

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGENIEUR EN SCIENCE**

**DE LA MER**

**OPTION : Aménagement du littoral**

**SUJET :**

**Caractérisation lithologique et géotechnique des sols de la partie orientale de la baie  
d'Alger**

**Présenté par :**

**Mr. Ghanemi Zakaria**

**Mr. Moussaoui Samir**

**Soutenu le 12 juillet 2011 à 13h00 Devant le jury :**

|                       |                                       |                     |
|-----------------------|---------------------------------------|---------------------|
| <b>Mr. HEMDANE. Y</b> | <b>Maitre de conférence (ENSSMAL)</b> | <b>Président</b>    |
| <b>Mr. HELLEL. M</b>  | <b>Maitre de conférence (ENSSMAL)</b> | <b>Promoteur</b>    |
| <b>Mme. FEZAA. N</b>  | <b>Maitre de conférence (ENSSMAL)</b> | <b>Examinatrice</b> |
| <b>Mme. MEHDID. S</b> | <b>Maitre assistante (ENSSMAL)</b>    | <b>Examinatrice</b> |

**Promotion 2010/2011**

## REMERCIEMENT

Au terme de ce travail nous tenons vivement à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste mémoire

Tout d'abord nous tenons à remercier **monsieur HELLEL .M**, qui a accepté de diriger ce travail dès nos premières discussions en géologie et géotechnique. Il nous a aidé en nous accordant une grande confiance dans la démarche de notre travail, sans oublier son regard pertinent et ses critiques constructives. Ce travail n'existerait pas sans son aide et sa bienveillance, nous tenons à lui exprimer nos reconnaissances et nos sincères gratitude.

Nos sincères gratitude vont également aux membres de jury ;

Nous remercions **Monsieur HEMDANE.Y**, qui a bien voulu présider le jury. Sa passion et son respect ont été la source d'inspiration pour nous, il fait partie des enseignants avec qui nous avons beaucoup appris durant notre cursus universitaire.

Nous sommes honorés de compter aussi parmi les membres de jury **Mme. FEZAA .N**, pour son esprit critique et novateur. nous voudrions lui exprimer toute notre gratitude d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Merci également à **Mme MEHDID .S**, qui a bien voulu faire partie de notre jury. Nous faisons un grand honneur et plaisir d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous tenons aussi à remercier l'ensemble des enseignants de l'**ENSSMAL** qui ont contribué à notre formation .

Enfin, un grand merci est adressé à tous nos collègues de l'**ESSMAL**, nous avons que nous avons un grand plaisir de passer ces 5 ans avec eux. Nos profondes reconnaissances sont aussi adressées au personnel de la bibliothèque de l'**ENSSMAL** et à tous les personnels **LNHC ,LCTP,CTTP...etc.**

# Sommaire

## Introduction

### Chapitre I. Généralités.

|  |   |
|--|---|
| I.1. Situation géographique.....                   | 1 |
| I.2. Hydrographie de la zone d'étude.....          | 2 |
| I.3. Les nappes d'Eau.....                         | 2 |
| I.4. Aperçu sur La géologie de l'Algérois.....     | 3 |
| I.4.1. Le Primaire.....                            | 3 |
| I.4.2. Le Secondaire.....                          | 3 |
| I.4.3. Le Tertiaire.....                           | 4 |
| I.4.4. Le Quaternaire.....                         | 4 |
| I.5. Aperçu sismotectonique de l'Algérois.....     | 6 |
| I.5.1. Tectonique régional et failles actives..... | 6 |
| I.5.2. La sismicité historique de l'Algérois.....  | 8 |
| I.5.3. Classification des zones sismiques.....     | 8 |
| Conclusion.....                                    | 9 |

### Chapitre II. Analyse de la lithologie du site.

|  |    |
|--|----|
| Introduction.....                                    | 10 |
| II.1. Géologie de surface de la zone d'étude.....    | 10 |
| II.2. Lithologie du sous-sol de la zone d'étude..... | 11 |
| Conclusion.....                                      | 17 |

### Chapitre III. Caractérisation géotechnique du site d'étude.

|  |    |
|--|----|
| Introduction.....                                    | 18 |
| III.1. Caractérisation géotechnique du sous sol..... | 18 |
| III.2. Essais au laboratoire.....                    | 19 |
| III.2.1. Unité I : Sables.....                       | 19 |
| III.2.1.1. Formation 1 : Sables.....                 | 19 |
| III.2.1.2. Formation 2 : Sables argileux.....        | 20 |

|  |    |
|--|----|
| III.2.2. Unité II : Sable grésifié.....              | 23 |
| III.2.3. Unité III : Argiles.....                    | 23 |
| III.2.3.1. Formation 1 : Argile sableuse.....        | 23 |
| III.2.3.2. Formation 2 : Argile limono-sableuse..... | 26 |
| III.2.3.3. Formation 3 : Argile bioclastique.....    | 29 |
| III.2.4. Unité IV : Marnes.....                      | 32 |
| III.2.4.1. Formation 1 : Marnes peu plastiques.....  | 33 |
| III.2.4.2. Formation 2 : Marnes limoneuses.....      | 33 |
| III.2.4.3. Formation 3 : Marnes sableuses.....       | 33 |
| III.2.4.4. Formation 4 : Marnes argileuses.....      | 33 |
| III.2.5. Unité V : Vases.....                        | 34 |
| III.3. Essais in situ.....                           | 34 |
| III.3.1. Essais SPT (standard penetration test)..... | 34 |
| III.3.2. Essais de pénétration dynamique.....        | 35 |

