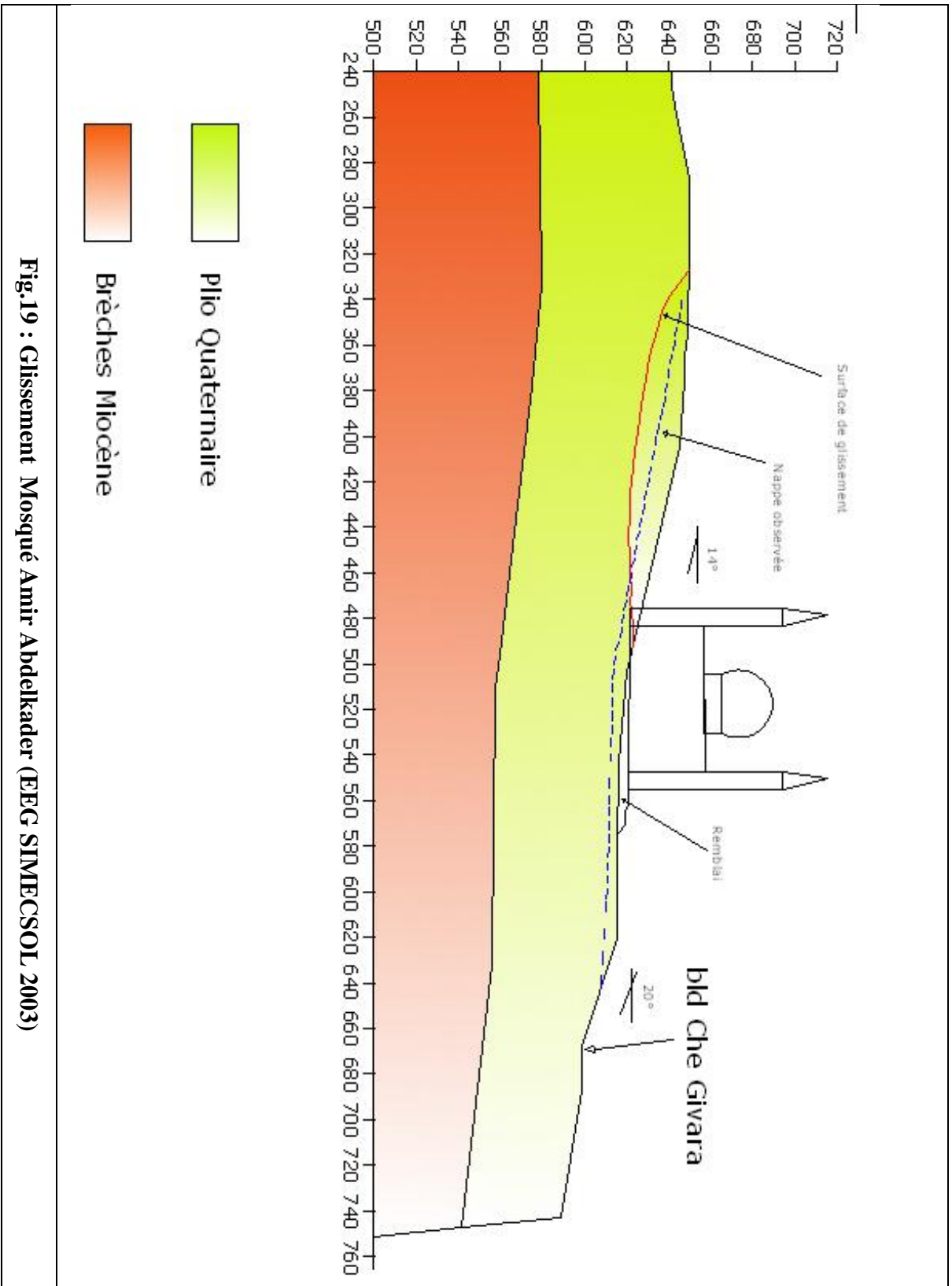


Fig.19 : Glissement Mosqué Amir Abdolkader (EEG SIMIECSOL 2003)

### II.7. Glissement de l'université de Constantine

Dans la partie sud-est de Constantine, d'importants glissements se sont déclenchés sur les pentes entaillées par l'oued Rhumel, lesquelles représentent des sédiments du Mio-Pliocène. Des escarpements d'environ 1 m de haut, apparus récemment et qui semblent mettre en cause une rupture dans les remblais, s'étendent le long du côté Est du principal édifice universitaire, construit au sommet de la colline. D'autres édifices universitaires situés sur la pente ouest ont été détériorés ou abandonnés. . (Machene.J, 2002)

### II.8. Glissement de la Décharge Publique-Ben Chargui-Salah Bey

La décharge publique située à Ben Chargui mesure environ 80 m de haut et sa pente est de l'ordre de 38°. Des dégâts, notamment des fissures et des escarpements, sont visibles le long du sommet de la décharge qui présente un risque de glissement catastrophique. (Machene.J, 2002)

### II.9. Glissement du Bardo

Le glissement du Bardo s'est produit sur la rive gauche de l'oued Rhumel. Il a entraîné la destruction de l'abattoir et a démoli une partie de la chaussée. Il semble être toujours en mouvement sur le site où des conglomérats massifs reposent sur des argiles rouges plastiques. La surface de cisaillement se situerait dans les marnes grises cisillées de la nappe tellienne, sous-jacents aux sédiments du Mio-Pliocène. La nappe phréatique de la pente se situe entre 2 et 5 m de profondeur. Des effluents qui s'écoulent de façon anarchique des immeubles construits au-dessus de l'abattoir constituent l'une des causes principales de ce glissement. La stabilité de la pente a été compromise par l'ajout d'épais remblais sur le point neutre de la pente ascendante. Il s'agit d'un glissement rétrogressif. Rappelons que ce site a été le siège d'éboulements et chutes de blocs au mois de février 2003 après les fortes chutes de pluies. (Machene.J, 2002)



**photo.4 : Photos de la route fissurée, affaissée et son talus aval instable du Bardo (Bougdal.R, 2007)**

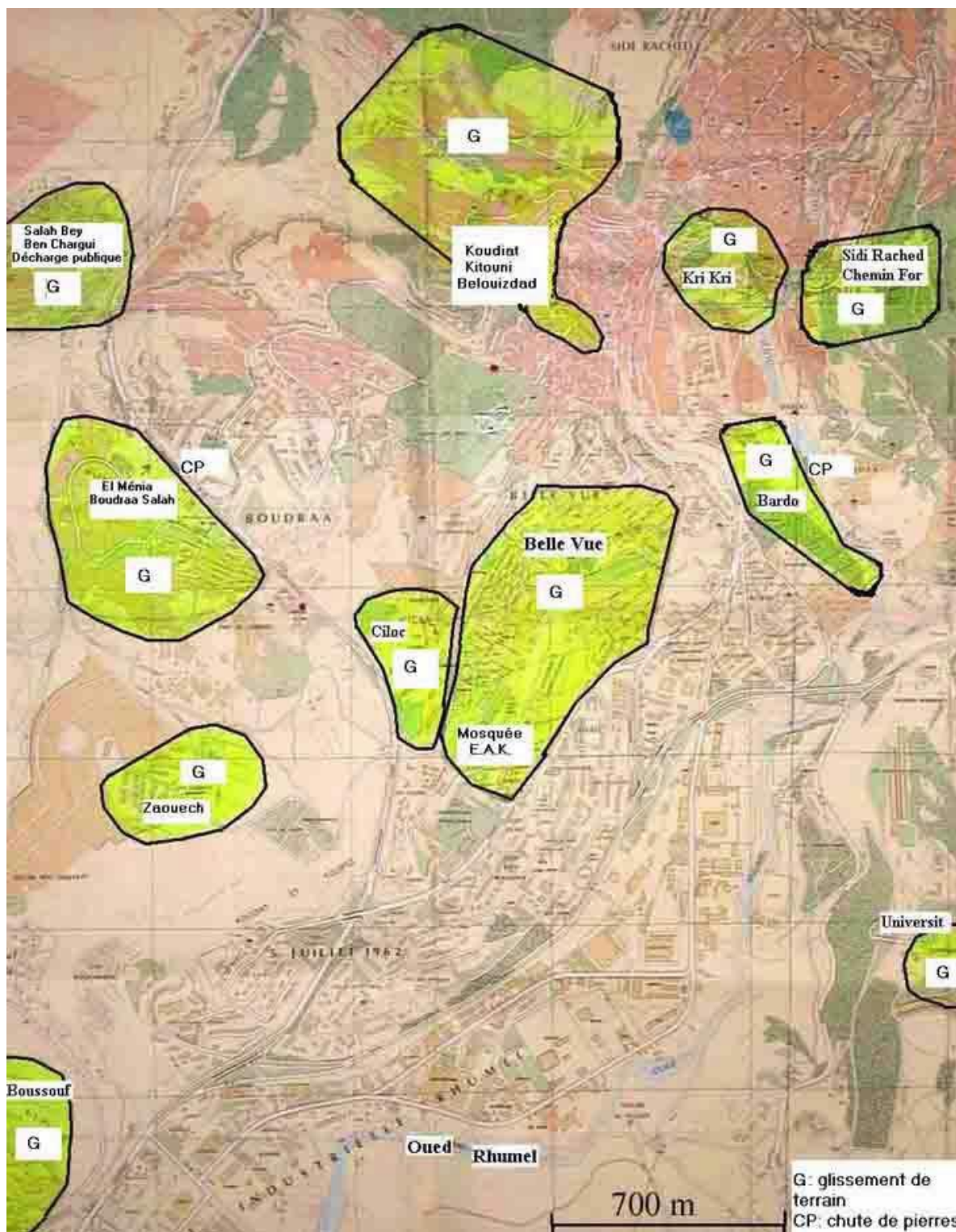


Fig.20 : Carte des phénomènes de glissement de terrain de Constantine (Machene,J, 2002)

# Chapitre 5

GEOTECHNIQUE DE LA  
VILLE DE CONSTANTINE

## I. Introduction

La réalisation de la carte géotechnique de la région d'étude a nécessité une compilation, analyse et synthèse détaillées des résultats disponibles des reconnaissances du sol dans les zones urbaines. L'analyse de ces informations a permis une identification physique mécanique de chaque formation, de fournir une appréciation de la qualité des terrains et de faire ressortir les problèmes géotechniques majeurs (tassement, glissements, effondrement, liquéfaction de sols...) liés aux séismes.

Les reconnaissances comprennent mille cinq cent dix-neuf (1519) sondages carottés et forages hydrauliques confondus de profondeur variables de 10 à 90 m et des milliers d'essais géotechniques.

L'analyse, l'interprétation et la synthèse des caractéristiques géotechniques des formations géologiques caractérisant notre zone d'étude ont été réalisées sur la base des classifications établies en mécanique des sols (LCPC, Atterberg, Terzagui, Sanglerat...).

Les propriétés physico-mécaniques de chaque formation géologique sont données sous forme d'un tableau synoptique représentant les valeurs des paramètres géotechniques, (tableau II en annexe.). Ce tableau contient les renseignements suivants :

- Numéro de l'étude ;
- Localisation ;
- Observation et
- Types de reconnaissances effectuées.

Quelques données ou coupes de sondages et puits d'essais utilisées dans cette étude de microzonation sismique sont présentées dans le **tableau I** et **II** en annexe.

Pour chacune des unités lithologiques figurant sur la carte géotechnique, un système de classification a été utilisé, qui est basé sur l'âge de la formation, l'origine géologique et le type de faciès ;

| âge            | symbole   | Origine géologique et type de sol | symbole   |
|----------------|-----------|-----------------------------------|-----------|
| Actuel         | <b>A</b>  | remblai : éboulis                 | <b>r</b>  |
| Holocène       | <b>H</b>  | argile                            | <b>a</b>  |
| Villafranchien | <b>V</b>  | marne                             | <b>m</b>  |
| Pléistocène    | <b>PL</b> | calcaire                          | <b>c</b>  |
| Plaisancien    | <b>P</b>  | alluvions                         | <b>al</b> |
| Miocène        | <b>M</b>  | conglomérats                      | <b>co</b> |
| Crétacé        | <b>C</b>  |                                   |           |

**Tab.4 : Système de classification des unités de sol**

**Exemple :** la classification **Ma** est réservée aux argiles miocène.

## II. Description géotechnique des unités du sol :

La synthèse statistique des données des études géotechniques a permis de regrouper les formations géologiques de notre région d'étude en unités géotechniques relativement homogènes :

- Le rocher et formations rigides représentés par les calcaires néritiques du rocher de Constantine, les marnes, les marnes à blocs et les marno-calcaires
- Les formations argilo-marneuses
- Les conglomérats
- Les formations alluvionnaires

### II.1. Le rocher de Constantine :

Il s'agit de calcaire micritique plus ou moins fissuré de couleur grise. Les valeurs des résistances à la compression simple varient en moyenne de 419 à 752 bars, une étude géophysique montre que ces calcaires possèdent un  $V_s$  varie entre 1200 m/s à 2000 m/s ; elles caractérisent des calcaires peu fissurés à sains. Le toit des calcaires constitue une assise rocheuse très résistante.



## II.2. Les formations marneuses :

Elles affleurent largement à l'Est et Nord –est de Constantine, se sont les marnes à boules jaunes, les marnes à blocs, les marnes grises à patine jaune et les flysch à microbrèches. Ces marnes, possèdent une densité sèche qui varie entre 1.5 à 1.9 t/m<sup>3</sup> avec une moyenne de 1.69 t/m<sup>3</sup> qui caractérise un sol dense et un indice de plasticité IP de 20 à 35% indique un sol plastique (**Fig.21**). Ces marnes ont un degré de saturation équivalent à 92%. L'analyse granulométrique montre qu'on est en présence d'un sol fin avec des passants à 80µm dépassent largement les 50%(60 à 100%) **Fig.22**. La cohésion de ces marnes est limitée entre 0.1 et 0.4 bar avec un angle de frottement variant de 10° à 20°. Ces marnes sont moyennement compressibles avec un coefficient de compressibilité 10% < Cc < 22%, le coefficient de gonflement Cg varie de 3% à 6% et une moyenne de 4.3%, par conséquent, elles sont peu gonflantes à gonflantes.

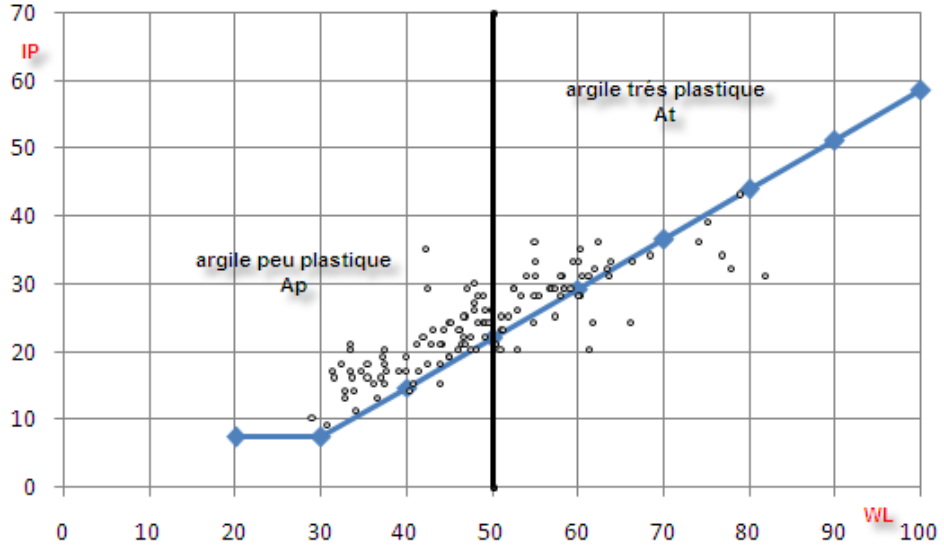
Les résultats de l'essai de résistance à la compression simple pour les marnes ont donné des valeurs dépassant 121 kg/cm<sup>2</sup> et pour les marno-calcaire une forte valeur (de plus de 314 kg/cm<sup>2</sup>). Une étude géophysique montre que les vitesses sismiques des marnes varient de 500 à 1200 m/s.

les résultats pressiométriques donnent des valeurs de module pressiométrique E entre 550 et 780 bars et le rapport E/Pl est entre 14 et 19 se qui signifie des marnes sur-consolidées