## **CONCLUSION GENERALES**

### **Références bibliographiques**

### **Annexe**

# Liste des organismes

**APC Mohammadia** : Assemblée Populaire Communale d'El Mohammadia.

**CTTP** : Contrôle Technique des Travaux Publics.

**LCTP** : Laboratoire Centrale des Travaux Publiques.

**LNHC** : Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction.

**USTHB** : Université des Sciences et Technologie Houari Boumediene.

**CGS** : Centre Nationale de Recherche Appliquée en Génie-Parasismique

**JICA** : Agence Japonaise de Coopération Internationale

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydriques

## Liste des figures

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 1</b> : Situation de la zone d'étude (encadré) .....  | 1  |
| <b>Figure 2</b> : Carte des côtes piézométrique dans la région d'Alger (JICA, 2006). Les altitudes sont en mètres ..... | 3  |
| <b>Figure 3</b> : Carte géologique d'Alger et ses environs (JICA, 2006) .....   | 5  |
| <b>Figure 4</b> : Contexte sismotectonique de la collision Afrique-Eurasie (source IRSN).....                           | 6  |
| <b>Figure 5</b> : La localisation des différentes failles actives dans l'Algérois (Geomatrix, 2006).....                | 7  |
| <b>Figure 6</b> : Classification en zones sismiques des Wilayas d'Algérie (CGS, 2003).....                              | 9  |
| <b>Figure 7</b> : Extrait de la carte géologique d'Alger et ses environs (JICA,2006).....                               | 11 |
| <b>Figure 8</b> : Localisation des sondages carottés et les coupes corrélatives.....                                    | 12 |
| <b>Figure 9</b> : Coupe lithologique (AA').....   | 15 |
| <b>Figure 10</b> : Coupe lithologique (BB').....  | 15 |
| <b>Figure 11</b> : Coupe lithologique (CC').....  | 15 |
| <b>Figure 12</b> : Coupe lithologique (DD') .....   | 16 |
| <b>Figure 13</b> : Coupe lithologique (EE') .....   | 16 |
| <b>Figure 14</b> : Fuseau granulométrique des sables.....   | 19 |
| <b>Figure 15</b> : Fuseau granulométrique des sable argileux.....   | 20 |
| <b>Figure 16</b> : Diagramme de plasticité de Casagrande de sable argileux.....   | 21 |
| <b>Figure 17</b> : Fuseau granulométrique des sables grésifiés.....   | 23 |
| <b>Figure 18</b> : Fuseau granulométrique de l'argile sableuse.....   | 24 |
| <b>Figure 19</b> : Diagramme de plasticité de Casagrande de l'argile sableuse.....                                      | 25 |
| <b>Figure 20</b> : Fuseau granulométrique de l'argile limono-sableuse.....  | 27 |
| <b>Figure 21</b> : Diagramme de plasticité de Casagrande de l'argile limono-sableuse.....                               | 28 |
| <b>Figure 22</b> : Fuseau granulométrique de l'argile bioclastique.....   | 30 |
| <b>Figure 23</b> : Diagramme de plasticité de Casagrande de l'argile bioclastique.....                                  | 31 |

# Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau 1:</b> Principaux séismes de la région algéroise (CGS,1998, in JICA 2006).....       | 8  |
| <b>Tableau 2 :</b> Paramètres physico-mécaniques de laboratoire des sables argileux.....        | 22 |
| <b>Tableau 3 :</b> Paramètres physico-mécanique de laboratoire des argiles sableuses.....       | 26 |
| <b>Tableau 4 :</b> Paramètres physico-mécaniques de laboratoire des argiles limono-sableuses... | 29 |
| <b>Tableau 5 :</b> Paramètres physico-mécaniques de laboratoire de l'argile bioclastique.....   | 32 |
| <b>Tableau 6 :</b> Tableau récapitulatif des résultats d'essais SPT sur l'unité des sables..... | 34 |

**〔 Introduction générale 〕**

## **Introduction générale**

Le travail présenté dans le cadre de ce mémoire est porté sur la caractérisation lithologique et géotechnique des sols de notre zone d'étude dans le but d'évaluer les propriétés physico-mécaniques ainsi que la constructibilité de ces sols.

Pour ce faire, nous avons suivi les étapes suivantes :

D'abord, nous avons commencé par la récolte de données liées à la géologie, à l'hydrogéologie, à la sismotectonique et à la géotechnique, concernant notre site d'étude (cartes géologiques, rapports, études de sol,...). Ces données ont été récoltées au niveau de différents organismes (ANRH, LNHC, LCTP, ENSSMAL,...)

L'étape suivante a concerné l'analyse et l'interprétation des résultats brutes des essais de laboratoire et in situ.

En se basant sur l'interprétation des données et sur la discussion des résultats, nous avons pu mettre la lumière sur la qualité des sols et distinguer les terrains utilisables pour la construction.

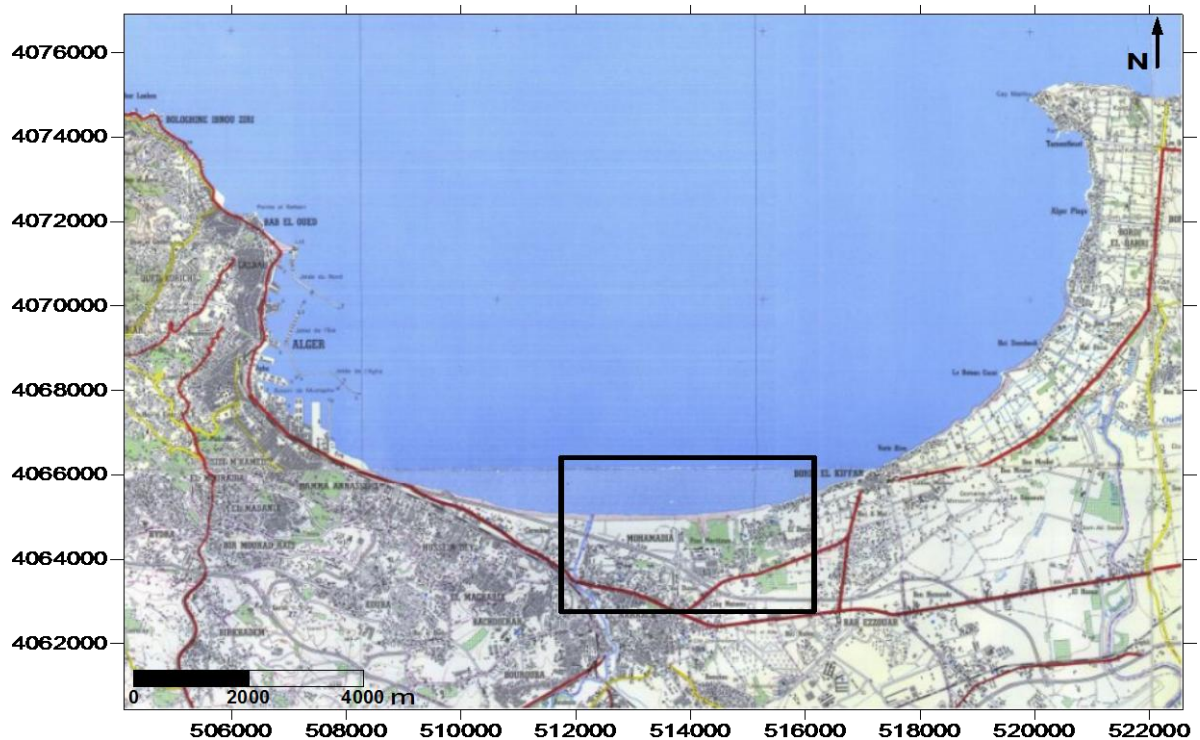
**Chapitre I**  
**Généralités**

## I.1. Situation géographique

Notre zone d'étude, la commune de Mohammadia et ses environs, se situe au cœur de la baie d'Alger, délimitée à l'Ouest par l'Oued El Harrach, au Nord par la mer méditerranéenne, au Sud par la route nationale (RN5) et à l'Est par les communes de Bordj El Kiffan et Bab Ezzouar. Elle bénéficie de 3,2 km de bande côtière. Elle est constituée principalement par les quartiers suivants : Cinq Maison, les Dunes, Cité Mohammadia et Les Pins Maritimes ou plus récemment le nouveau quartier dit Les bananiers. Les coordonnées UTM de la zone d'étude sont :

- X : 511180 à 516194
- Y : 4063880 à 4067341

Du point de vue topographique, notre zone d'étude est située sur une colline qui descend vers la mer, d'une altitude qui varie de 1 à environs 34 mètres ; elle est recouverte par des dunes de sable, relativement plates. (Figure 1).