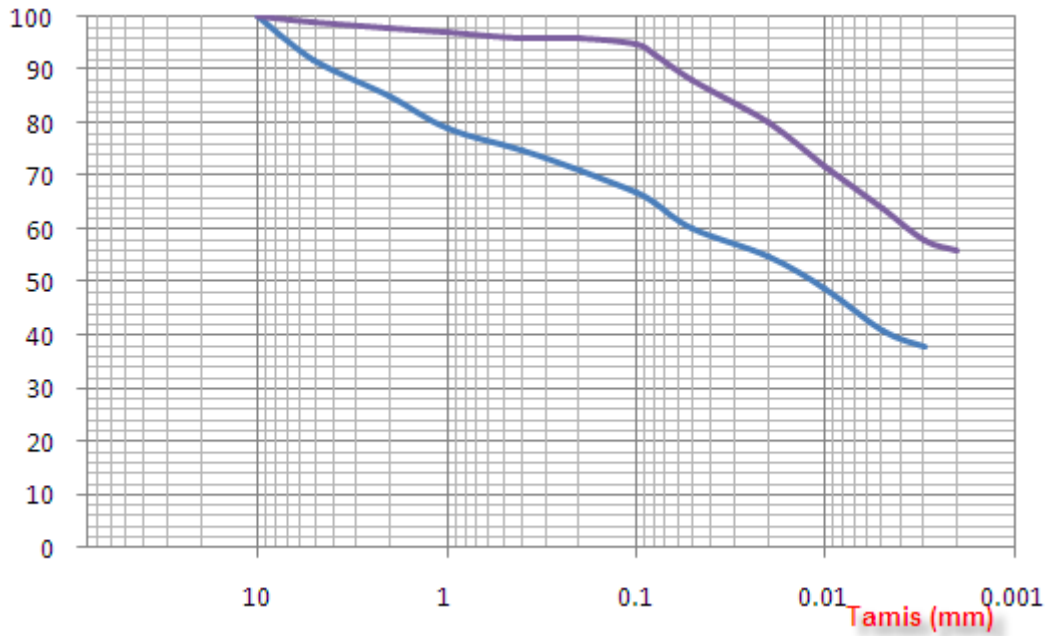
| Paramètres physico-mécaniques de sol         | Valeurs Min | Valeurs Max | Valeur moyenne | Ecart type | Coefficient de variation (%) |
|--|-------------|-------------|----------------|------------|------------------------------|
| $\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> ) densité sèche | 1.5         | 1.9         | 1.69           | 0.1        | 5                            |
| <b>Sr</b> (%) degré de saturation            | 80          | 100         | 91.88          | 5.56       | 6                            |
| (%) passants inférieurs à 80µ                | 60          | 100         | 90.3           | 13.57      | 15                           |
| <b>Ip</b> (%) indice de plasticité           | 20          | 35          | 26.2           | 4.42       | 16                           |
| <b>Cc</b> (%) Coefficient de compressibilité | 0.1         | 0.22        | 0.16           | 0.035      | 21                           |
| <b>Cg</b> (%) Coefficient de gonflement      | 0.03        | 0.06        | 0.043          | 0.008      | 19                           |
| <b>Ccu</b> (bars) Cohésion non drainée       | 0.1         | 0.4         | 0.27           | 0.094      | 34                           |
| <b>Φcu</b> (°) Angle de frottement           | 10          | 20          | 14.5           | 3.19       | 21                           |

**Tab.5 : paramètres physico-mécaniques de la formation marneuse**





**Fig.21 : Diagramme de plasticité de la formation marneuse**



**Fig.22 : Fuseau granulométrique des marnes**

### II.3. Les formations argilo-marneuse :

C'est une alternance de marnes, d'argiles gypsifères et de niveaux de sables et graviers (parfois indurés en conglomérats). Son épaisseur peut atteindre 250m au Sud-ouest de Constantine (cité Boussouf). Elles sont recouvertes sur 5 à 10m par des niveaux décomprimés, plastiques et remaniés, en profondeur elles deviennent plus compactes.

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 sens vertical et dans le plan horizontal. Les caractéristiques physico-mécaniques de ces argiles sont comme suit :

Il s'agit d'un sol dense avec une densité de 1.6 à 1.9 t/m<sup>3</sup>, moyennement plastique à très plastique (WI=49.56%, IP=27). (**Fig.23**)

Le degré de saturation moyen  $S_r$  est de 96.77%, ce qui indique des sols détremés à saturés, puisqu'ils présentent parfois des valeurs de  $S_r$  égale à 100%.

Cette formation a une cohésion qui varie de 0.1 bar à 0.5 bar avec une moyenne de 0.32 bar, l'angle de frottement ( $\phi = 11^\circ$ ) affirmant la présence des sables dans le sol.

Le coefficient de compressibilité est entre 0.1 et 0.2 (moyenne de 0.15), le coefficient de gonflement est élevé ( $C_g > 0.05$ ).

Ces valeurs caractérisent un sol moyennement compressible et gonflant. Les résultats des essais granulométriques sont comme suit : les passants à 80 $\mu$ m sont compris entre 90 et 100% (moyenne de 96.3%) caractérisant un sol fin, les éléments inférieure à 0.02 mm sont variés de 50 à 80% (une moyenne de 67.9%) et la moyenne de diamètre de 50% des éléments est de 0.004mm (de 0.002 à 0.01mm) **Fig.24**,

Des essais pressiométriques dans cette formation donnent les résultats suivants : un module pressiométrique compris entre 200 et 800 bar, cette variation dépend de la profondeur, et un rapport E/PI de 10 à 20.

Les études géophysique qui ont été réalisés à la cité Ciloc et au niveau de Zouaghui montrent que les vitesses sismiques dans les niveaux altérés sont de l'ordre de 500 à 1000 m/s. les marnes compact sous-jacente accusent des vitesses comprises entre 1600 et 2000 m/s.

| Paramètres physico-mécaniques de sol                  | Valeurs Min | Valeurs Max | Valeur moyenne | Ecart type | Coefficient de variation (%) |
|---|-------------|-------------|----------------|------------|------------------------------|
| $\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> ) densité sèche          | 1.6         | 1.9         | 1.73           | 0.082      | 4                            |
| <b>Sr</b> (%) degré de saturation                     | 80          | 100         | 93.57          | 5.35       | 5                            |
| (%) passants inférieurs à 80 $\mu$                    | 90          | 100         | 96.31          | 3.18       | 3                            |
| <b>Ip</b> (%) indice de plasticité                    | 20          | 35          | 27.11          | 4.49       | 16                           |
| <b>Cc</b> (%) Coefficient de compressibilité          | 0.1         | 0.2         | 0.15           | 0.027      | 18                           |
| <b>Cg</b> (%) Coefficient de gonflement               | 0.03        | 0.06        | 0.045          | 0.026      | 58                           |
| <b>Ccu</b> (bars) Cohésion non drainée                | 0.3         | 0.6         | 0.44           | 0.082      | 18                           |
| <b><math>\Phi_{cu}</math></b> (°) Angle de frottement | 7           | 17          | 11.95          | 3.08       | 25                           |

**Tab.6 : paramètres physico-mécaniques de la formation argilo-marneuse**

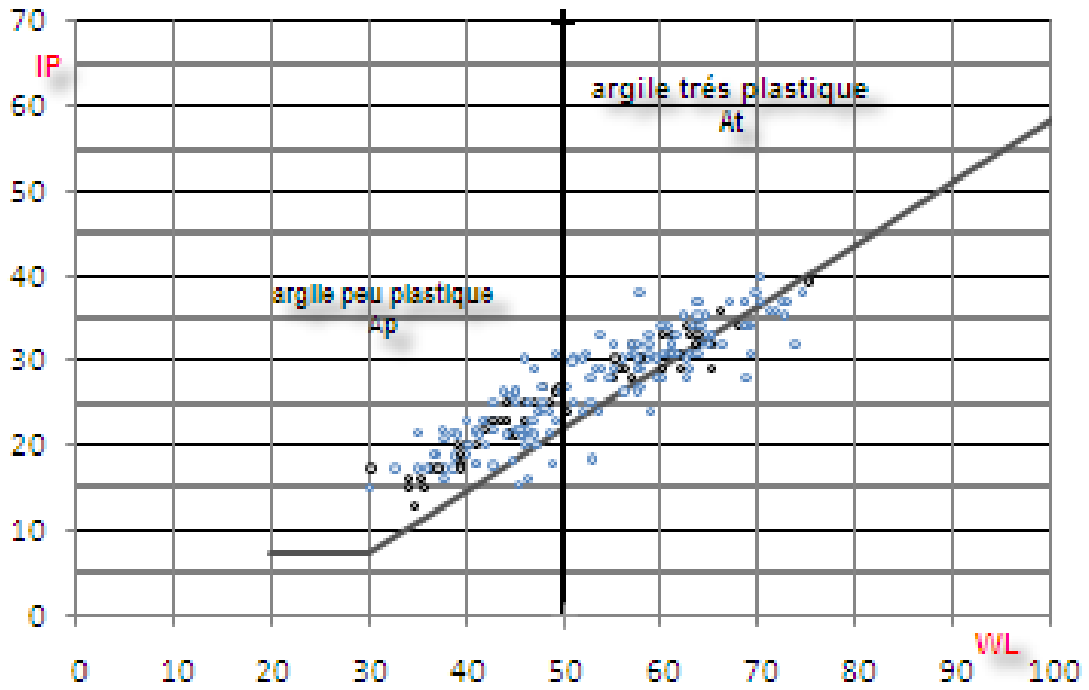


Fig.23 : Diagramme de plasticité des argiles marneuse

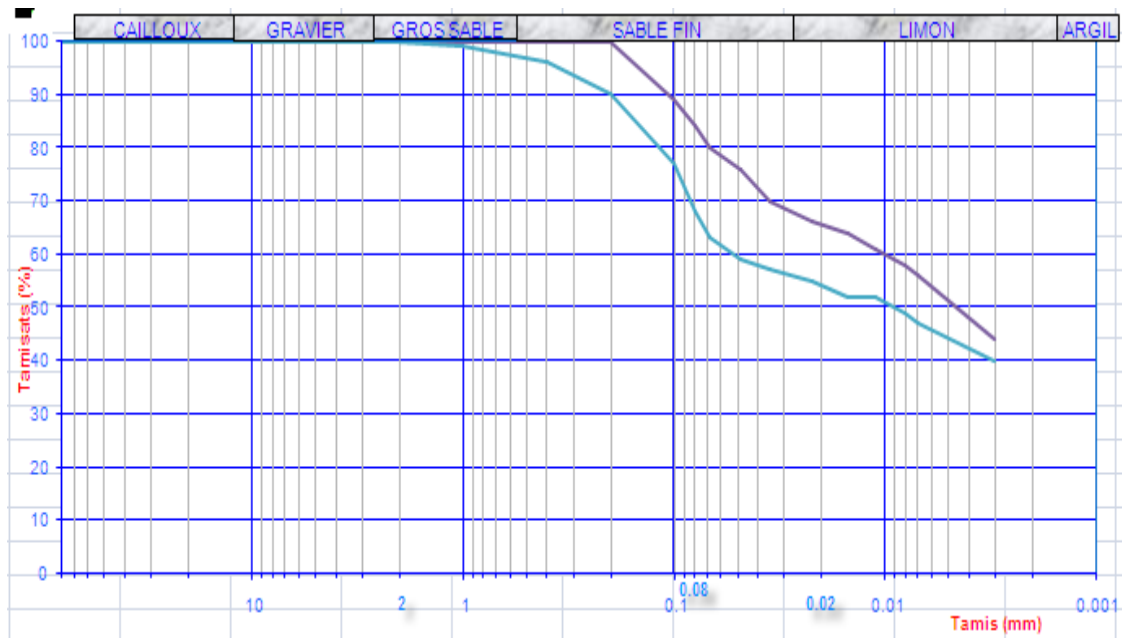


Fig.24 : Fuseau granulométrique des argiles marneuses

**II.4. Les conglomérats:**

Cette formation peut atteindre 200m d'épaisseur, elle affleure essentiellement à l'Ouest de Constantine. Elle est constituée de galets ou blocs, de démantions fort variable, allant de 2 à 40 cm et même parfois plus, noyés dans une matrice limono-sableuse, intercalés d'argiles rouges sableuses. On peut remarquer que les talus entaillant ces poudingues présentent une très bonne stabilité. La pente des talus naturels avoisine les 80° : c'est le cas, notamment, du talus surplombant le RHUMEL, dans le quartier de BARDO.

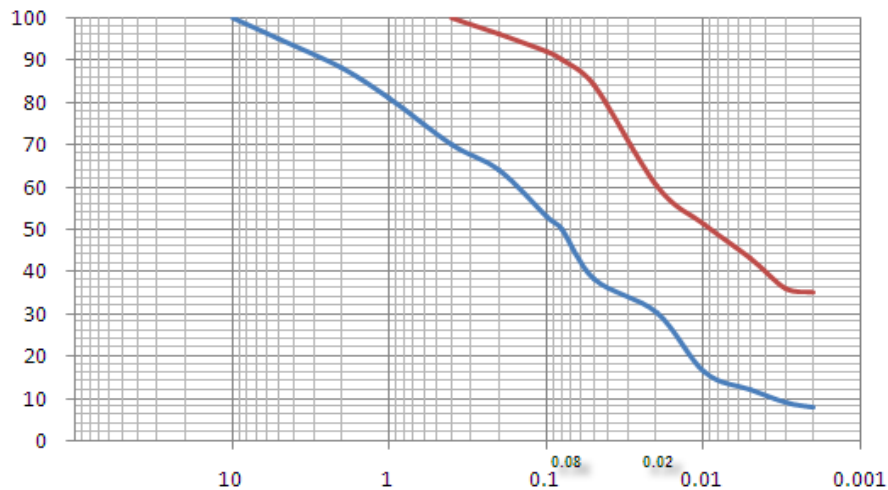
Les densités sèches indiquent un sol très dense (1.7-2.1 t/m<sup>3</sup>) à une moyenne de 1.9 t/m<sup>3</sup>, les teneurs en eau sont de 15 à 24%. L'indice de plasticité de ce sol varie entre 15 et 30 (moyenne=21.3) et sa cohésion de 0.4 à 0.1 bar avec un angle de frottement de 24.4°.

Des analyses granulométrique donnent une moyenne pour les passants à 80µm de 77.62 (50 à 90), les éléments inférieur à 0.02mm ont une moyenne de 45.17 (30 à 60%) et le diamètre moyen de 50% des éléments est de 0.035mm (0.01 à 0.1mm). **Fig.25**

Des essais pressiométriques réalisés sur cette formation donnent un module pressiométrique compris entre 100 à 350 bar et le rapport E/Pl entre 10 à 25

| <b>Paramètres physico-mécaniques de sol</b>  | <b>Valeurs Min</b> | <b>Valeurs Max</b> | <b>Valeur moyenne</b> | <b>Ecart type</b> | <b>Coefficient de variation (%)</b> |
|--|--------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------------|
| <b>γd</b> (t/m <sup>3</sup> ) densité sèche  | 1.7                | 2.1                | 1.90                  | 0.11              | 6                                   |
| (%) passants inférieurs à 80µ                | 50                 | 90                 | 77.62                 | 9.88              | 12                                  |
| <b>Ip</b> (%) indice de plasticité           | 15                 | 30                 | 21.30                 | 3.47              | 16                                  |
| <b>Cc</b> (%) Coefficient de compressibilité | 0.03               | 0.19               | 0.092                 | 0.049             | 53                                  |
| <b>Cg</b> (%) Coefficient de gonflement      | 0.02               | 0.05               | 0.035                 | 0.0089            | 25                                  |
| <b>Ccu</b> (bars) Cohésion non drainée       | 0.4                | 1                  | 0.71                  | 0.19              | 27                                  |
| <b>Φcu</b> (°) Angle de frottement           | 18                 | 30                 | 24.42                 | 3.76              | 15                                  |

**Tab.7 : paramètres physico-mécaniques de la formation conglomératique**



**Fig.25 : Fuseau granulométrique des Conglomérats**

### II.5. Les terrasses récentes à actuel :

Elles sont représentées par deux terrasses alluviales étagées, reconnues de part et d'autre des rives du Rhummel et du Bou Merzoug :

- La terrasse récente : Elle est de nature limoneuse, finement sableuse.
- La terrasse intermédiaire, elle est plus sableuse et renferme des galets hétérogènes, roulés.