*Figure 1 : Situation de la zone d'étude (encadré)*

## **I.2. Hydrographie de la région d'étude**

La Baie d'Alger est alimentée d'est en ouest par oued El Hamiz et oued El Harrach. Ces deux oueds ainsi que leurs affluents ont un régime irrégulier, caractérisé par un long étiage de six mois suivi de crues d'hivers et de printemps soudaines et fortes (Charakdji et al, 2006 in Khedimi et Abderrahmani, 2008). Ces deux oueds sont les plus importantes rivières au voisinage de notre zone d'étude.

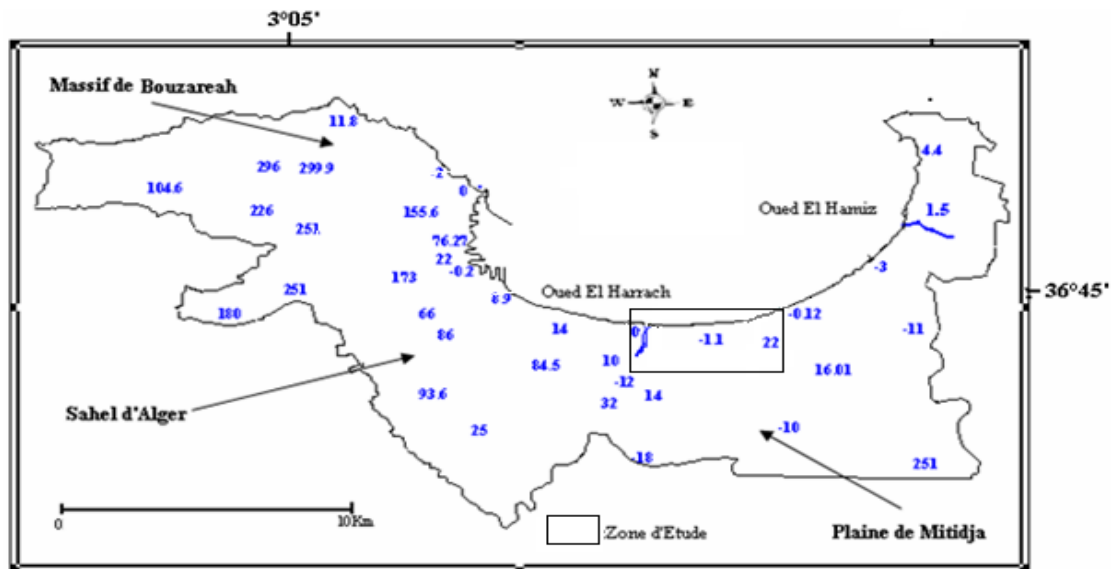
L'oued El Hamiz couvre une superficie de 315 Km<sup>2</sup>. il se jette à la mer avec un débit faible, dû à la présence du barrage d'El Hamiz (Charakdji et al, 2006 in Khedimi et Abderrahmani, 2008).

L'oued El Harrach qui constitue la limite ouest du site d'étude, prend sa source dans l'Atlas Blidéen. Sa superficie est de 1200 km<sup>2</sup> (Charakdji et al, 2006 in Khedimi et Abderrahmani, 2008) et est le siège d'une intense pollution d'origine industrielle et ménagère.

## **I.3. Les nappes d'Eau**

L'hydrogéologie et les ressources en eaux souterraines de la plaine de la Mitidja sont caractérisées par un complexe alluvionnaire, constitué de deux aquifères astien et quaternaire, formant une structure synclinale dissymétrique, reposant sur un substratum marneux plaisancien, par endroits miocène et créacé. Ces deux aquifères, sont séparés par un complexe argilo-marneux villafranchien (formation d'El-Harrach), d'épaisseur très variable suivant les endroits. (Bennie et Atkins, 1983, in Benziada, 2003).

A l'extrémité orientale de la Mitidja (Rouïba-Reghaïa), les deux aquifères peuvent être en communication directe. (Benziada, 2003). Une carte piézométrique a été réalisée par le LNHC et l'ANRH (JICA, 2006) pour détecter les niveaux d'eaux souterraines de la baie d'Alger. Dans notre zone d'étude, le niveau piézométrique se situe entre 0 mètres, aux alentours de l'oued El Harrach, et 22 mètres, à l'extrême Est (figure 2).



*Figure 2: Carte des côtes piézométrique dans la région d'Alger (JICA, 2006). Les altitudes sont en mètres*

#### **I.4. Aperçu sur la géologie de l'Algérois**

La géologie de la région d'Alger, tirée à partir de la carte géologique d'Alger et ses environs (JICA, 2006), montre à la base, un socle métamorphique primaire surmonté par des terrains secondaires, tertiaires et quaternaires (figure 3).

##### **I.4.1. Le Primaire**

Les terrains primaires forment les massifs d'Ain Baniyan, de la Bouzareah (massif d'Alger) et ses prolongements vers Sidi Fredj à l'Ouest et Bordj El Bahri à l'Est. Ces massifs, sont constitués de roches cristallophylliennes de nature pelitiques et carbonatées (gneiss, schiste, calcaire), recoupées par des épisodes éruptifs d'âge tertiaire (Glangeaud, 1932 in Ben Boudiaf et Hadjarab, 2006).

##### **I.4.2. Le Secondaire**

Les terrains secondaires n'affleurent pas dans la région d'Alger à l'exception des bordures de la Mitidja (Atlas blidéen et Chenoua) où ils sont constitués de calcaires et de marno-calcaires, d'âge essentiellement mésozoïque (Ameziane et Balit, 2006).

### **I.4.3. Le Tertiaire**

Ces terrains recouvrent en discordance les faciès métamorphiques. Ils sont représentés par des grès grossiers sableux astiens et des marnes à lentilles de calcaires plaisanciennes (Aymé et Mousson ,1963 in Benallal et Ourabia, 1989).

### **I.4.4. Le Quaternaire**

Il comporte plusieurs faciès lithologiques d'origine marine et continentale (GLANGEAUD et al, 1952, in Ben boudiaf Y et Hadjarab R, 2006), à savoir :