La synthèse des caractéristiques physico-mécaniques des alluvions actuelles sont comme suit : une densité sèche comprise entre  $1.6 \text{ t/m}^3$  à  $1.8 \text{ t/m}^3$  avec une moyenne de  $1.7 \text{ t/m}^3$ , un indice de plasticité de 20 à 30, a une moyenne de 26. Les essais de résistance au cisaillement non drainé réalisés montrent des cohésions moyennes  $C_{uu}$  de l'ordre de 0.2 à 0.4 bars (une moyenne de 0.33 bar) et des angles de frottement  $\varphi^\circ$  (UU) de 4 à  $10^\circ$  et une moyenne de  $6.7^\circ$

L'analyse granulométrique montre que les passants à  $80\mu\text{m}$  donnent une moyenne de 68% (60 à 80%), le pourcentage des éléments inférieure à  $20\mu\text{m}$  est de 45% (30-50%). Les diamètres de 50% des éléments sont compris entre 0.01 mm et 0.06 mm avec une moyenne de 0.035mm.

| <b>Paramètres physico-mécaniques de sol</b>                    | <b>Valeurs Min</b> | <b>Valeurs Max</b> | <b>Valeur moyenne</b> | <b>Ecart type</b> | <b>Coefficient de variation (%)</b> |
|--|--------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------------|
| <b><math>\gamma_d</math></b> (t/m <sup>3</sup> ) densité sèche | 1.6                | 1.8                | 1.7                   | 0.056             | 3                                   |
| <b>S<sub>r</sub></b> (%) degré de saturation                   | 80                 | 100                | 91                    | 5.76              | 6                                   |
| (%) passants inférieurs à 80 $\mu$                             | 60                 | 80                 | 68                    | 13.1              | 19.4                                |
| <b>I<sub>p</sub></b> (%) indice de plasticité                  | 20                 | 30                 | 26                    | 3.2               | 12.2                                |
| <b>C<sub>c</sub></b> (%) Coefficient de compressibilité        | 0.1                | 0.3                | 0.18                  | 0.038             | 20                                  |
| <b>C<sub>g</sub></b> (%) Coefficient de gonflement             | 0.03               | 0.06               | 0.044                 | 0.008             | 20                                  |
| <b>C<sub>cu</sub></b> (bars) Cohésion non drainée              | 0.2                | 0.4                | 0.33                  | 0.078             | 23                                  |
| <b><math>\Phi_{cu}</math></b> (°) Angle de frottement          | 4                  | 10                 | 6.7                   | 1.95              | 29                                  |

**Tab.8 : paramètres physico-mécaniques des terrasses**

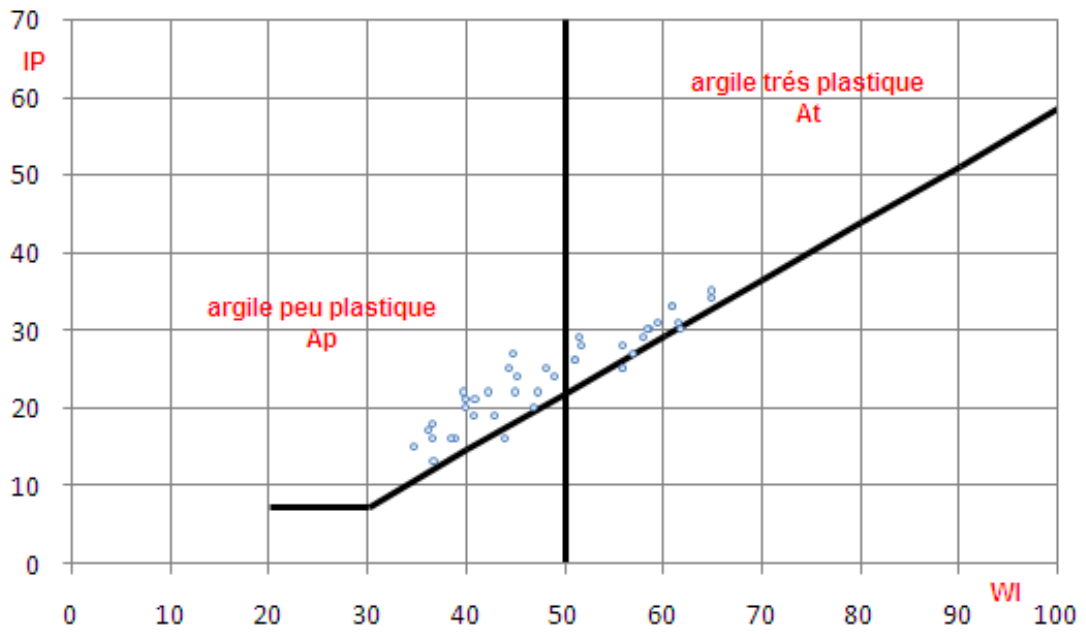


Fig.26 : Diagramme de plasticité des terrasses récent à actuel

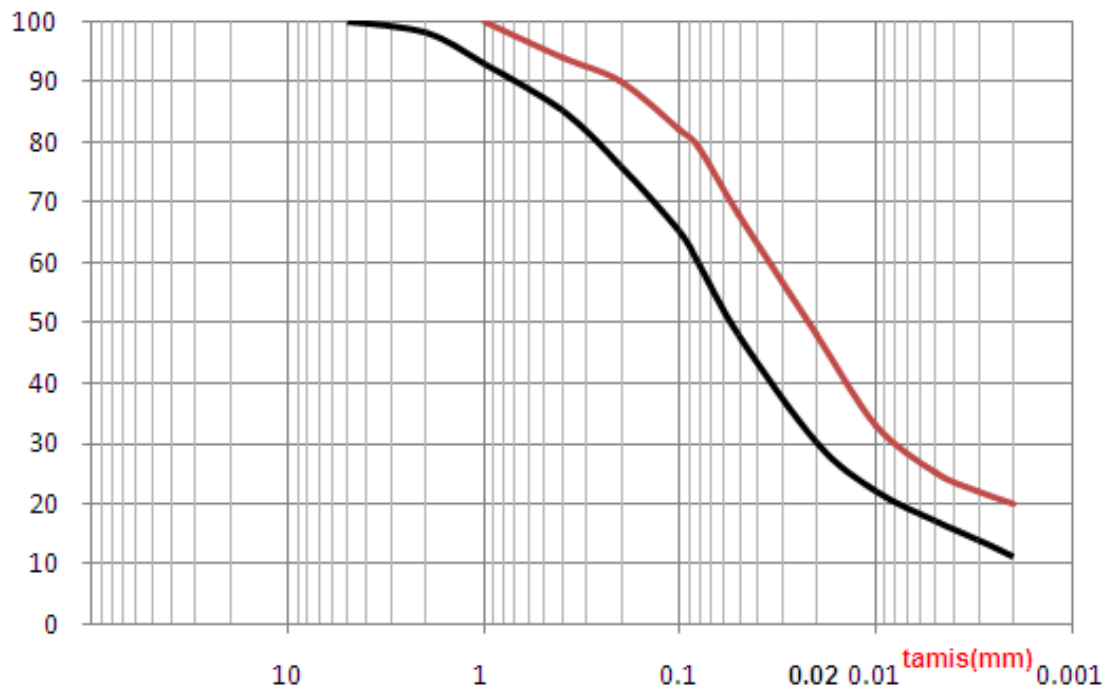


Fig.27 : Fuseau granulométrique des terrasses récent à actuel



# Chapitre 6

ALEA SISMIQUE DE LA  
VILLE DE CONSTANTINE

## I. Introduction

Dans chaque étude de microzonage sismique, différentes aléas doivent être prise en considération, citons parmi les plus importants :

- Le glissement de terrain,
- La liquéfaction,
- Les inondations,
- La rupture en surface,

Ces aléas dépendent de plusieurs facteurs qui les favorisent tels que :

- La lithologie
- L'âge de la formation
- La profondeur de la nappe phréatique
- La topographie
- La situation de la région étudiée par rapport à la faille

Dans notre région d'étude, le glissement de terrain est le plus spectaculaire parmi les autres aléas à cause des facteurs qui caractérisant la région.

Afin de vérifier la probabilité d'un glissement de terrain, trois formations lithologiques ont été étudiées par variation des facteurs extérieurs influençant leur stabilité.

L'étude de stabilité de chaque formation lithologique a été faite pour différentes pentes selon les cas suivants :

- ❖ sans nappe, sans séisme
- ❖ sans nappe, avec séisme
- ❖ avec nappe, sans séisme
- ❖ avec nappe, avec séisme

Pour des raisons de sécurité, on a pris les valeurs minimales des caractéristiques physico-mécaniques des sols.

## II. Étude de l'aléa sismique (glissement de terrain)

L'aléa sismique de la région de Constantine a été calculé en termes de g (valeur de l'accélération). Les résultats sont présentés sous forme de valeurs du pic de l'accélération horizontale pour le site de Constantine et les sites affectés par les glissements de terrain (tableau 9). (CGS 2003)

| Site             | Accélération horizontale (g) | Site        | Accélération horizontale (g) | Site     | Accélération horizontale |
|------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|----------|--------------------------|
| Chemin forestier | 0.09                         | Belouizded  | 0.09                         | El Menia | 0.1                      |
| Bardo            | 0.09                         | El koudia   | 0.09                         | Boussouf | 0.1                      |
| Belle Vue        | 0.1                          | Ben chergui | 0.09                         | Ciloc    | 0.1                      |

**Tab 9 : Valeurs de l'accélération horizontale de l'agglomération de Constantine pour une période de retour de 100 ans. (CGS 2003)**

## II.1. Les formations marneuses

Cette formation occupe une grande partie de la ville de Constantine surtout le côté Est, elle est caractérisée par des propriétés physico-mécaniques moyenne et des pentes moyennes à élevées. Dans cette formation, il existe deux grands glissements de terrain celui de chemin forestier et du pont Sidi Rached.

Les 4 cas étudiés sont représentés ci-dessous :

### 1<sup>er</sup> cas : avec nappe, avec séisme

| Position de la nappe | Poids volumique (Kn/m <sup>3</sup> ) | Angle de frottement (°) | Cohésion (Kpa) | Forces sismique | Facteurs de sécurité |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------------|
| Sans nappe           | 15                                   | 10                      | 10             | Sans séisme     | 4.24                 |
| Sans nappe           | 15                                   | 10                      | 10             | 0.09            | 2.27                 |
| NP au TN             | 15                                   | 10                      | 10             | Sans séisme     | 2.78                 |
| NP au TN             | 15                                   | 10                      | 10             | 0.09            | 1.49                 |

**Tab.10 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 6°**

Le tableau ci-dessus montre qu'en présence de nappe phréatique en surface avec un séisme, tout terrain marneux avec une pente de l'ordre de 6° ou plus présente un risque de glissement où le FS est de l'ordre de 1.49. Pour les autres cas le FS est supérieur à 1.5.

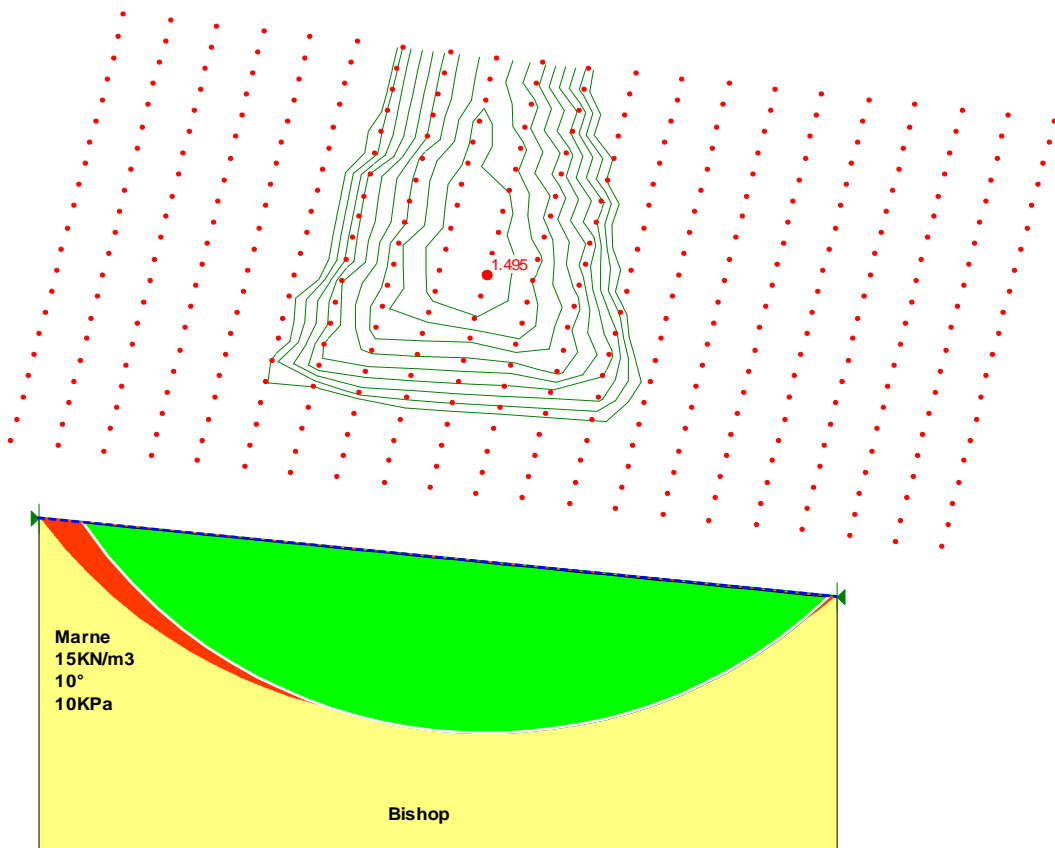


Fig.28 : cercle de glissement d'un talus pour 6° de pente

**2<sup>ème</sup> cas : sans nappe, sans séisme**

| Position de la nappe | Poids volumique (Kn/m <sup>3</sup> ) | Angle de frottement (°) | Cohésion (Kpa) | Forces sismique | Facteurs de sécurité |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------------|
| Sans nappe           | 15                                   | 10                      | 10             | Sans séisme     | 1.44                 |
| Sans nappe           | 15                                   | 10                      | 10             | 0.09            | 1.09                 |
| NP au TN             | 15                                   | 10                      | 10             | Sans séisme     | 0.9                  |
| NP au TN             | 15                                   | 10                      | 10             | 0.09            | 0.68                 |

**Tab.11 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 17°**

Dans le cas où il n'y a pas de nappe phréatique, ni un séisme, tout talus ayant une pente de 17° ou plus présente un risque de glissement de terrain avec un FS de 1.44. Pratiquement les autres cas sont plus défavorables que celui-ci.

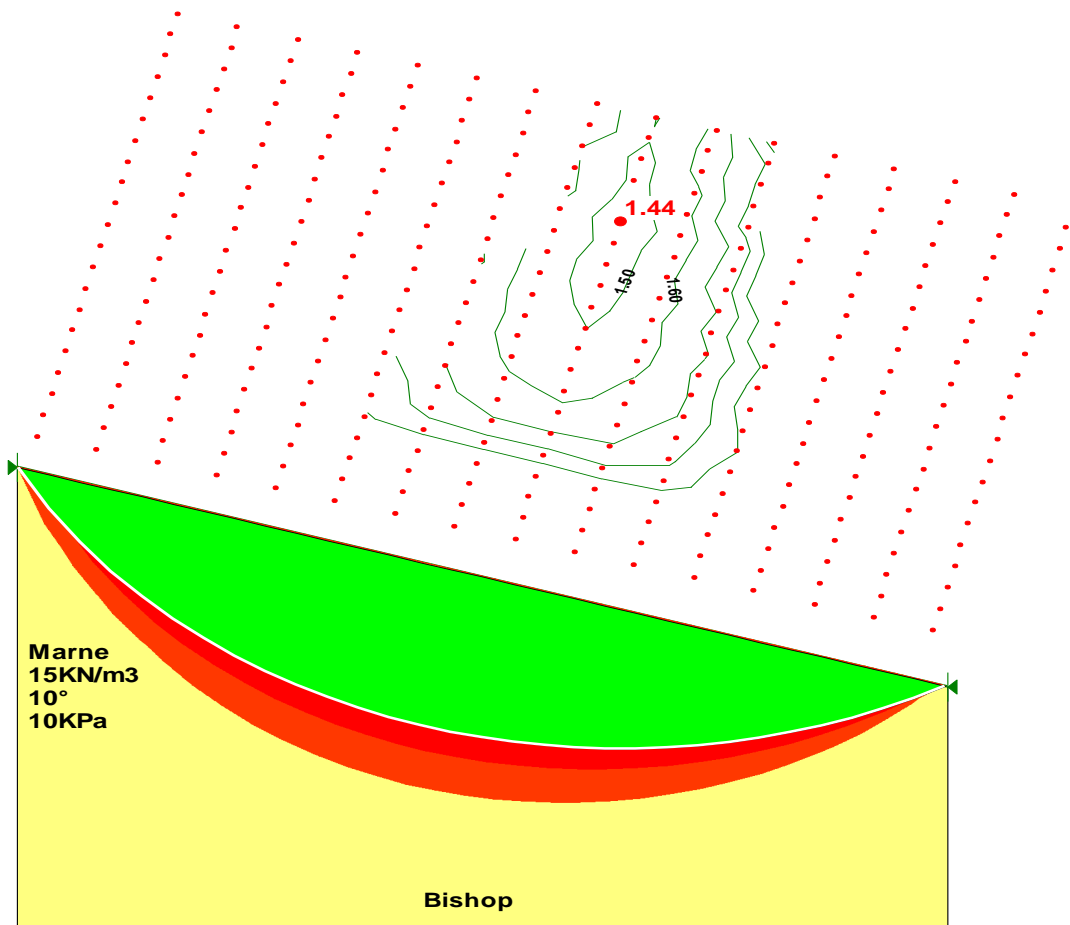


Fig29 : cercle de glissement d'un talus pour 17° de pente

**3<sup>ème</sup> cas : sans nappe, avec séisme**

| Position de la nappe | Poids volumique (Kn/m <sup>3</sup> ) | Angle de frottement (°) | Cohésion (Kpa) | Forces sismique | Facteurs de sécurité |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------------|
| Sans nappe           | 15                                   | 10                      | 10             | Sans séisme     | 1.66                 |
| Sans nappe           | 15                                   | 10                      | 10             | 0.09            | 1.23                 |
| NP au TN             | 15                                   | 10                      | 10             | Sans séisme     | 1.05                 |
| NP à -4m             | 15                                   | 10                      | 10             | Sans séisme     | 1.49                 |
| NP au TN             | 15                                   | 10                      | 10             | 0.09            | 0.78                 |

**Tab.12 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 15°**

La pente limite de la stabilité des talus dans ce cas est de 15° avec un FS de 1.23. Pour un talus de 15° de pente ou plus et en absence de la nappe phréatique et de séisme, la probabilité de glissement de terrain est nulle car le FS est de 1.66, alors qu'il est inférieur de 1.5 pour les autres cas.

En présence de nappe phréatique, le FS est de l'ordre de 1.05 dans le cas où il n'y a pas de séisme, pour assurer la stabilité des talus dans ce cas il faut rabattre la nappe de 4m.