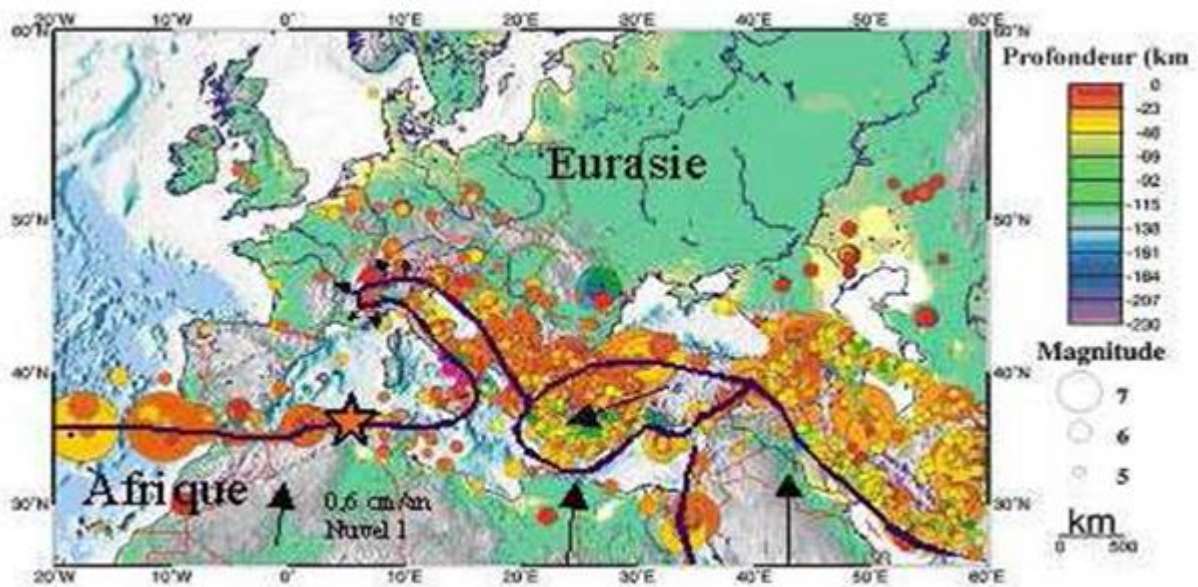
- ✓ Formation d'El Harrach, d'âge Villafranchien, représentée par des argiles marneuses jaunâtres et quelques lentilles de graviers.
- ✓ Formation de la Mitidja, d'âge Soltano-Tensiftien, représentée par des alluvions grossières provenant de l'érosion de l'Atlas blidéen.
- ✓ Formation de Mazafran et Halloula, d'âge flandrien-rhabien, représentées par des limons, argiles limoneuses et des galets provenant de l'Atlas blidéen.
- ✓ Les dépôts récents, d'âge Rhabien-actuel, englobant les dépôts marins (lumachelles à pétoncles et des grès coquilliers) et les dépôts dunaires occupent la majeure partie du littoral algérois sous forme de dunes friables à consolidées. Ils comportent également, les dépôts des rivières, formés, essentiellement, de sable, de vase et d'argile.



## I.5. Aperçu sismotectonique de l'Algérois

### I.5.1. Tectonique régionale et failles actives

En Algérie, la tectonique active est localisée dans la région nord du pays, essentiellement dans le Tell. Dans cette région, frontière entre les plaques africaine et eurasiatique (figure 4), la déformation tectonique est l'expression de la convergence actuelle de ces deux plaques, à un rythme de 0,6 cm/an. Cette convergence, se traduit par la fermeture progressive des bassins néogènes et par la poursuite de l'édification de la chaîne tellienne. Cette tectonique littorale active est à l'origine de la surrection de la côte, comme cela fut le cas lors du dernier séisme de Boumerdes du 21 mai 2003, où le soulèvement cosismique a été estimé en moyenne à 0,50 m (Yelles-Chaouche et al, 2006).



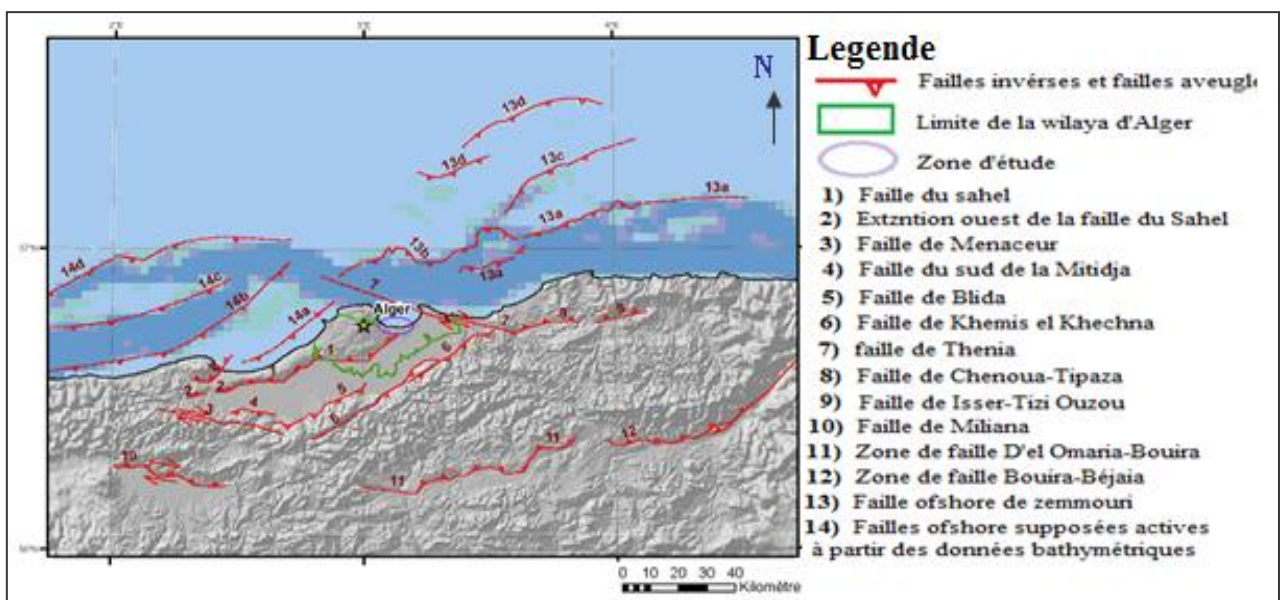
*Figure 4 : Contexte sismotectonique de la collision Afrique-Eurasie (source IRSN). Etoile correspond au choc principal du séisme 21 Mai 2003*

L'activité sismique de la région algéroise est due à une série de failles actives. Récemment, une série de failles en mer, a été mis en évidence par la campagne Maradja, dont une serait à l'origine du séisme du 21 mai 2003 (Dèverchère et al, 2005 ; in Hamidouche , 2009). Les principales failles actives dans l'Algérois sont (Figure 5) :

- La faille du Sahel : elle a été interprétée comme étant une faille inverse à pendage nord et localisée le long de la marge méridionale de l'anticlinal du Sahel. La faille se

prolonge sur 63 km depuis le Mont Chenoua, en passant par Sidi Rached jusqu'à la baie d'Alger (Geomatrix, 2006).

- La faille de Thénia : dite aussi la faille de Cap Matifou. est une structure décrochante, d'âge Quaternaire, d'une longueur maximale de 73 Km (Géomatrix, 2006), constituant la bordure nord-est du bassin de Mitidja. Elle s'étend des Issers au sud-est jusqu'à quelques kilomètre offshore au nord du massif de Bouzereah dans la direction nord-ouest (Boudiaf et al, 1998, in Saci L, 2011).
- La faille anticlinale du Sahel : elle correspond à une faille en chevauchement aveugle, localisée le long de la marge septentrionale de l'anticlinal du Sahel. Sa longueur est d'environ 41 Km (Géomatrix, 2006).
- La faille de l'Atlas blidéen : elle se présente sous forme de failles segmentées, de direction SW-NE, pouvant engendrer des séismes d'une magnitude variante entre 5,5 et 7,0 (Géomatrix, 2006).
- La faille offshore de Zemmouri : Elle fut méconnue jusqu'à sa mise en évidence par les deux compagnes Maradja (2003 et 2005). Sa structure serait celle d'un pli-faille. Le taux de déplacement de cette faille est de 0,2 mm par an, et sa direction est NE-SW. La faille pourrait émerger à environ 15 kilomètres en mer. (Semane , 2005)



**Figure 5 :** la localisation des différentes failles actives dans l'Algérois (Geomatrix, 2006)

### I.5.2. La sismicité historique de l'Algérois

L'activité sismique en Algérie du Nord est connue depuis le 02 Janvier 1365, date à laquelle s'est produit le séisme d'Alger (Al Suyuti, 1505, Ambraseys, 1988 ; in Yelles-Chaouche et al, 2006). Les séismes algériens sont superficiels, ne dépassant pas en profondeur les 15 km, ce qui les rendent plus perceptibles par la population et donc plus dangereux (Yelles-Chaouche et al, 2006). Après cette date, de nombreux séismes se sont produits, certains d'entre eux ont été violents et meurtriers. Parmi ces séismes, nous pouvons citer ceux qui ont touché la région Algéroise (Tableau 1) :

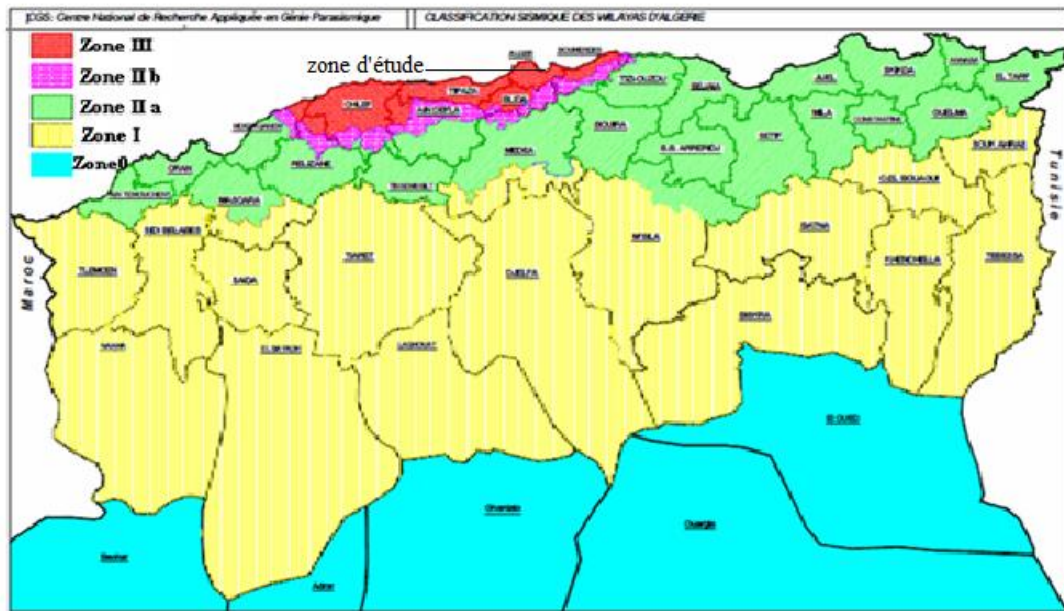
**Tableau 1:** Principaux séismes de la région algéroise (CGS,1998, in JICA 2006)

| Date       | Localisation   | Latitude | Longitude | Magnitude (Ms) | Intensité (Io) |
|------------|----------------|----------|-----------|----------------|----------------|
| 02/01/1365 | Alger          | 36.420   | 3.060     | -              | X              |
| 03/02/1716 | Alger          | 36.420   | 3.060     | -              | IX             |
| 05-11-1924 | Ben Chaâbane-M | 36.360   | 3.000     | 4.8            | VIII           |
| 06/06/1924 | Ben Chaabane-M | 36.390   | 2.540     | 4.2            | VII            |
| 28/05/1940 | Alger          | 36.480   | 3.018     | 5              | III            |
| 28/01/1961 | Baie d'Alger   | 36.800   | 3.100     | 4.1            |                |
| 05/11/1989 | Méditerranée   | 36.740   | 2.390     | 4.5            |                |
| 09/02/1990 | Méditerranée   | 36.770   | 2.470     | 4.7            |                |
| 04/02/1991 | Arbaa          | 36.760   | 3.210     | 3.6            |                |
| 04/09/1996 | Ain Benian     | 37.000   | 2.930     | 5.7            |                |
| 21/05/2003 | Zemmouri       | -        | -         | 6.8            | X              |

### I.5.3. Classification des zones sismiques (RPA99/Version 2003)

La carte ci-dessous montre le zonage sismique de l'Algérie où on distingue quatre zones essentielles dans un ordre croissant (Figure 6) :

- Zone 0 : sismicité négligeable
- Zone I : sismicité faible
- Zone II : sismicité moyenne
- Zone III : sismicité élevée



*Figure 6 : Classification en zones sismiques des Wilayas d'Algérie (CGS, 2003)*

Notre zone d'étude se situe dans la zone III de forte sismicité.

## Conclusion

La région de l'Algérois, dont fait partie notre zone d'étude, est classée dans la zone III, de forte sismicité, elle est caractérisée par une forte activité sismotectonique due à l'existence de plusieurs failles actives de différents types (plis failles ou failles inverses)

Des études et un suivi de ces failles sont indispensables pour réduire le risque sismique afin d'aboutir à un meilleur aménagement du territoire qui répond aux règles parasismiques, en évitant la construction à proximité des failles et au niveau des sols qui amplifient les mouvements sismiques.

**Chapitre II**  
**Analyse lithologique du site**

## Introduction

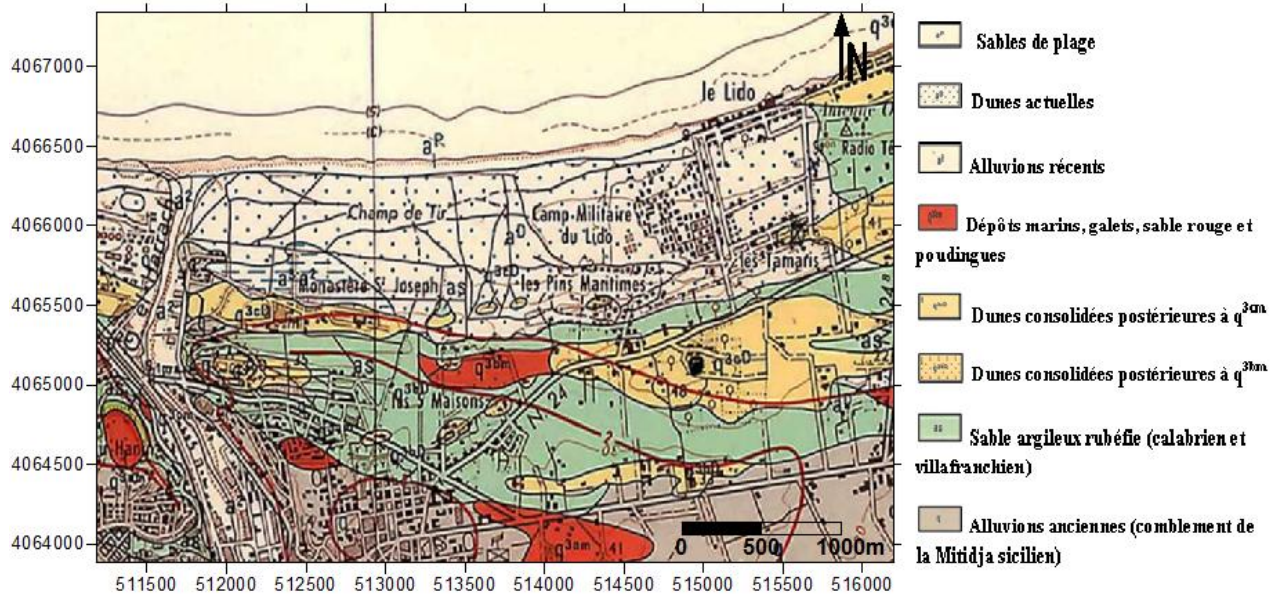
La reconnaissance géologique et lithologique du site étudié dont la nature, l'épaisseur et les caractéristiques géotechniques des couches du sous-sol sont indispensables pour pouvoir analyser sa stabilité et la possibilité de sa constructibilité.