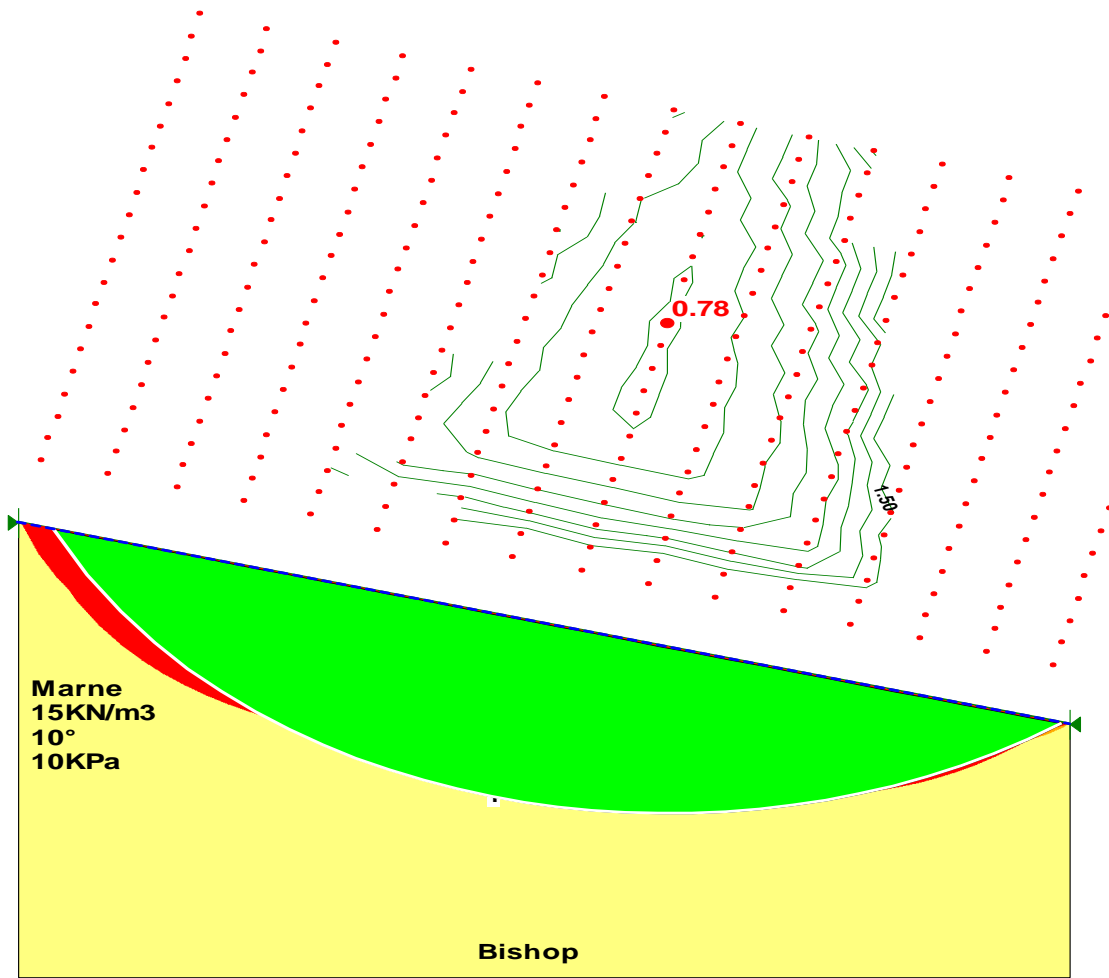


Fig30 : cercle de glissement d'un talus pour 15° de pente



**4<sup>ème</sup> cas : avec nappe, sans séisme**

| Position de la nappe | Poids volumique (Kn/m <sup>3</sup> ) | Angle de frottement (°) | Cohésion (Kpa) | Forces sismique | Facteurs de sécurité |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------------|
| Sans nappe           | 15                                   | 10                      | 10             | Sans séisme     | 2.32                 |
| Sans nappe           | 15                                   | 10                      | 10             | 0.09            | 1.58                 |
| NP au TN             | 15                                   | 10                      | 10             | Sans séisme     | 1.47                 |
| NP au TN             | 15                                   | 10                      | 10             | 0.09            | 1.00                 |
| Nappe à 5m           | 15                                   | 10                      | 10             | 0.09            | 1.49                 |

**Tab.13 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 11°**

Le tableau N°12 présente la pente limite de la stabilité des talus marneux dans le cas de présence de nappe en surface et absence de l'effet sismique où le FS est de l'ordre de 1.47.

Dans le cas le plus défavorable où on est en présence d'une nappe en surface et d'un séisme avec une pente de 11°, le FS est de 1.0. En rabattant la nappe à 5m de profondeur, le FS devient de l'ordre de 1.49.

Dans les autres cas le FS est supérieur à 1.5 ;

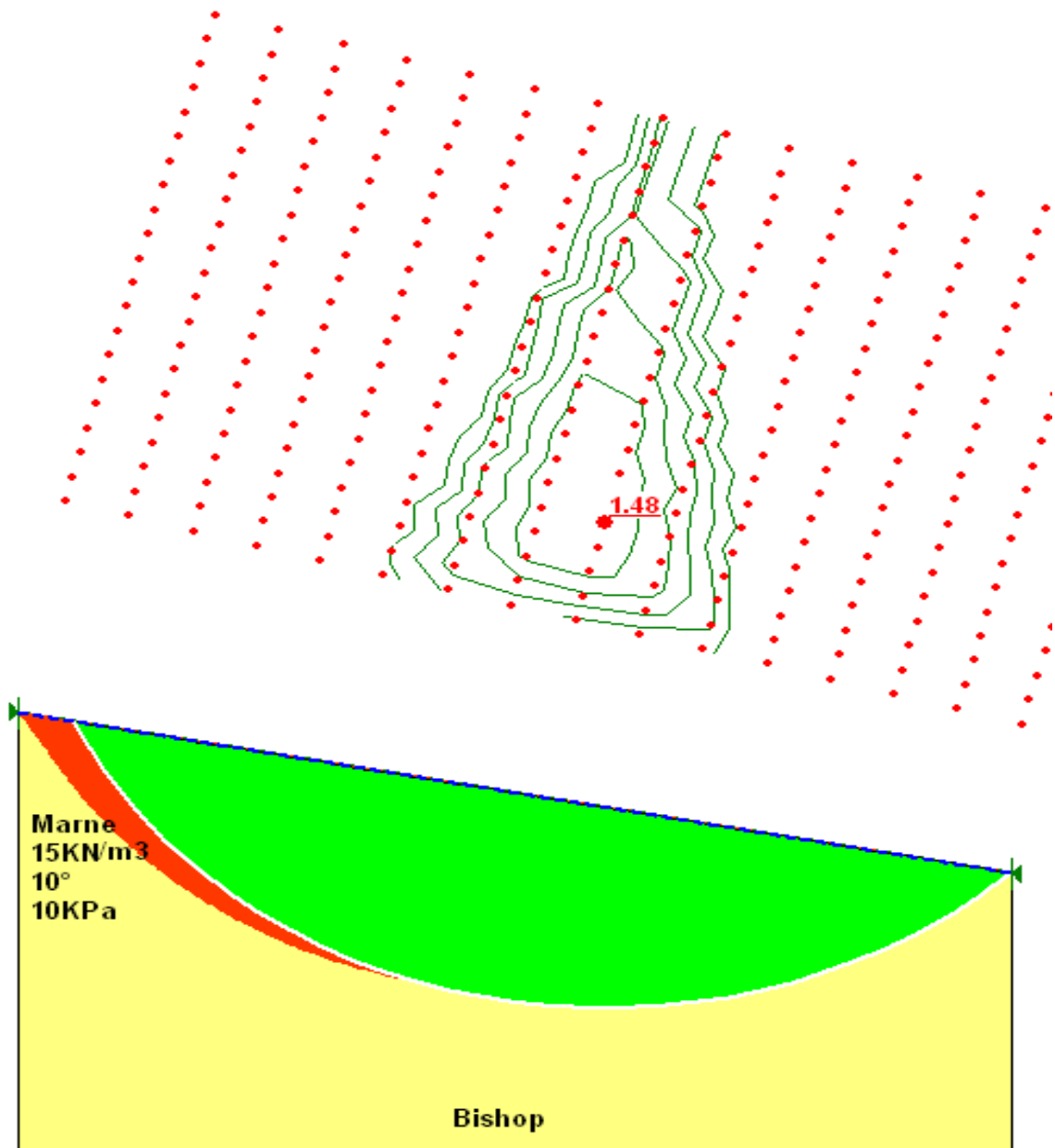


Fig31 : cercle de glissement d'un talus pour  $11^\circ$  de pente

## II.2. Les formations argilo-marneuse

Elles dominent la partie Sud-ouest de la ville de Constantine. Cette formation est affectée par plusieurs glissements de terrain à l'exemple du glissement à la cité Boussouf, la Mosquée....

### 1<sup>er</sup> cas : avec nappe, avec séisme

| Position de la nappe | Poids volumique (Kn/m <sup>3</sup> ) | Angle de frottement (°) | Cohésion (Kpa) | Forces sismique | Facteurs de sécurité |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------------|
| Sans nappe           | 1.6                                  | 7                       | 30             | Sans séisme     | 2.61                 |
| Sans nappe           | 1.6                                  | 7                       | 30             | 0.1             | 1.65                 |
| NP au TN             | 1.6                                  | 7                       | 30             | Sans séisme     | 2.04                 |
| NP au TN             | 1.6                                  | 7                       | 30             | 0.1             | 1.29                 |
| NP a 6m              | 1.6                                  | 7                       | 30             | 0.1             | 1.52                 |

**Tab.14 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 10°**

Dans le cas le plus défavorable où on est en présence d'une nappe en surface et d'un séisme avec une pente de 10°, le FS est de 1.29. Pour assurer la stabilité des talus dans ce cas on fait augmenter le FS par le rabattement de la nappe à 6m de profondeur, le FS devient de l'ordre de 1.52.

Dans les autres cas, la stabilité est assurée car le FS est supérieur à 1.5.

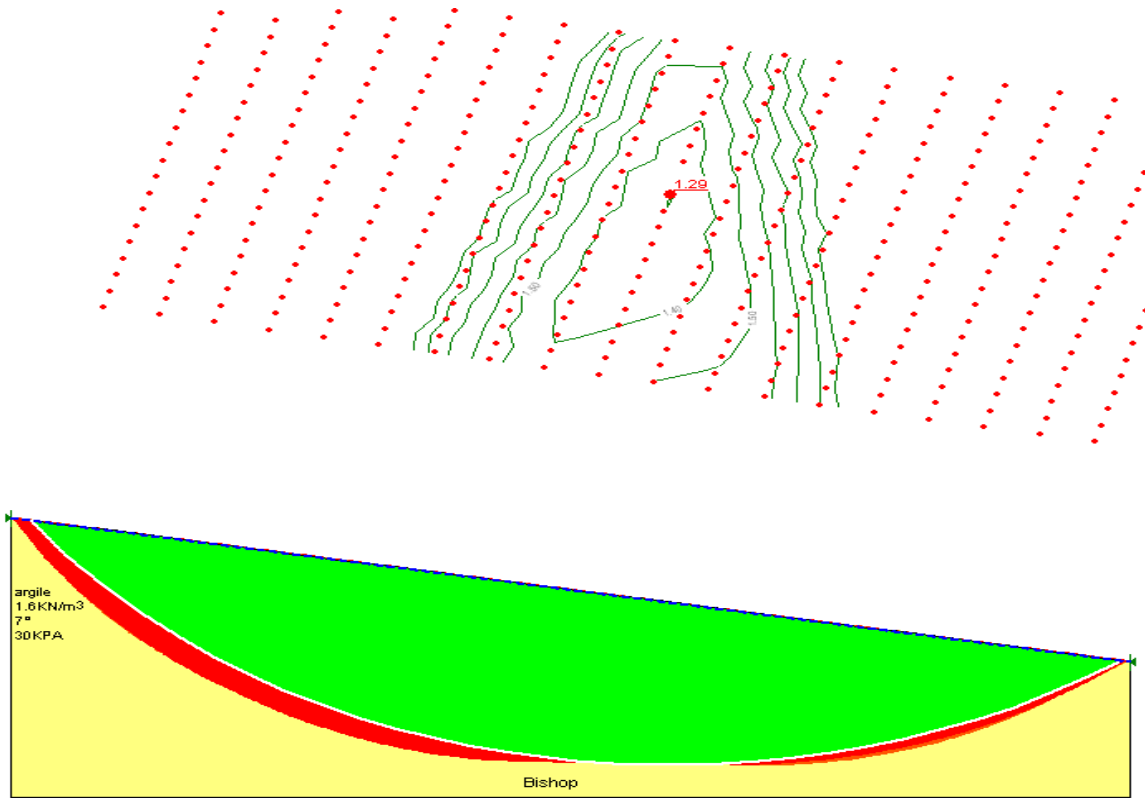


Fig.32 : cercle de glissement d'un talus pour 10° de pente

**2<sup>ème</sup> cas : sans nappe, avec séisme**

| Position de la nappe | Poids volumique (Kn/m <sup>3</sup> ) | Angle de frottement (°) | Cohésion (Kpa) | Forces sismique | Facteurs de sécurité |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------------|
| Sans nappe           | 1.6                                  | 7                       | 30             | Sans séisme     | 1.98                 |
| Sans nappe           | 1.6                                  | 7                       | 30             | 0.1             | 1.45                 |
| NP au TN             | 1.6                                  | 7                       | 30             | Sans séisme     | 1.51                 |
| NP au TN             | 1.6                                  | 7                       | 30             | 0.1             | 1.04                 |

**Tab.15 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 12°**

La pente limite de stabilité pour ce cas est de 12°, avec un FS de 1.45. Deux cas dans cette formation présente un FS inférieur à 1.5 avec une pente de 12° sont ceux où la nappe est en surface avec un séisme et sans nappe avec séisme. Les deux autres cas le FS obtenu est supérieur à 1.5.

Dans le dernier cas, on a essayé d'augmenter le FS par le rabattement de la nappe, mais malgré un rabattement de la nappe au-delà de 10m, on a pas atteint un FS= 1.5 qui assure la stabilité du talus.

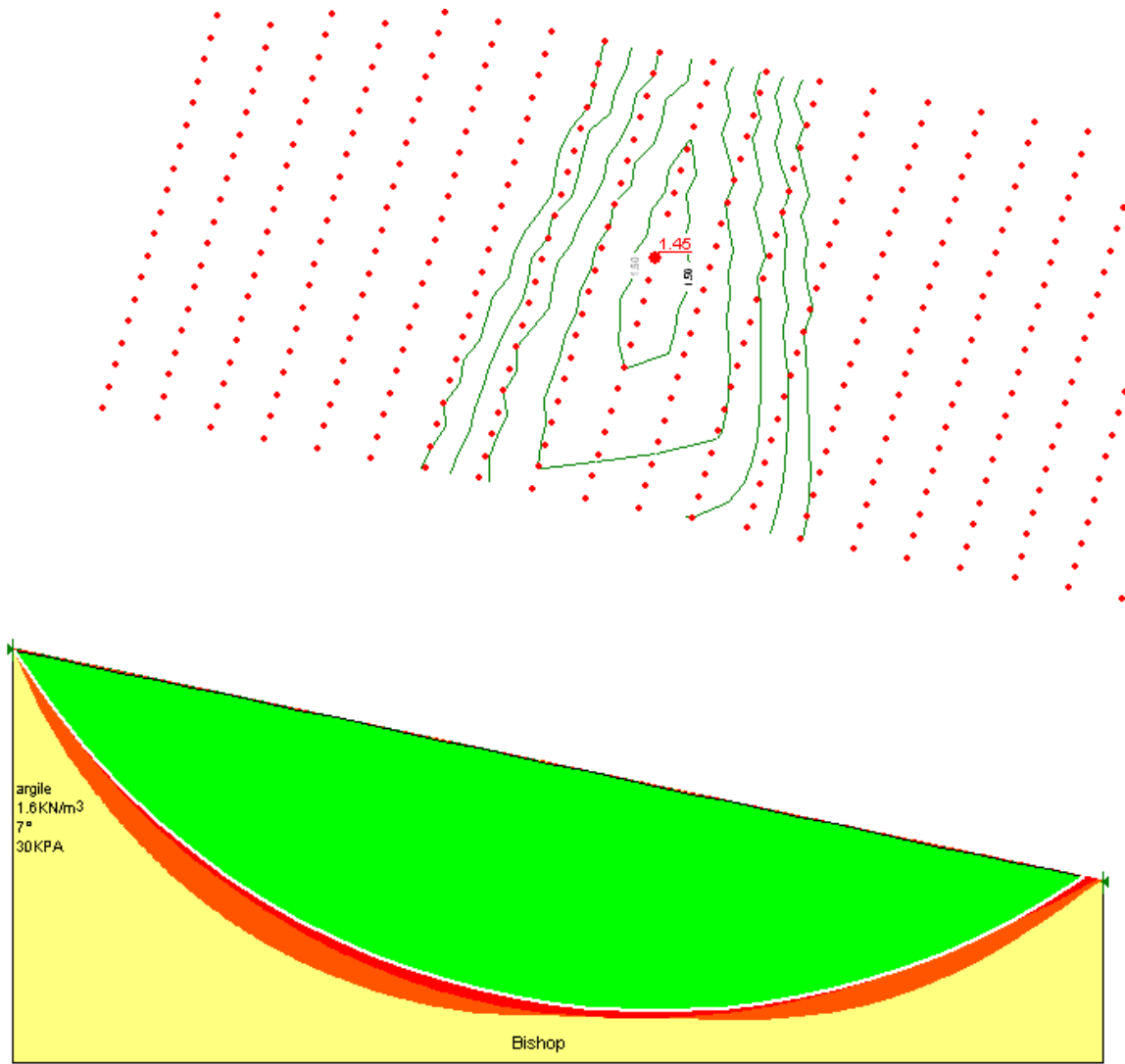


Fig.33 : cercle de glissement d'un talus pour 12° de pente

**3<sup>ème</sup> cas : avec nappe, sans séisme**

| Position de la nappe | Poids volumique (Kn/m <sup>3</sup> ) | Angle de frottement (°) | Cohésion (Kpa) | Forces sismique | Facteurs de sécurité |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------------|
| Sans nappe           | 1.6                                  | 7                       | 30             | Sans séisme     | 1.85                 |
| Sans nappe           | 1.6                                  | 7                       | 30             | 0.1             | 1.31                 |
| NP au TN             | 1.6                                  | 7                       | 30             | Sans séisme     | 1.4                  |
| NP à -2m             | 1.6                                  | 7                       | 30             | Sans séisme     | 1.49                 |
| NP au TN             | 1.6                                  | 7                       | 30             | 0.1             | 0.99                 |
| NP à -10             | 1.6                                  | 7                       | 30             | 0.1             | 1.25                 |

**Tab.16 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 14°**

Lorsque les facteurs extérieurs (nappe, séisme) sont absents, le FS est supérieur à 1.5 et inférieur à cette valeur dans les autres conditions. On obtient ces résultats quand la pente est de 14°.