De ce fait ; on s'est basé sur la carte géologique d'Alger au 1/50000<sup>ème</sup> (Aymé 1964) et les résultats des sondages carottés qu'on a analysé pour établir la lithologie de notre zone d'étude.

### II.1. Géologie de surface de la zone d'étude

D'après la carte géologique d'Alger au 1/50000<sup>ème</sup>, on constate que notre zone d'étude est recouverte par les formations suivantes (Figure 7) :

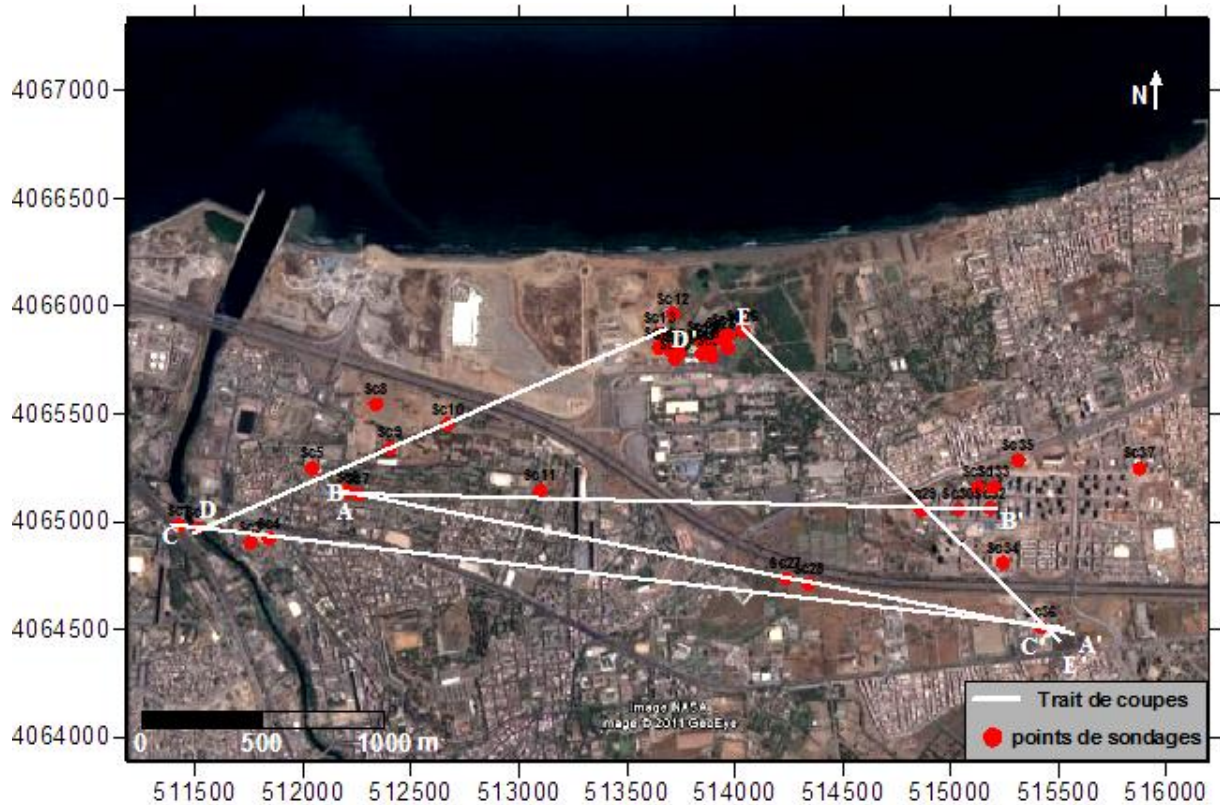
- Du sable de plages le long de la côte ;
- Des dépôts de dunes actuelles qui s'étalent sur une superficie assez vaste au Nord et au Sud de notre zone ;
- Des alluvions constituées essentiellement de sable et vase d'argile le long de lit d'oued El-Harrach, à l'Ouest ;
- Du sable plus ou moins argilo-limoneux (terrains sédimentaires actuels), au Sud-Ouest ;
- Des dépôts de dunes consolidées d'âge Pléistocène, au Sud, à l'Ouest et à l'Est du site ;
- Au Sud, apparaissent des dépôts d'alluvions anciennes du sicilien ;
- Enfin, elle est recouverte par des dépôts marins comprenant de très petits galets ,de quartz, du sable rouge, des poudingues et des grés grossiers compris entre 20 et 25 mètres d'âge pléistocène.



**Figure 7:** Extrait de la carte géologique d'Alger au 1/50000<sup>ème</sup>, feuille n°21 (Aymé, 1964)

## II.2. Lithologie du sous-sol de la zone d'étude

L'analyse de la lithologie du sous-sol de notre zone d'étude s'est faite à partir des résultats d'études de sol effectuées par plusieurs organismes (LNHC, CTPP, LCTP et APC de Mohammadia) pour différents projets (e.g. city Center, 2006 ; Grande Mosquée d'Alger, 2009 ; 700 logements Bananiers, 2005, Tramway d'Alger S/T4 Mohammadia). Les différents sondages réalisés dans le cadre de ces études (figure 8), nous ont permis de définir la variation verticale et latérale des différentes couches, illustrée par cinq coupes lithologiques corrélatives (figure 8).



*Figure 8: Localisation des sondages carottés et les coupes corrélatives*

Les coupes corrélatives sont définies comme suit :

### La coupe AA'

Cette coupe corrélative (figure 8), de direction WNW-ESE, révèle en surface une couche d'argile sableuse de 3,5 mètres d'épaisseur, limitée par une couche de terre végétale de 0,5 à 1,2 mètres d'épaisseur, aux extrémités de la coupe.

Au dessous, on trouve une couche de sable de 5,5 à 12,5 mètres d'épaisseur passant à une couche de sable grésifié, sous forme lenticulaire, vers le Nord-Ouest.

Enfin, une formation de sable grésifié recoupée par le sondage Sc36, jusqu'à la fin du sondage (figure 9).

**La coupe BB'**

Cette coupe corrélatrice (Figure 8), de la direction Est-Ouest, montre la succession suivante :

- Une couche de terre végétale aux extrémités de la coupe d'une épaisseur moyenne de 2 mètres ;
- une couche de sable de 9 mètres d'épaisseur, recoupée par le sondage Sc11, qui s'étale vers l'Est, au dessous de la terre végétale, avec une intercalation d'une lentille d'argile ;
- Une couche de sable grésifié, le long de la coupe, de 12 mètres d'épaisseur à l'Est, qui se réduit vers l'Ouest (figure 10).