Dans le 3<sup>ème</sup> cas il suffit de rabattre la nappe de 2m pour assurer la stabilité du talus et dans le dernier cas, on fait rabattre la nappe jusqu'à 10m mais le FS reste inférieur à 1.5.

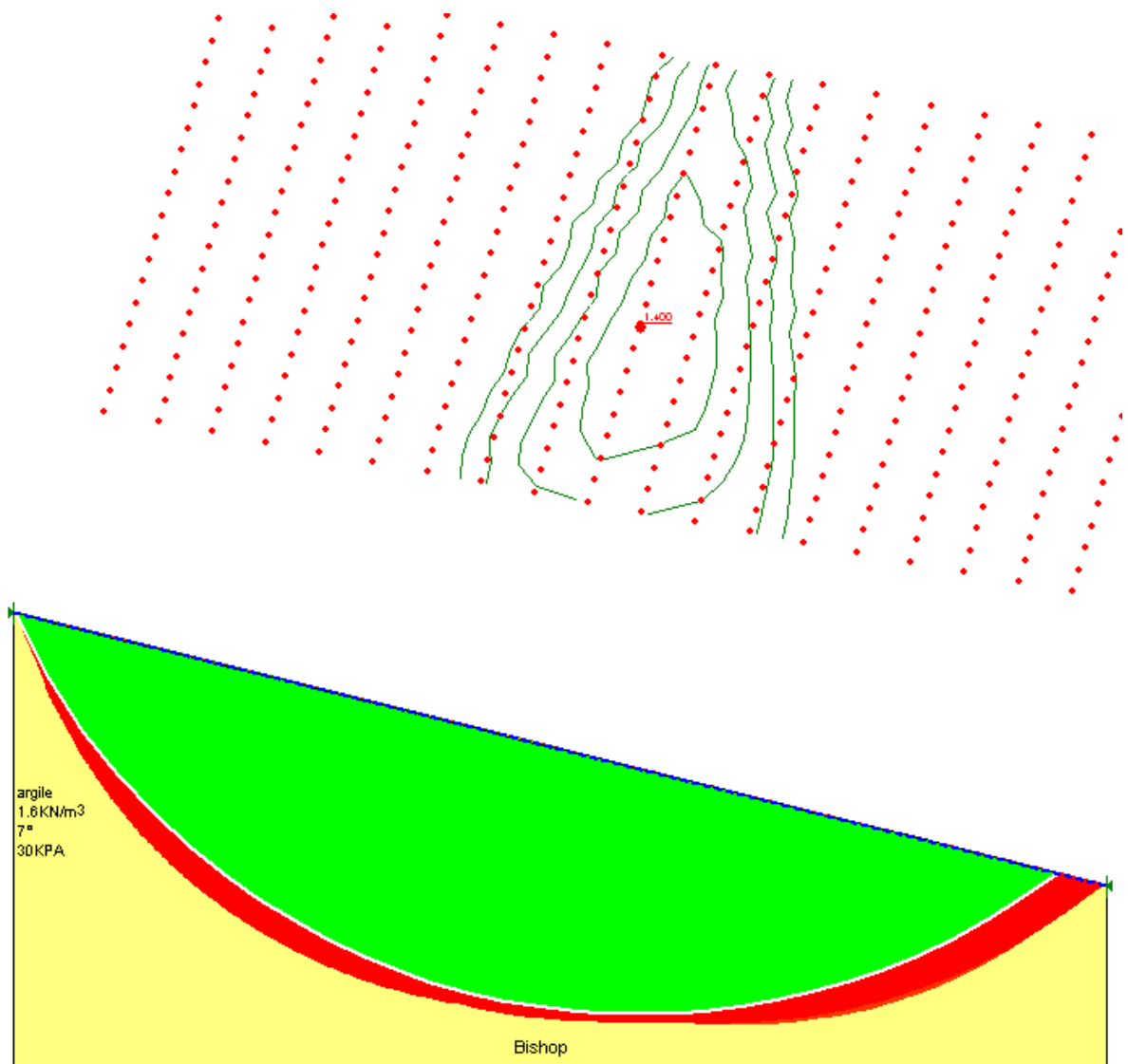


Fig.34 : cercle de glissement d'un talus pour 14° de pente



**4<sup>ème</sup> cas : sans nappe, sans séisme**

| Position de la nappe | Poids volumique (Kn/m <sup>3</sup> ) | Angle de frottement (°) | Cohésion (Kpa) | Forces sismique | Facteurs de sécurité |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------------|
| Sans nappe           | 1.6                                  | 7                       | 30             | Sans séisme     | 1.49                 |
| Sans nappe           | 1.6                                  | 7                       | 30             | 0.1             | 1.11                 |
| NP au TN             | 1.6                                  | 7                       | 30             | Sans séisme     | 1.11                 |
| NP au TN             | 1.6                                  | 7                       | 30             | 0.1             | 0.83                 |

**Tab.17 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 17°**

En absence de nappe phréatique et de séisme, tout talus de 17° de pente ou plus, présente un risque de glissement de terrain. Les autres cas présentent pratiquement le même risque.

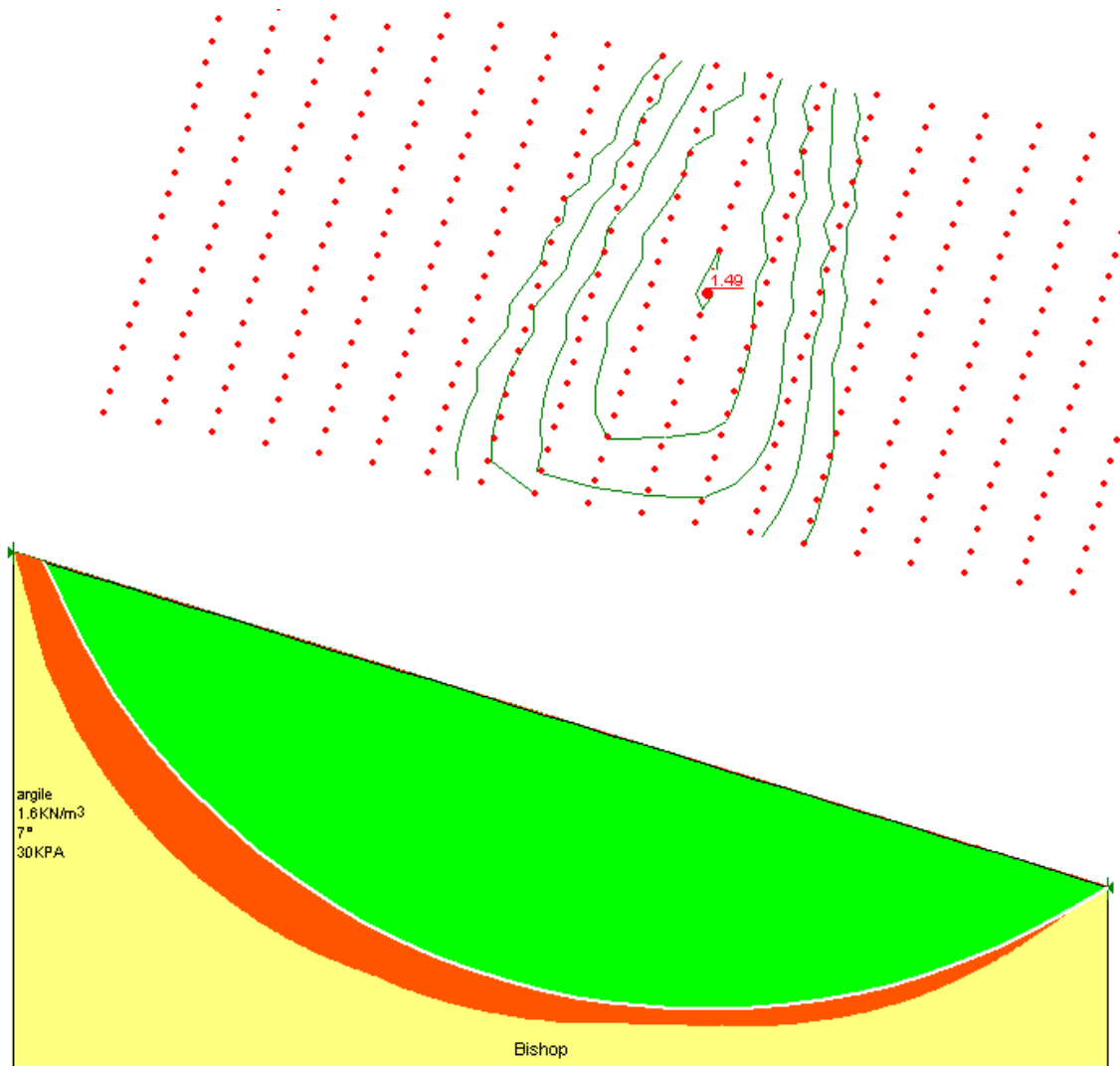


Fig.35 : cercle de glissement d'un talus pour 17° de pente

### II.3. Les argiles rouges de conglomérats :

Elles occupent la partie centrale et Ouest de la région d'étude. Des grandes glissements ont affecté cette formation comme celui de BELOUAZDA, BARDO, BEN CHERGUI.

#### 1<sup>er</sup> cas : avec nappe, avec séisme

| Position de la nappe | Poids volumique (Kn/m <sup>3</sup> ) | Angle de frottement (°) | Cohésion (Kpa) | Forces sismique | Facteurs de sécurité |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------------|
| Sans nappe           | 17                                   | 18                      | 40             | Sans séisme     | 2.82                 |
| Sans nappe           | 17                                   | 18                      | 40             | 0.09            | 2.13                 |
| NP au TN             | 17                                   | 18                      | 40             | Sans séisme     | 1.89                 |
| NP au TN             | 17                                   | 18                      | 40             | 0.09            | 1.39                 |
| NP a -2m             | 17                                   | 18                      | 40             | 0.09            | 1.53                 |

**Tab.18 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 16°**

Dans les formations argileuses ayant 16° de pente ou plus, un glissement de terrain peut les affecter lors d'un séisme et en présence d'une nappe phréatique en surface (FS=1.39). Avec un rabattement de 2m, on a pu augmenter le FS à 1.53.

Dans les autres cas, le risque est absolument nul.

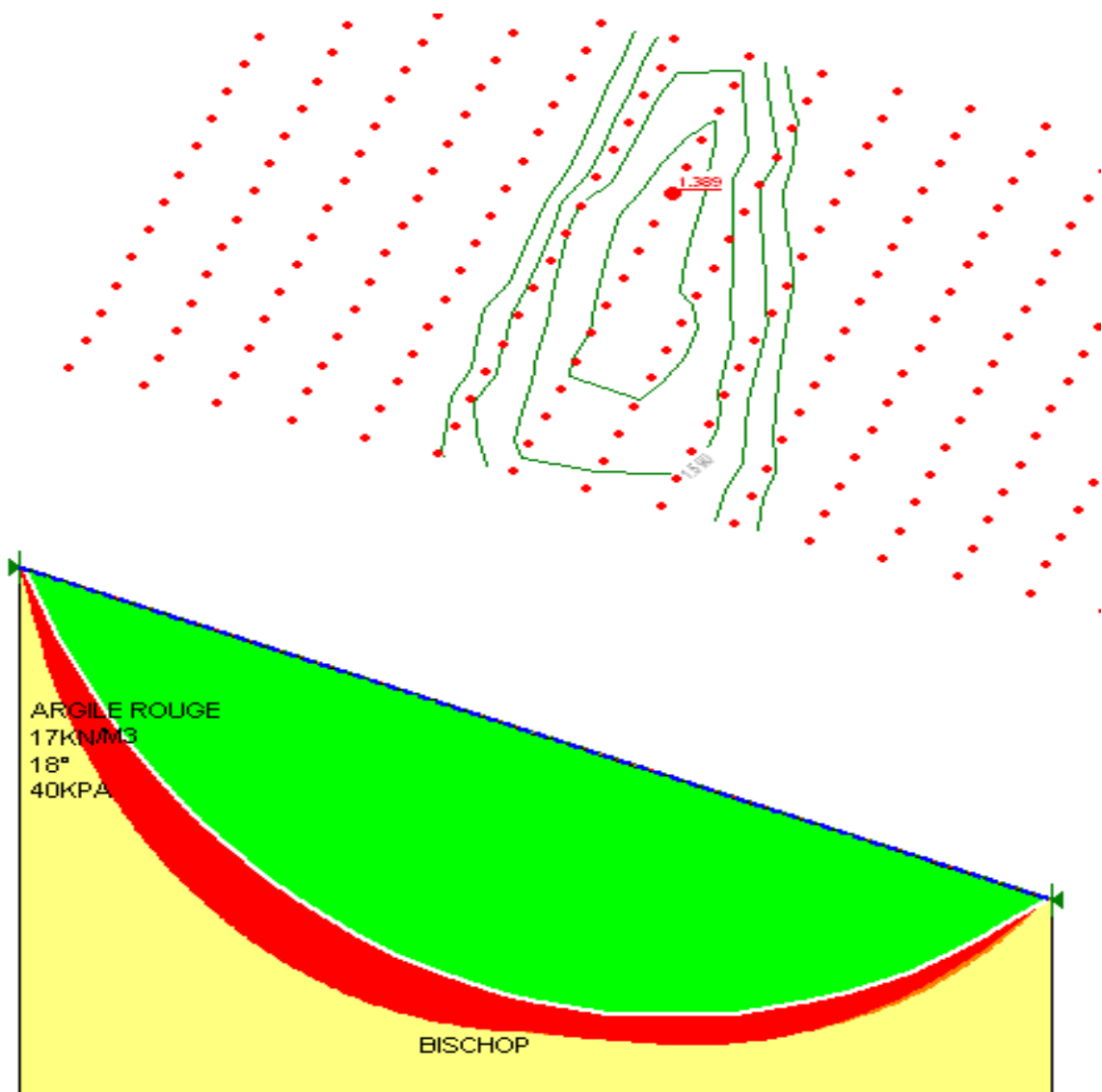


Fig.36: cercle de glissement d'un talus pour 16° de pente

**2<sup>ème</sup> cas : avec nappe, sans séisme**

| Position de la nappe | Poids volumique (Kn/m <sup>3</sup> ) | Angle de frottement (°) | Cohésion (Kpa) | Forces sismique | Facteurs de sécurité |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------------|
| Sans nappe           | 17                                   | 18                      | 40             | Sans séisme     | 2.2                  |
| Sans nappe           | 17                                   | 18                      | 40             | 0.09            | 1.75                 |
| NP au TN             | 17                                   | 18                      | 40             | Sans séisme     | 1.43                 |
| NP à -1m             | 17                                   | 18                      | 40             | Sans séisme     | 1.5                  |
| NP au TN             | 17                                   | 18                      | 40             | 0.09            | 1.13                 |
| NP à -7m             | 17                                   | 18                      | 40             | 0.09            | 1.5                  |

**Tab.19 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 20°**

A 20° de pente ou plus, ces formations argileuses peuvent présenter un risque de glissement de terrain si la nappe est en surface avec ou sans séisme.

Dans les deux autres cas, la stabilité est assurée avec un FS supérieur à 1.5.

Dans le 3<sup>ème</sup> cas, il suffi de rabattre la nappe phréatique de 1 m pour avoir un FS de l'ordre de 1.5. On obtient la même valeur de facteur de sécurité (1.5) si on rabatte la nappe de 7 m.