**La coupe CC'**

Cette coupe, de direction WNW-ESE (Figure 8), révèle en surface une couche de remblai de 4 mètres d'épaisseur au Nord-Ouest tandis qu'au sud-ouest, c'est une fine couche de terre végétale qui apparaît.

Au dessous, on trouve une formation de vase de 15 à 23 mètres d'épaisseur avec une intercalation de marnes peu plastiques, grisâtres, de 3 mètres d'épaisseur recoupée par le sondage Sc4.

Vers le sud-est, apparaît une couche de sable de 5,5 mètres d'épaisseur avec un passage de grés à 5,8 et 6 mètres de profondeur.

Enfin, à l'extrémité nord-ouest, apparaît une épaisse couche de marnes, allant jusqu'à 17 mètres d'épaisseur (figure 11).

**La coupe DD'**

Cette coupe de direction WSW-ENE (figure 8) montre la succession lithologique suivante :

- Une couche de remblai de 1,5 mètre d'épaisseur passant à une couche de sable d'un mètre d'épaisseur vers l'ENE.
- Une couche de sable de 37 à 40 mètres d'épaisseur, recouvrant une couche d'argile de 7 à 10 mètres d'épaisseur recoupée par les sondages Sc10 et Sc9. Cette couche du sable passant à une épaisse formation de vase de 23 mètres, reposant sur une couche de marne de 5 mètres d'épaisseur, avec une intercalation d'une couche fine d'argile ;
- Une couche d'argile de 3 mètres d'épaisseur, vers le Nord-Est, recouvrant une couche de sable grésifié de 45 mètres d'épaisseur, reposant sur une fine couche d'argile (figure 12).

**La coupe EE'**

Cette coupe corrélatrice, de direction NW-SE (Figure 8), nous a permis de distinguer, de haut en bas :

- Une couche de sable, à l'extrémité nord-ouest, de 5 mètres d'épaisseur passant à une autre de terre végétale de 0,5 mètres d'épaisseur vers le SE
- Une épaisse couche de sable grésifié de 35 mètres d'épaisseur, le long de la coupe, qui se réduit vers le sud-est. Cette couche est intercalée par une lentille d'argile très fine, au Nord-Ouest, et du sable, au Sud-Est.
- Une couche d'argile de 9 mètres d'épaisseur recoupée jusqu'à la fin du sondage Sc26 (figure 13).

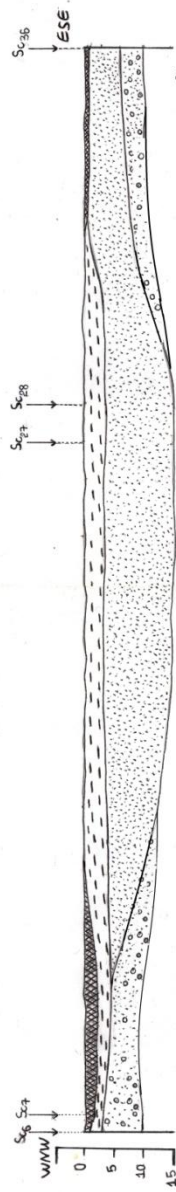


Figure 9: Coupe lithologique AA'

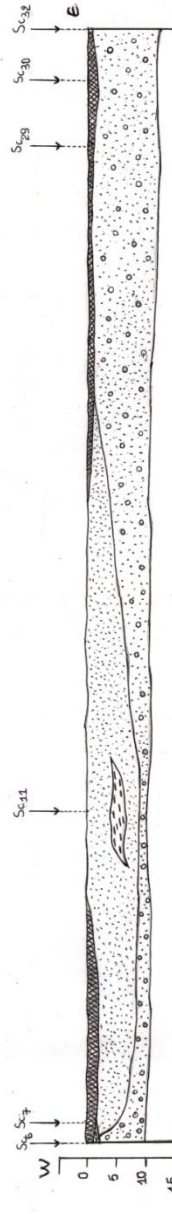


Figure 10: Coupe lithologique BB'

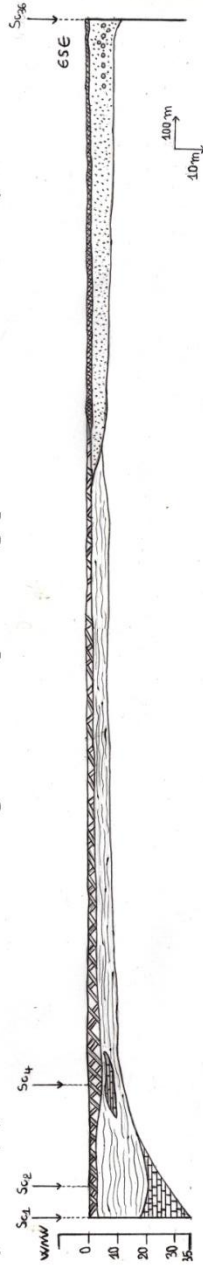
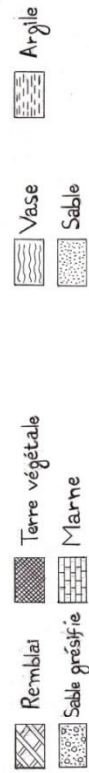


Figure 11: Coupe lithologique CC'



Legende

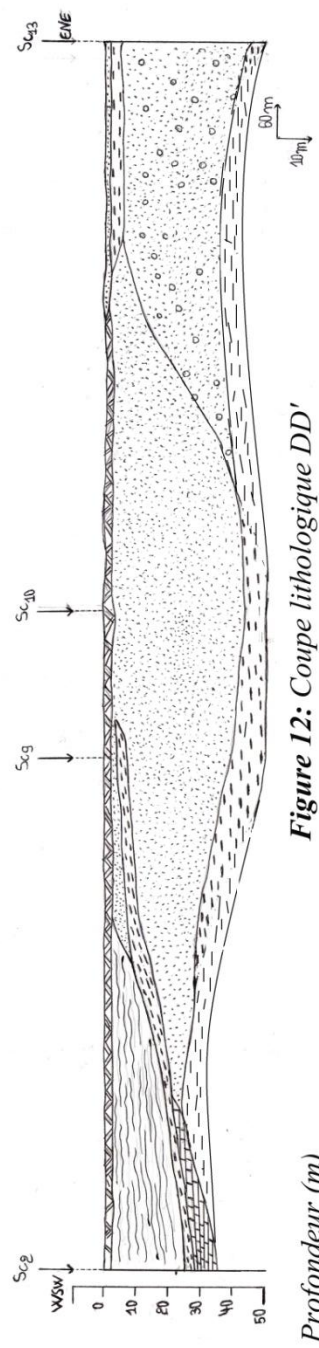


Figure 12: Coupe lithologique DD'