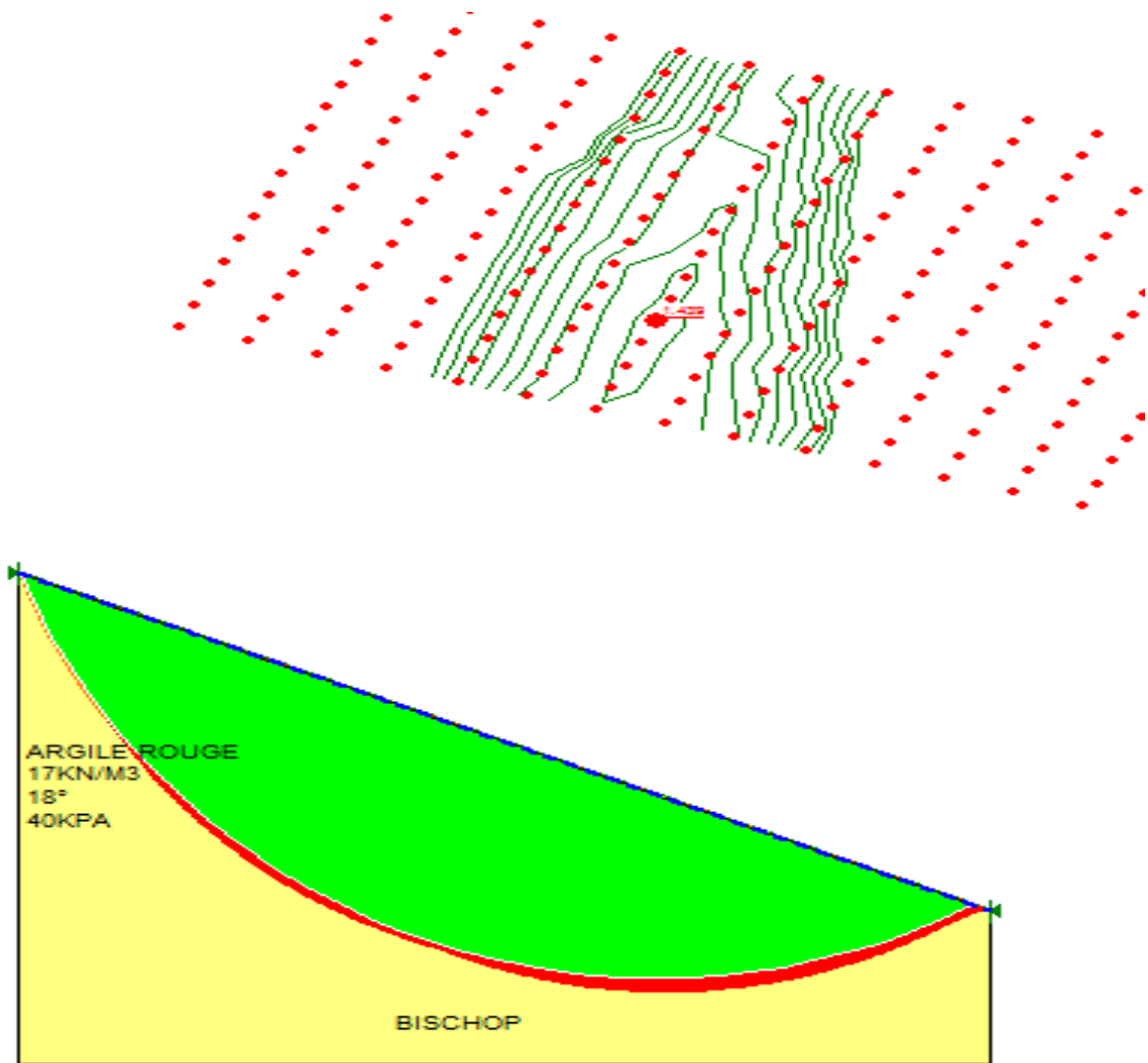


Fig.37 : cercle de glissement d'un talus pour 20° de pente

**3<sup>ème</sup> cas : sans nappe, avec séisme**

| Position de la nappe | Poids volumique (Kn/m <sup>3</sup> ) | Angle de frottement (°) | Cohésion (Kpa) | Forces sismique | Facteurs de sécurité |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------------|
| Sans nappe           | 17                                   | 18                      | 40             | Sans séisme     | 1.8                  |
| Sans nappe           | 17                                   | 18                      | 40             | 0.09            | 1.47                 |
| NP au TN             | 17                                   | 18                      | 40             | Sans séisme     | 1.17                 |
| NP à -7m             | 17                                   | 18                      | 40             | Sans séisme     | 1.51                 |
| NP au TN             | 17                                   | 18                      | 40             | 0.09            | 0.95                 |

**Tab.20 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 24°**

Dans le cas où les facteurs extérieurs (nappe, séisme) sont absent, le FS est supérieur à 1.5 et inférieur à cette dernière dans les autres cas. On obtient ces résultats lorsque la pente est de l'ordre de 24°.

Dans les deux dernier cas où on est en présence de nappe phréatique en surface, le FS est de l'ordre de 1.17 et 0.95 respectivement. Pour le premier, si on rabatte le niveau piézométrique à 7m, le FS devient 1.51 et le rabattement dépasse les 10 m dans le deuxième cas.

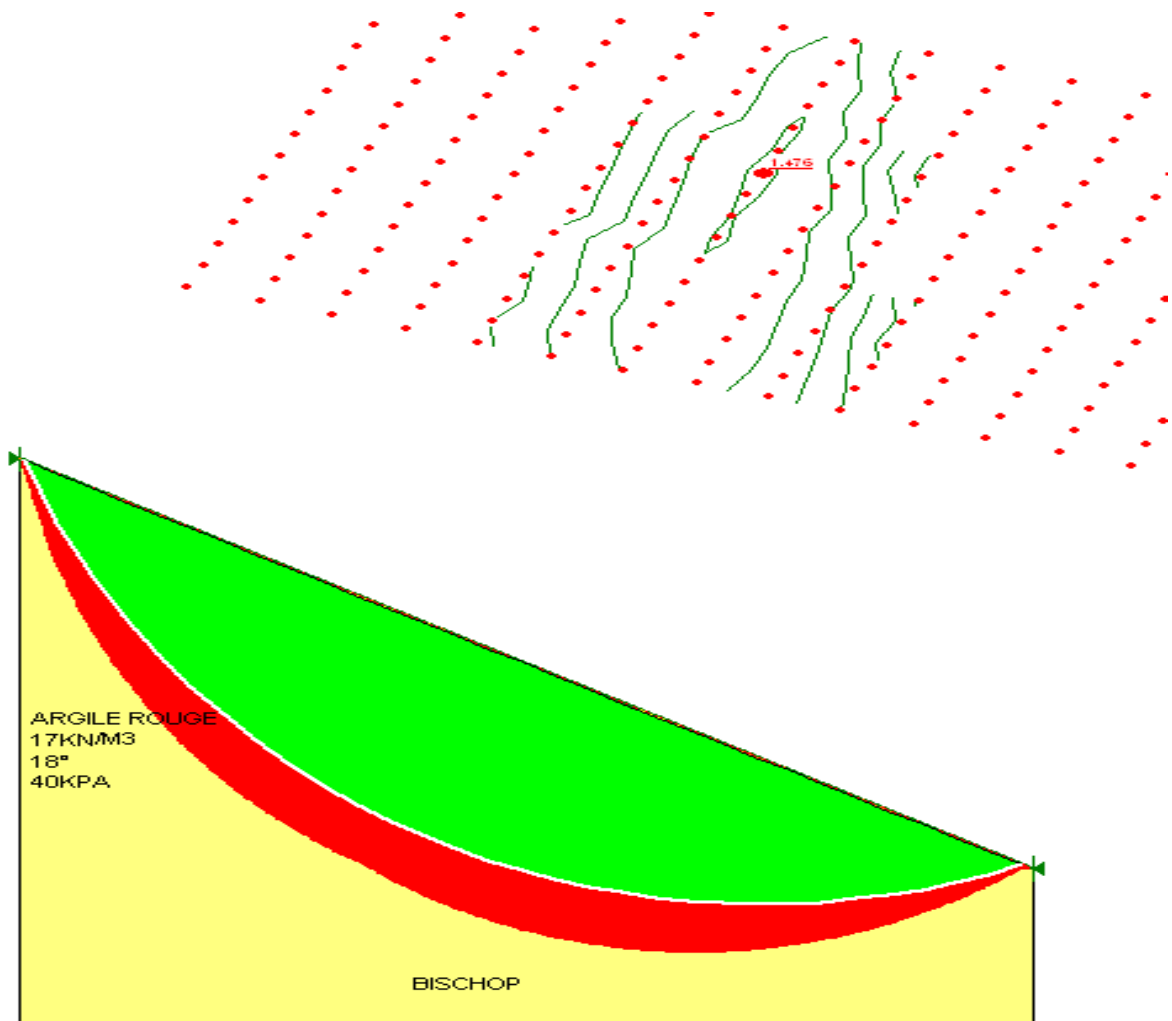


Fig.38 : cercle de glissement d'un talus pour 24° de pente



**4<sup>ème</sup> cas : sans nappe, sans séisme**

| Position de la nappe | Poids volumique (Kn/m <sup>3</sup> ) | Angle de frottement (°) | Cohésion (Kpa) | Forces sismique | Facteurs de sécurité |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------------|
| Sans nappe           | 17                                   | 18                      | 40             | Sans séisme     | 1.45                 |
| Sans nappe           | 17                                   | 18                      | 40             | 0.09            | 1.22                 |
| NP au TN             | 17                                   | 18                      | 40             | Sans séisme     | 0.88                 |
| NP au TN             | 17                                   | 18                      | 40             | 0.09            | 0.74                 |

**Tab.21 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 29°**

En absence de la nappe phréatique ainsi que le séisme, les talus concernés par le risque de glissement de terrain sont ceux qui ont une pente de 29° ou plus. A cette pente, les talus étudiés dans les trois autres cas sont instables.

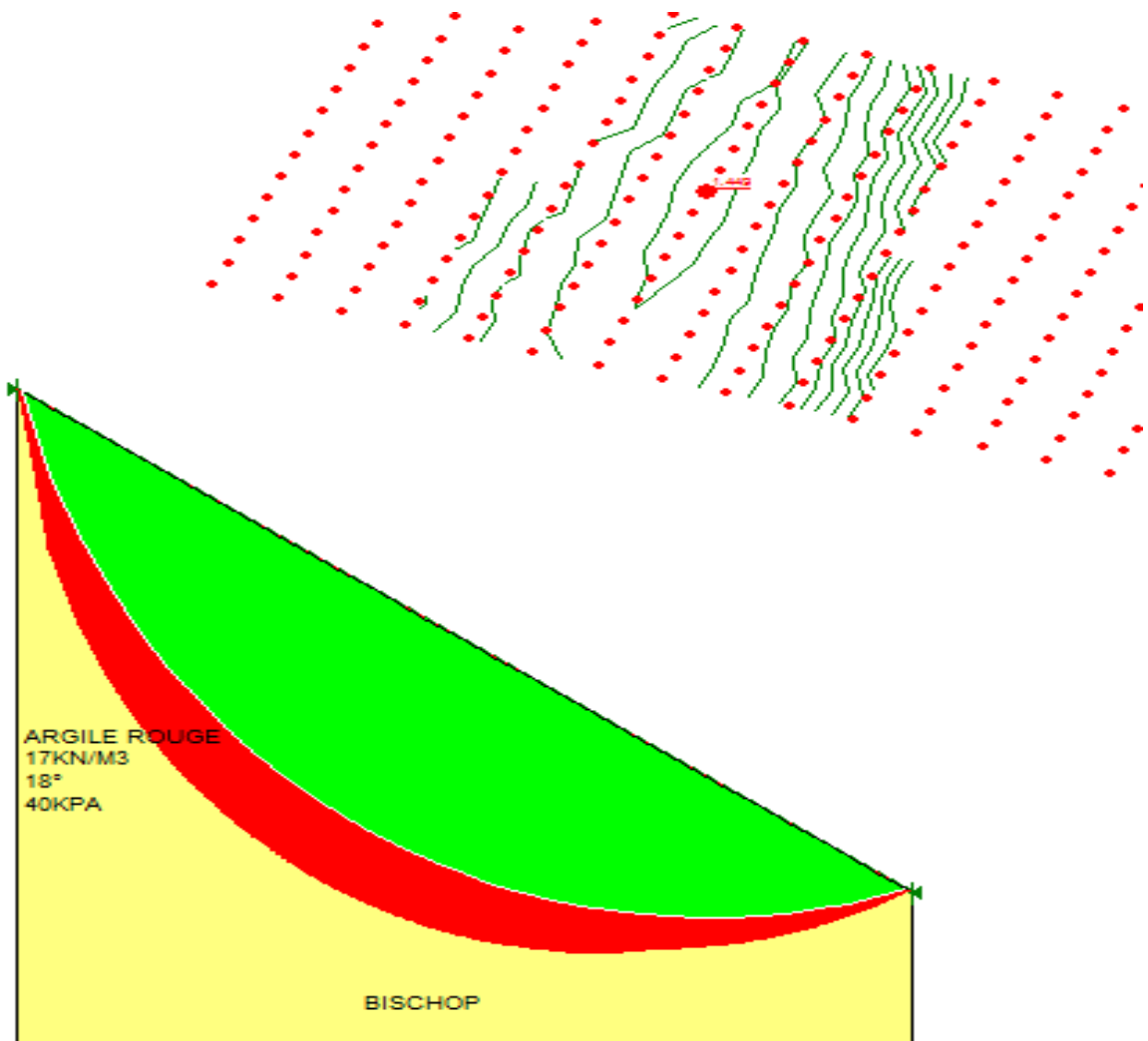


Fig.39 : cercle de glissement d'un talus pour 29° de pente

### **III. Conclusion :**

Dans ce chapitre on a effectué plusieurs calculs pour arriver à vérifier la stabilité des talus dans chaque des formations qui constituent la ville de Constantine, pour cela plusieurs cas ont été étudiés afin de ressortir les paramètres influençons sur la stabilité des pentes.

Les résultats obtenus nous ont permis de connaître :

- les valeurs limites des pentes pour assurer la stabilité des talus dans chaque formation.
- l'influence de la nappe hors séisme dans chaque cas étudié.
- La position du cercle de glissement pour chaque cas avec la répartition des facteurs de sécurité inférieurs à 1.5 (voir figures si-dessus).

Conclusion  
&  
Recommendations

## **CONCLUSION :**

L'objet fondamental du présent travail est de déterminer l'aléa sismique dans la ville de Constantine. Pour cela, un enchainement d'étapes a été réalisé :

- Une étude géologique de la ville de Constantine a montré que la région appartient au domaine néritique dont les formations sont essentiellement des calcaires (le rocher de Constantine), des marnes, des argiles et des conglomérats.
- Une phase de récolte des données géotechnique a permis d'identifier les caractéristiques géotechniques de chacune des formations précédentes et à la base de ces données, une carte géotechnique de la région d'étude a été établie.
- Une étude de sismicité historique de la ville de Constantine a montré que la région a été affectée par plusieurs séismes de diverse intensité (faible, moyenne et forte intensité) causés par des failles actives à l'exemple de la faille de Ain Asmara, la faille de Sigus, la faille de Tamlouka,ect.

A la lumière des données extraites des étapes sus-citées, le problème majeur qui apparait dans la région de Constantine lors d'un séisme, c'est bien le risque de glissement de terrains.

Pour analyser ce phénomène naturel, une combinaison de plusieurs facteurs intervient dans la stabilité des talus tels que :

- la nature lithologique des formations.
- les caractéristiques géotechniques des formations.
- La topographie de surface.
- L'hydrogéologie.
- L'activité sismique.

On a pu déterminer les états limites de la stabilité des talus des différentes formations aussi que des cas intermédiaires. Le tableau récapitulatif ci-dessous résume les résultats obtenus durant cette phase :

| FORMATIONS                    | MARNE |      |      |      | ARGILE MARNEUSE |      |      |      | ARGILE ROUGE |      |      |      |
|-------------------------------|-------|------|------|------|-----------------|------|------|------|--------------|------|------|------|
|                               | 6°    | 11°  | 15°  | 17°  | 10°             | 12°  | 14°  | 17°  | 16°          | 20°  | 24°  | 29°  |
| Pentes<br>Facteurs extérieurs |       |      |      |      |                 |      |      |      |              |      |      |      |
| Sans nappe / sans séisme      | 4.24  | 2.32 | 1.66 | 1.44 | 2.61            | 1.98 | 1.85 | 1.49 | 2.82         | 2.2  | 1.8  | 1.45 |
| Sans nappe / avec séisme      | 2.27  | 1.67 | 1.23 | 1.09 | 1.65            | 1.45 | 1.31 | 1.11 | 2.13         | 1.75 | 1.47 | 1.22 |
| Avec nappe / sans séisme      | 2.78  | 1.47 | 1.05 | 0.9  | 2.04            | 1.51 | 1.4  | 1.11 | 1.89         | 1.44 | 1.17 | 0.88 |
| Avec nappe / avec séisme      | 1.49  | 1.00 | 0.78 | 0.68 | 1.29            | 1.04 | 0.99 | 0.83 | 1.4          | 1.12 | 0.95 | 0.74 |

Tab.21 : Tableau récapitulatif des valeurs de FS en fonction de pentes et facteurs extérieurs pour différentes formations.

## RECOMMANDATIONS :

L'étude a montrée que le risque de glissement de terrain peut être provoqué essentiellement par la présence de trois facteurs qui sont :

- l'accélération horizontale maximale,
- la pente
- la variation du niveau piézométrique.

Parmi ces facteurs, l'accélération horizontale maximale de chaque sol est constante, il nous reste donc que la pente et le niveau piézométrique.

Au terme de cette étude, les principales recommandations à faire seraient :

- La réalisation des tranchées drainantes pour rabattre la nappe d'eau d'une profondeur qui assure la stabilité des talus comme on a démontré dans le chapitre précédent ;
- Réduire la pente des talus par un terrassement (talutage) en respectant les valeurs des pentes correspondant à chacun des cas et à chaque formation qui a été présenté dans le chapitre précédent ;
- Une très bonne étude de sols, prenant en compte l'effet sismique.
- Le présent mémoire n'est qu'une démarche de recherche tendant à une meilleure compréhension de l'effet sismique sur le comportement des sols.

Devant l'importance de nombre des données relative à la géotechnique et aux données ceux qui ancienne et actuel, nous recommandons une nouvelle approche par «Modélisation» pour anticiper sur le comportement des terrains susceptible d'extension urbaine et pas suffisante explorée.

## Bibliographie

**Anderson et Jackson; 1988:** Active tectonics of the Adriatic region. Geophysical journal of the royal astronomical society.

**Benabbes.C ; 2006 :** Évolution Mio-Plio-Quaternaire Des Bassins Continentaux De L'Algérie Nord Orientale : Apport de la photogéologie et analyse morphostructurale. Thèse Doctorat, Univ. Mentouri Constantine.

**Benaissa.A; 1989 :** Contribution à l'étude des mouvements de terrain de la région de Constantine. Thèse Doctorat, UJF. Grenoble.

**Benazzouz M-T ; 1991:** L'évaluation de l'aléa géomorphologique et des coûts des risques à Constantine. Z-Geomorph NF supp Bd83-63-70 Berlin Stuttgart August 1991.

**Benazzouz M-T et al ; 2003:** Étude de glissement de terrain et évaluation de leur impact dans la ville de Constantine. Revue du Laboratoire d'Aménagement du territoire n°1(2003), Université Mentouri Constantine

**Bougdal.R; 2007:** Urbanisation et mouvements de versants dans le contexte géologique et géotechnique des bassins néogènes d'Algérie du Nord. Thèse Doctorat. USTHB

**Bouhadad.Y ; 2001:** The Murdjadjo, Westren Algeria, fault related fold : Implication for seismic hazard. Journal of Seismology.

**Bouhadad.Y ; 2003:** The Beni-Ouartilane –Tachaouaft fault : Seismotectonic of the Babors region. Journal of Seismology.

**Bounif. M.A, 1990:** Études sismotectonique en Algérie du Nord. Contribution à l'étude d'un tronçon de la chaîne tellienne à partir des répliques du séisme de Constantine du 27 Octobre 1985. Thèse Magistère. USTHB



**Bounif et al ; 1987:** The Constantine earthquake of October 27, 1985. Surface ruptures and aftershock study. Earth and Planetary Science letters.

**Coiffait. P.E ; 1992 :** « Un bassin post-nappes dans son cadre structural : l'exemple du bassin de Constantine (Algérie Nord-Orientale) » thèse es-Sciences. Paris

**CRAAG ; 1994 :** Les séismes en Algérie de 1365 à 1992. Publication du CRAAG, Département étude et surveillances sismique.

**Harbi.A ; 2001 :** Analyse de la sismicité et mise en évidence d'actifs dans le Nord-est Algérien. Thèse Magistère. USTHB

**Machane.j ; 2002 :** Analyse et gestion du risque de glissement de terrain dans la ville de Constantine (Algérie). Diplôme post-grade, Centre d'Étude des Risques Géologiques, Genève.

**Mackenzie.D; 1972:** Active tectonics of the Mediterranean region. Geophysical journal of the royal astronomical society.

**Rothé, J.P ; 1950 :** Les séismes de Kerrata et la sismicité de l'Algérie. Bull. Ser. De la carte géologique de l'Algérie

**Vila, J.M ; 1980 :** La chaîne alpine d'Algérie oriental et des confins Algéro-tunisienne. Thèse Doctorat. Uni Paris VI.

### **Documents inédits :**

**Centre de génie parasismique (CGS) ; 1999 :** Évaluation de l'aléa sismique de la région de Mascara. Rapport technique.

**Centre de génie parasismique (CGS) ; 2003 :** Étude de l'aléa sismique de la région de Constantine. Rapport final du 20/11/2003.

**Contrôle technique de la construction (CTCest) ; 1995 :** Rapport d'expertise préliminaire sur l'état des lieux et glissements de terrain de la Zhun de Boussouf. Constantine.

**EEG SIMECSOL ; 2002 :** Étude des glissements de terrain de la ville de Constantine, géologie de la ville de Constantine.

**EEG SIMECSOL ; 2003 :** Étude des glissements de terrain de la ville de Constantine, étude de confortement – site Ciloc ; site Boussouf ; site pont Sidi Rached ; site Mosqué Emir Abdelkader

**Evans ; 1998 :** les glissements de terrain dans la ville de Constantine, Algérie. Géologie, géotechnique et travaux de correction potentielle. Septembre 1998. Direction de l'urbanisme et de la Construction. Wilaya de Constantine

**Laboratoire des travaux publics de l'est (LTPE) :** Archives d'études de sols de la ville de Constantine (période : 1990-2010)

**Laboratoire national de l'habitat et de la construction (LNHC):** Archives d'études de sols dans la ville de Constantine (période : 2000 - 2010).

**Montjoie ; 1987 :** Compte rendu des missions à Constantine 3-7/11/1987. Direction de l'urbanisme et de la Construction. Wilaya de Constantine.

**Paulsen ; 1999 :** Glissement de terrain dans la ville de Constantine. Rapport de missions de Décembre 1999. Direction de l'urbanisme et de la Construction. Wilaya de Constantine

**SAETI ; 1989 :** Glissement de terrain-Immeuble CILOC Constantine. Solutions de confortement. Rapport préliminaire Décembre 1989. Direction de l'urbanisme et de la Construction. Wilaya de Constantine

**Woodward Clyde Consultants (WCC); 1984 :** Microzonage sismique de la région d'Ech Chélif ;

## Listes des figures

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Fig.1 : Situation de la région d'étude.....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>Fig.2 : Coupes géologiques de différents directions de la ville de Constantine.....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>Fig.3 : Esquisse géologique de la ville de Constantine.....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>Fig.4 : Graphe Ombrométrique (1990-2012) .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>Fig.5 : la limite des plaques africaine et eurasienne entre les Açores et la Sicile (Anderson &amp; Jackson, 1987) .....</b>  | <b>17</b> |
| <b>Fig.6 : Convergence entre les plaques africaine et eurasienne (Mackenzie, 1972) .....</b>   | <b>17</b> |
| <b>Fig.7 : Carte des isoséistes du séisme du 04 Août 1908 (redessinée à partir de Benouar, 1994) .....</b>   | <b>22</b> |
| <b>Fig.8 : Carte des Isoséistes du séisme du 06 Août 1947 (redessinée à partir de BenhaJou, 1985).....</b>   | <b>24</b> |
| <b>Fig.9 : Carte des isoséistes du séisme du 27 Octobre 1985 (redessinée à partir de Benhallou, 1985).....</b>   | <b>25</b> |
| <b>Fig.10 : Carte linéaire de la région de Constantine à l'échelle 1/300 000 (Machane 2002).....</b>   | <b>26</b> |
| <b>Fig.11: Diagramme de fréquence des directions et des longueurs dans l'anté - Néogène.....</b>   | <b>28</b> |
| <b>Fig.12 : Diagramme de fréquence des directions et des longueurs dans le Néogène .....</b>   | <b>28</b> |
| <b>Figure 13 : Diagramme de fréquence des directions et des longueurs dans le Quaternaire.....</b>   | <b>28</b> |
| <b>Fig.14 : Glissement de Belouizdad-Koudia-Kitouni (ex-Saint Jean) .....</b>  | <b>34</b> |
| <b>Fig.15 : Glissement du Ciloc affectant le bâtiment B qui se fait de l'Est vers l'Ouest en direction de la route nationale .....</b>   | <b>37</b> |
| <b>Fig.16: Glissement du Chemin Forestier et du pont de Sidi Rached affectant les formations telliennes qui se fait d'Est en Ouest dans la direction de l'oued Rhumel.....</b> | <b>41</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Fig.17 : Périmètre du glissement de Belle Vue.....</b>                          | <b>43</b> |
| <b>Fig.18 : Glissement Belle Vue .....</b>   | <b>44</b> |
| <b>Fig.19 : Glissement Mosqué Amir Abd Elkader .....</b>                           | <b>46</b> |
| <b>Fig.20 : Carte des phénomènes de glissement de terrain de Constantine .....</b> | <b>48</b> |
| <b>Fig.21 : Diagramme de plasticité de la formation marneuse .....</b>             | <b>52</b> |
| <b>Fig.22 : Fuseau granulométrique des marnes .....</b>                            | <b>52</b> |
| <b>Fig.23 : Diagramme de plasticité des argiles marneuse .....</b>                 | <b>55</b> |
| <b>Fig.24 : Fuseau granulométrique des argiles marneuses .....</b>                 | <b>55</b> |
| <b>Fig.25 : Fuseau granulométrique des Conglomérats .....</b>                      | <b>57</b> |
| <b>Fig.26 : Diagramme de plasticité des terrasses récent à actuel .....</b>        | <b>59</b> |
| <b>Fig.27 : Fuseau granulométrique des terrasses récent à actuel .....</b>         | <b>59</b> |
| <b>Fig.28 : cercle de glissement d'un talus pour 6° de pente .....</b>             | <b>62</b> |
| <b>Fig.29 : cercle de glissement d'un talus pour 17° de pente .....</b>            | <b>64</b> |
| <b>Fig.30 : cercle de glissement d'un talus pour 15° de pente .....</b>            | <b>66</b> |
| <b>Fig.31 : cercle de glissement d'un talus pour 11° de pente .....</b>            | <b>68</b> |
| <b>Fig.32 : cercle de glissement d'un talus pour 10° de pente .....</b>            | <b>70</b> |
| <b>Fig.33 : cercle de glissement d'un talus pour 12° de pente .....</b>            | <b>72</b> |
| <b>Fig.34 : cercle de glissement d'un talus pour 14° de pente .....</b>            | <b>74</b> |
| <b>Fig.35 : cercle de glissement d'un talus pour 17° de pente .....</b>            | <b>76</b> |
| <b>Fig.36: cercle de glissement d'un talus pour 16° de pente .....</b>             | <b>78</b> |
| <b>Fig.37 : cercle de glissement d'un talus pour 20° de pente .....</b>            | <b>80</b> |
| <b>Fig.38 : cercle de glissement d'un talus pour 24° de pente .....</b>            | <b>82</b> |
| <b>Fig.39 : cercle de glissement d'un talus pour 29° de pente .....</b>            | <b>84</b> |

## **Liste des photos**

- photo.1 : Vue d'ensemble du site de Boussouf - talweg Ouest. La structure moutonnée des versants à gauche de la photo et derrière les immeubles est un signe clair d'instabilité.....38**
- photo.2 : Vue d'ensemble du site de Boussouf talweg Est (2005). Les bâtiments en construction (B) sont sur un glissement de terrain actif .....38**
- photo.3 : Arbres inclinés montrant le glissement du Chemin Forestier et proche du pont de Sidi Rached .....41**
- photo.4 : Photos de la route fissurée, affaissée et son talus aval instable du Bardo.....47**

## Liste des tableaux

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tab.1 : Données pluviométriques de la station Ain El Bey de Constantine pour période 1995-2012.....</b>                           | <b>10</b> |
| <b>Tab.2 : Données de la température de la station Ain El Bey de Constantine pour la période 1995-2012.....</b>                      | <b>11</b> |
| <b>Tab.3 : La moyenne mensuelle des précipitations et des températures .....</b>   | <b>12</b> |
| <b>Tab.4 : Système de classification des unités de sol .....</b>   | <b>50</b> |
| <b>Tab.5 : paramètres physico-mécaniques de la formation marneuse .....</b>  | <b>51</b> |
| <b>Tab.6 : paramètres physico-mécaniques de la formation argilo-marneuse .....</b>   | <b>54</b> |
| <b>Tab.7 : paramètres physico-mécaniques de la formation conglomératique .....</b>   | <b>56</b> |
| <b>Tab.8 : paramètres physico-mécaniques des terrasses .....</b>   | <b>58</b> |
| <b>Tab 9 : Valeurs de l'accélération horizontale de l'agglomération de Constantine pour une période de retour de 100 ans.....</b>    | <b>60</b> |
| <b>Tab.10 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 6° .....</b>  | <b>61</b> |
| <b>Tab.11 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 17° .....</b>   | <b>63</b> |
| <b>Tab.12 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 15° .....</b>   | <b>65</b> |
| <b>Tab.13 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 11° .....</b>   | <b>67</b> |
| <b>Tab.14 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 10° .....</b>   | <b>69</b> |
| <b>Tab.15 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 12° .....</b>   | <b>71</b> |
| <b>Tab.16 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 14° .....</b>   | <b>73</b> |
| <b>Tab.17 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 17° .....</b>   | <b>75</b> |
| <b>Tab.18 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 16° .....</b>   | <b>77</b> |
| <b>Tab.19 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 20° .....</b>   | <b>79</b> |
| <b>Tab.20 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 24° .....</b>   | <b>81</b> |
| <b>Tab.21 : Valeurs de Facteur de sécurité pour un talus de pente de 29° .....</b>   | <b>83</b> |
| <b>Tab.22: Tableau récapitulatif des valeurs de FS en fonction de pentes et facteurs extérieurs pour différentes formations.....</b> | <b>87</b> |

# Annexe

| TYPE DE PROJET                  | Sondage N° | N°   | Profondeur |      | Nature du sol     | Analyse Granulométrie |           |      | Propriétés physique         |       |        | Limites d'Atterberg |        |      | Cisaillement |                 |
|---------------------------------|------------|------|------------|------|-------------------|-----------------------|-----------|------|-----------------------------|-------|--------|---------------------|--------|------|--------------|-----------------|
|                                 |            |      | de         | à    |                   | < 0.08 mm             | < 0.02 mm | D50  | $\gamma_d$ t/m <sup>3</sup> | W (%) | Sr (%) | Wl (%)              | Wp (%) | Ip   | Ccu (bar)    | $\Phi_{cu}$ (°) |
| polygone 1000 logements S.E.A.U | 24         |      | 7          | 8    | argile            | 99                    | 75        |      | 1.74                        | 18.2  | 89     | 57.5                | 25.8   | 32   |              |                 |
|                                 |            |      | 8          | 8.5  |                   | 90                    | 81        |      | 1.69                        | 21.1  | 95     | 64                  | 29.2   | 35   | 0.6          | 6               |
|                                 |            |      | 9          | 9.5  |                   | 100                   | 83        |      | 1.84                        | 17    | 98.3   | 61                  | 29.1   | 32   | 1.56         | 11              |
|                                 |            |      | 11         | 11.5 |                   | 93                    | 72        |      | 1.9                         | 14.4  | 92.3   | 55                  | 23.5   | 32   |              |                 |
|                                 |            |      | 13         | 13.5 |                   | 99                    | 82        |      | 1.81                        | 17.5  | 96.2   | 60.5                | 29.5   | 31   |              |                 |
|                                 |            |      | 15.5       | 16   |                   | 99                    | 82        |      | 1.79                        | 18    | 95.3   | 58                  | 29     | 29   | 0.6          | 33              |
|                                 |            |      | 17         | 17.5 |                   | 96                    | 75        |      | 1.72                        | 19    | 90     | 61.7                | 30.3   | 31   | 1.12         | 17              |
|                                 |            |      | 19         | 19.5 |                   | 98                    | 71        |      | 1.88                        | 16.8  | 104    | 50.5                | 24     | 27   |              |                 |
|                                 | 25         |      | 4          | 4.5  | argile            | 84                    | 69        |      | 1.63                        | 20.6  | 84.8   | 66.5                | 34.5   | 32   |              |                 |
|                                 |            |      | 6          | 6.5  |                   | 94                    | 72        |      | 1.74                        | 18.3  | 89.3   | 48.5                | 24.8   | 24   | 0.62         | 25.3            |
|                                 |            |      | 7          | 7.5  |                   | 96                    | 78        |      | 1.68                        | 21.2  | 94.2   | 60.8                | 29.7   | 31   | 0.24         | 22              |
|                                 |            |      | 10         | 10.5 | Marne             | 90                    | 63        |      | 1.67                        | 20.2  | 84.2   | 64.5                | 31.9   | 33   | 0.44         | 11              |
|                                 |            |      | 14         | 14.5 | 95                | 67                    |           | 1.78 | 16.6                        | 86.5  | 69.2   | 38.1                | 31     | 0.72 | 27           |                 |
|                                 |            |      | 15.5       | 16   | Argile            | 93                    | 77        |      | 1.7                         | 20    | 91.7   | 64.5                | 29.4   | 35   |              |                 |
|                                 | 26         |      | 18         | 18.5 | Argile sableuse   | 95                    | 75        |      | 1.71                        | 18    | 83.7   | 74                  | 41.7   | 32   | 1.2          | 23              |
|                                 |            |      | 2          | 2.5  | Argile gypseuse   | 90                    | 65        |      | 1.55                        | 26.3  | 95.6   | 59                  | 28.2   | 31   |              |                 |
|                                 |            |      | 5.5        | 6    | Marne argileuse   | 91                    | 57        |      | 1.65                        | 22.4  | 94.9   | 57.9                | 27.6   | 30   | 0.48         | 1               |
|                                 |            |      | 7.5        | 8    |                   | 98                    | 81        |      | 1.49                        | 30.4  | 100    | 70                  | 30.3   | 40   |              |                 |
|                                 |            |      | 9          | 9.5  |                   | 93                    | 63        |      | 1.59                        | 24.3  | 93.8   | 64                  | 33.3   | 31   | 0.2          | 20              |
|                                 |            |      | 12.5       | 13   | Marne limoneuse   | 89                    | 62        |      | 1.72                        | 20.5  | 97.2   | 53.5                | 29.3   | 24   | 0.88         | 25              |
|                                 |            |      | 14         | 14.5 | Marne             | 87                    | 34        |      | 1.78                        | 17.2  | 90.1   | 58                  | 20.4   | 38   |              |                 |
|                                 |            |      | 16         | 16.5 |                   | 79                    | 60        |      | 1.8                         | 17.7  | 95.2   | 56                  | 26     | 30   |              |                 |
|                                 |            |      | 18.5       | 19   |                   | 97                    | 80        |      | 1.6                         | 22.9  | 89.8   | 69.9                | 32.3   | 38   | 0.84         | 1               |
|                                 |            | 27   |            | 2    | 2.5               | Argile                | 96        | 73   |                             | 1.65  | 22.8   | 96.6                | 70     | 33   | 37           |                 |
|                                 |            |      | 4.5        | 5    | Marne schisteuse  | 100                   | 83        |      | 1.74                        | 21.2  | 103.4  | 64                  | 26.8   | 37   | 0.96         | 1.3             |
|                                 |            |      | 6.5        | 7    |                   | 100                   | 83        |      | 1.7                         | 22.8  | 104.6  | 52.2                | 21.6   | 31   | 0.82         | 11              |
|                                 |            |      | 11.5       | 12   | Argile graveleuse | 92                    | 60        |      | 1.93                        | 13    | 87.3   | 71.7                | 35.8   | 36   | 1.12         | 35.3            |
|                                 |            | 13.5 | 14         | 89   |                   | 58                    |           | 1.78 | 16.2                        | 84.4  | 65     | 33.2                | 32     | 0.6  | 23           |                 |
|                                 | 28         |      | 2          | 2.5  | Argile            | 97                    | 66        |      | 1.75                        | 17.5  | 87     | 49                  | 26.1   | 23   |              |                 |
|                                 |            |      | 4          | 4.5  |                   | 96                    | 46        |      | 1.86                        | 13.5  | 80.4   | 57.5                | 32     | 26   | 0            | 49.3            |
|                                 |            |      | 7.5        | 8    |                   | 92                    | 72        |      | 1.74                        | 17.3  | 84.4   | 63                  | 32.5   | 31   | 0.5          | 33              |
|                                 |            |      | 9.5        | 10   | Argile gypseuse   | 96                    | 79        |      | 1.76                        | 17.3  | 87.3   | 62.6                | 34.6   | 28   |              |                 |
|                                 |            |      | 11.5       | 12   |                   | 98                    | 81        |      | 1.77                        | 17.8  | 91.3   | 56.5                | 30.3   | 26   | 0.2          | 30              |
|                                 |            |      | 16         | 16.5 |                   | 93                    | 77        |      | 1.76                        | 18.4  | 93     | 63                  | 34.2   | 29   | 0.36         | 26              |
|                                 |            | 18.5 | 19         | 92   | 75                |                       | 1.88      | 17.1 | 95.5                        | 52    | 28.6   | 24                  | 0.72   | 26.3 |              |                 |

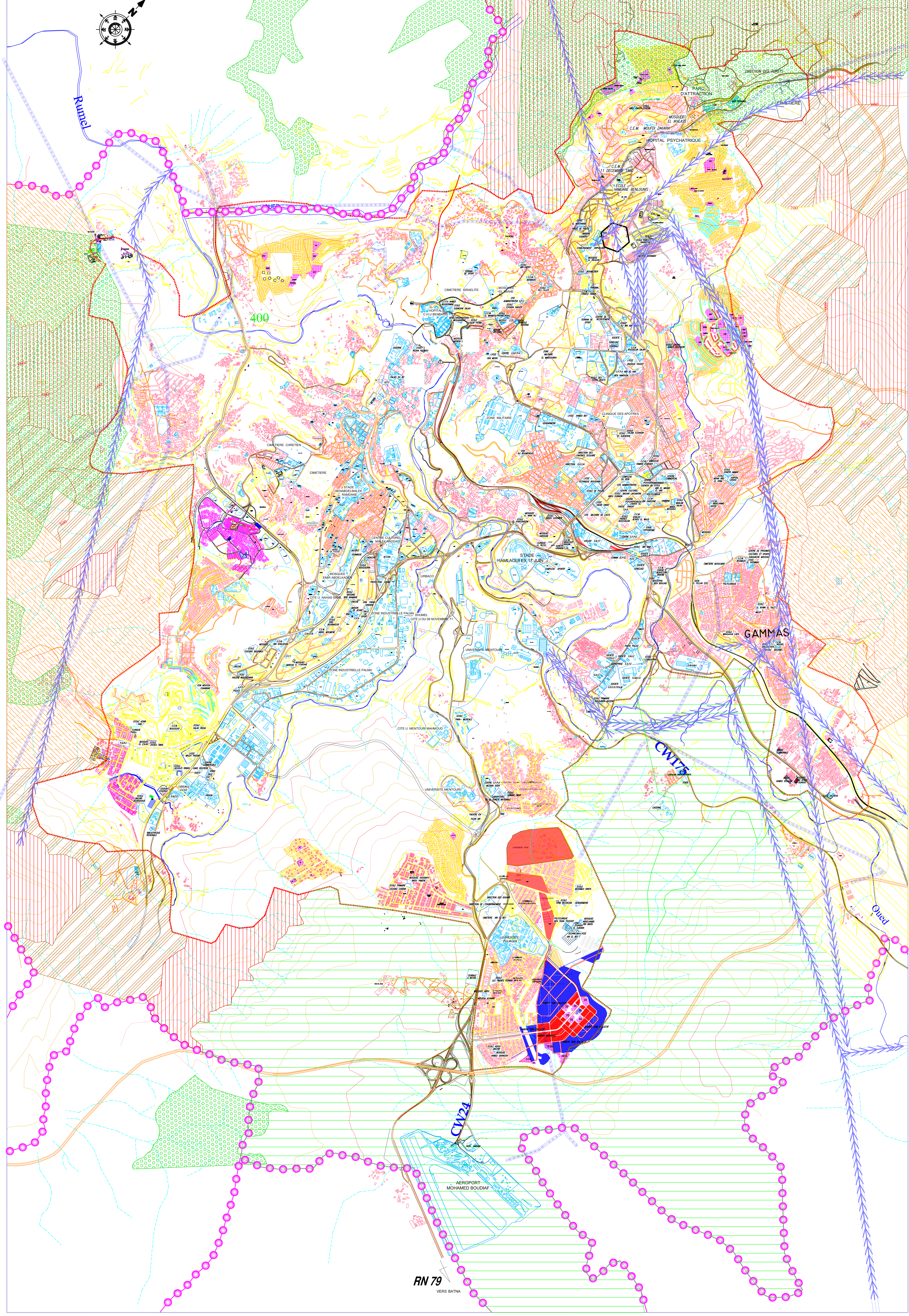
**Tableau I : Modèle de base de données utilisé pour la réalisation d'une carte géotechnique**



| N° sondage | Type de l'étude         | Localisation en (UTM) |              |       | Profondeur | Source de données | Type de sondage |
|------------|-------------------------|-----------------------|--------------|-------|------------|-------------------|-----------------|
|            |                         | X (UTM)               | Y (UTM)      | Z (m) |            |                   |                 |
| 44         | 100 logements           | 286 106.20            | 4 024 215.66 |       | 20         | LTPE              | Sondage carotté |
| 45         |                         | 286 052.52            | 4 024 221.97 |       | 20         |                   | Sondage carotté |
| 46         |                         | 286 032.34            | 4 024 172.05 |       | 20         |                   | Sondage carotté |
| 47         |                         | 286 025.58            | 4 024 162.15 |       | 20         |                   | Sondage carotté |
| 48         |                         | 286 087.83            | 4 024 135.55 |       | 20         |                   | Sondage carotté |
| 49         |                         | 286 032.11            | 4 024 146.69 |       | 20         |                   | Sondage carotté |
| 50         | 154 logements           | 283 519.72            | 4 022 816.93 |       | 12         | LTPE              | Sondage carotté |
| 51         |                         | 283 575.68            | 4 022 766.64 |       | 12         |                   | Sondage carotté |
| 52         |                         | 283 577.28            | 4 022 861.37 |       | 12         |                   | Sondage carotté |
| 53         |                         | 283 628.13            | 4 022 820.13 |       | 12         |                   | Sondage carotté |
| 54         | logement scolaire BARDO | 285 682.85            | 4 026 037.19 |       | 15         | LTPE              | Sondage carotté |
| 55         | 100/3000 Logements      | 284 540.22            | 4 023 949.76 |       | 12         | LTPE              | Sondage carotté |
| 56         | 100 logements FNPOS     | 286 010.43            | 4 025 161.15 | 525   | 20         | LTPE              | Sondage carotté |
| 57         |                         | 285 932.03            | 4 025 064.01 | 508   | 10         |                   | Sondage carotté |
| 58         |                         | 285 923.53            | 4 025 151.69 | 524   | 15         |                   | Sondage carotté |
| 59         |                         | 286 066.14            | 4 025 188.15 | 523   | 12         |                   | Sondage carotté |
| 60         |                         | 286 044.83            | 4 025 105.85 | 508   | 8          |                   | Sondage carotté |
| 61         |                         | 285 899.56            | 4 025 102.34 | 508   | 9          |                   | Sondage carotté |
| 62         |                         | 285 979.84            | 4 025 122.15 | 521   | 7.5        |                   | Sondage carotté |
| 63         | 600 Logements           | 285 833.76            | 4 025 644.63 |       | 15         | LTPE              | Sondage carotté |
| 64         |                         | 285 864.88            | 4 025 594.41 |       | 10         |                   | Sondage carotté |

**Tableau II : Informations sur les sondages utilisés pour la réalisation d'une carte géotechnique**





REALISE PAR UN PRODUIT AUTODESK A BUT EDUCATIF

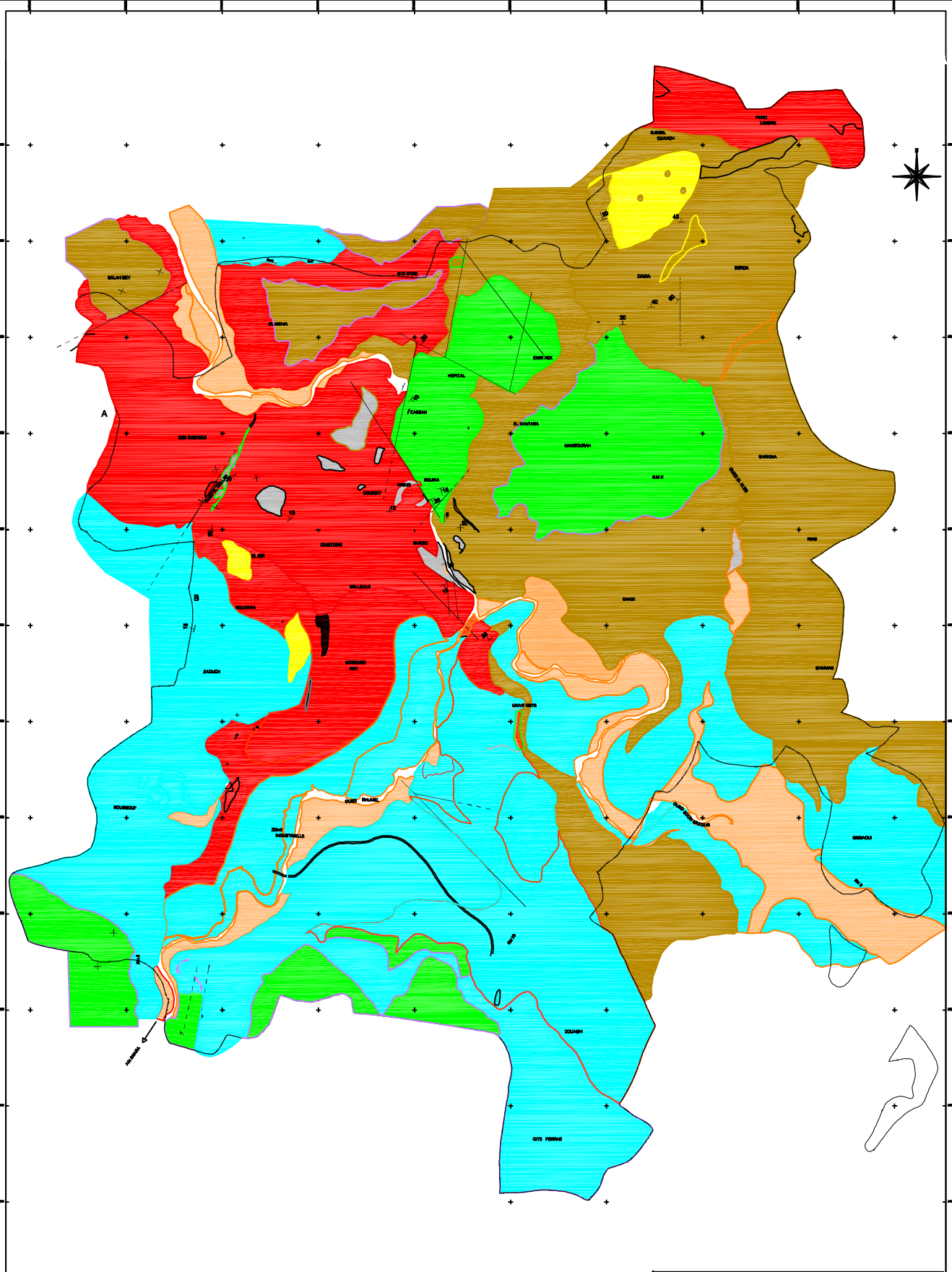
REALISE PAR UN PRODUIT AUTODESK A BUT EDUCATIF

# LEGENDE

|  |  |  |                       |  |                        |
|--|--|--|-----------------------|--|------------------------|
|  | LIMITE COMMUNALE   |  | CHAABA                |  | PENTE DE 8% A 12%      |
|  | PERIMETRE URBAIN DU PDAU (approuvé par arrêté N°98/83 du 25/02/1998) |  | RESERVOIR             |  | PENTE DE 12% A 15%     |
|  | COURBE DE NIVEAU   |  | PISTE                 |  | PENTE DE 15% A 25%     |
|  | OUED   |  | PENTE INFÉRIEURE A 8% |  | PENTE SUPÉRIEURE A 25% |

# carte des pentes de la ville de Constantine





**LEGENDE**

|  |  |
|--|--|
|  | Terrasse récente, ( $\gamma_d = 1.7$ ; $\phi = 6.7$ ; $c = 0.33$ )                 |
|  | Dépôts de pente, limoneux. Quaternaire   |
|  | les formations mameuse ( $\gamma_d = 1.69$ ; $\phi = 14.5$ ; $c = 0.27$ )          |
|  | le rocher ( $V_s = 1200$ m/s à 2000 m/s; $R_c = 419$ bar à 752 bar)                |
|  | les formations argileuse ( $\gamma_d = 1.73$ ; $\phi = 11.95$ ; $c = 0.44$ )       |
|  | les formations Conglomératique ( $\gamma_d = 1.90$ ; $\phi = 24.42$ ; $c = 0.71$ ) |
|  | Faïlle et sens du déplacement  |
|  | Contact anormal  |
|  | Pendage et valeur  |

**CARTE GEOTECHNIQUE DE CONSTANTINE AU 1/10000**

## Résumé :

La ville de Constantine n'est pas à l'abri d'un séisme de forte intensité, elle est considérée comme une zone à haut risque au titre des catastrophes naturelles, notamment en ce qui concerne les séismes,

Ce mémoire comporte l'étude d'évaluation de l'aléa et de microzonage sismique dont le but principal est de définir les aléas sismiques qui peuvent affecter la zone d'étude notamment les glissements de terrains. Différentes étapes ont été poursuivies pour atteindre cet objectif : étude géologique et hydrogéologique, aperçu néotectonique et sismotectonique, étude géotechnique et une application sur l'impact du séisme sur la stabilité des talus.

**Mots-clefs :** les séismes, les glissements de terrains, les aléas sismiques,

## ملخص:

مدينة قسنطينة ليست بمنى عن زلزال ذو شدة عالية و هي تعتبر منطقة ذات مخاطر فيما يتعلق بالمخاطر الطبيعية خاصة الزلازل.

هذه المذكرة تعنى بتقييم المخاطر و التقسيمات المدققة للزلازل بهدف رئيسي انا و هو المخاطر الزلزالية التي قد تصيب المنطقة المعناة بالدراسة خاصة خطر انزلاقات التربة. عدة مراحل مختلفة اتبعت من اجل الوصول الى هذا الهدف: دراسة جيولوجية و هيدروجيولوجية, لمحطة تكتونية و سيسمو تكتونية, دراسة جيوتقنية و دراسة تطبيقية حول التأثيرات الزلزالية في ثبات المنحدرات.

كلمات اساسية: الزلازل, انزلاقات التربة, المخاطر الزلزالية,