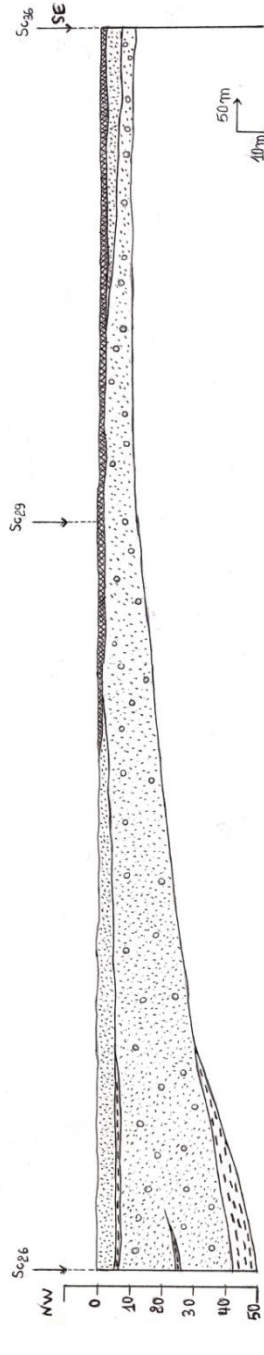


Figure 13: Coupe lithologique EE'



**CONCLUSION**

A partir de l'analyse des logs de sondages, des coupes lithologiques corrélatives ont été réalisées. Elles montrent que le sous-sol de notre zone d'étude, dans l'ensemble, est hétérogène. Ceci, nous a permis de regrouper les différents termes en six unités lithologiques qui sont : remblai et terre végétale ; sables ; sables grésifiés ; argiles ; marnes et vases.

**Chapitre III**  
**Caractérisation géotechnique**

## Introduction

Dans ce chapitre qui concerne la caractérisation géotechnique de notre sous sol, on va utiliser les différentes données géotechniques des études et rapports de sol qu'on a récoltés au niveau des différents organismes.

Généralement, c'est un travail de synthèse et d'interprétation de données de laboratoire et in situ, en faisant référence aux différentes classifications en mécanique des sols (LCPC, Atterberg, Terzaghi, Sanglerat et Filliat). Le but de ce travail est de donner des recommandations vis-à-vis la constructibilité des sols de notre zone d'étude.

### III.1. Caractérisation géotechnique du sous sol

Les sondages carottés et les coupes corrélatives ont permis de définir cinq unités lithologiques:

- I. Unité des sables : contenant du sable et du sable argileux
- II. Unité des sables grésifiés
- III. Unité des argiles contenant de l'argile limono-sableuse et argile bioclastique
- IV. Unité des marnes : contenant des marnes sablo-limoneuses et argileuse
- V. Unité des vases

#### ❖ Paramètres géotechniques étudiés

##### Essais physico-mécanique au laboratoire

Se sont réalisés sur des échantillons ramenés à partir les sondages carottés à des différentes profondeurs. On distingue deux genres d'essais ;

- ❖ Essais d'identification physique
  - Teneur en eau naturelle  $W$  (%)
  - Degré de saturation  $S_r$  (%)
  - Poids volumique sec et poids volumique humide ( $t/m^3$ )
  - Granulométrie
  - Limites d'Atterberg,  $W_L$ (%),  $W_P$  (%),  $I_P$  (%) et  $I_C$
- ❖ Essais mécanique

- Essais de cisaillement rectiligne à la boîte de type CU (consolidé non drainé) et UU (non consolidé non drainé)
- Essais de compressibilité à l'oedomètre

### Essais in situ

- essais à la pénétration dynamique
- essais pressiométrique.

## III.2. Essais au laboratoire

### III.2.1. Unité I : Sables

#### III.2.1.1. Formation 1 : Sables

Les résultats de l'analyse granulométrique sont tirés à partir des données de huit échantillons, cela nous a permis de dessiner le fuseau granulométrique (figure 14) qui révèle un sable moyen à grossier avec un pourcentage des passant à  $80 \mu\text{m}$  inférieur à 50 %, compris entre 3,92 et 29,76 %, il s'agit donc d'un sol pulvérulent selon la classification de LCPC

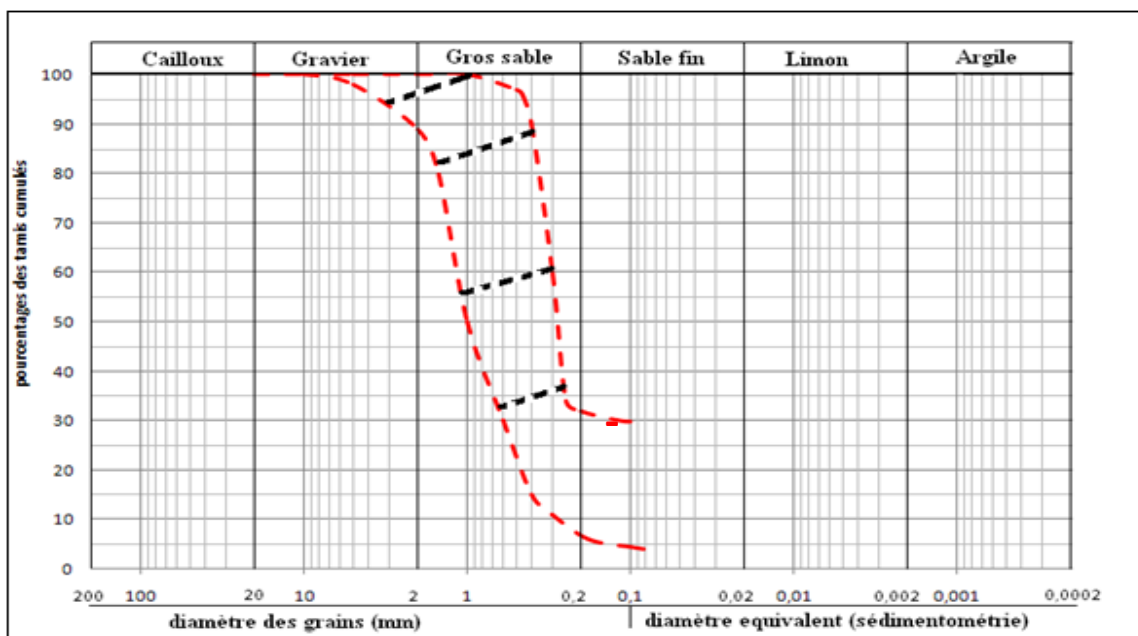


Figure 14: Fuseau granulométrique des sables

### III.2.1.2. Formation 2 : Sable argileux

Tous les résultats des essais physico-mécaniques sont représentés dans le tableau 2

#### a) Paramètres physiques

La teneur en eau de cette formation est comprise entre 9,52 et 17,40 % avec une teneur moyenne de 12,79 %, le degré de saturation moyen est de 73,73 %, les valeurs du poids volumiques sec varient de 1.78 à 1.89 t/m<sup>3</sup> avec une valeur moyenne de 1.44 t/m<sup>3</sup>. Ces valeurs dénotent le caractère détrempé et dense de ce sol, d'après Terzaghi.

Les résultats de l'analyse granulométrique montrent la présence d'une proportion très élevée de la fraction moyenne à grossière par rapport à la fraction fine dont le pourcentage des passants à 80µm est inférieur à 50 %, il s'agit donc d'un sol pulvérulent selon la classification LCPC (figure 15).

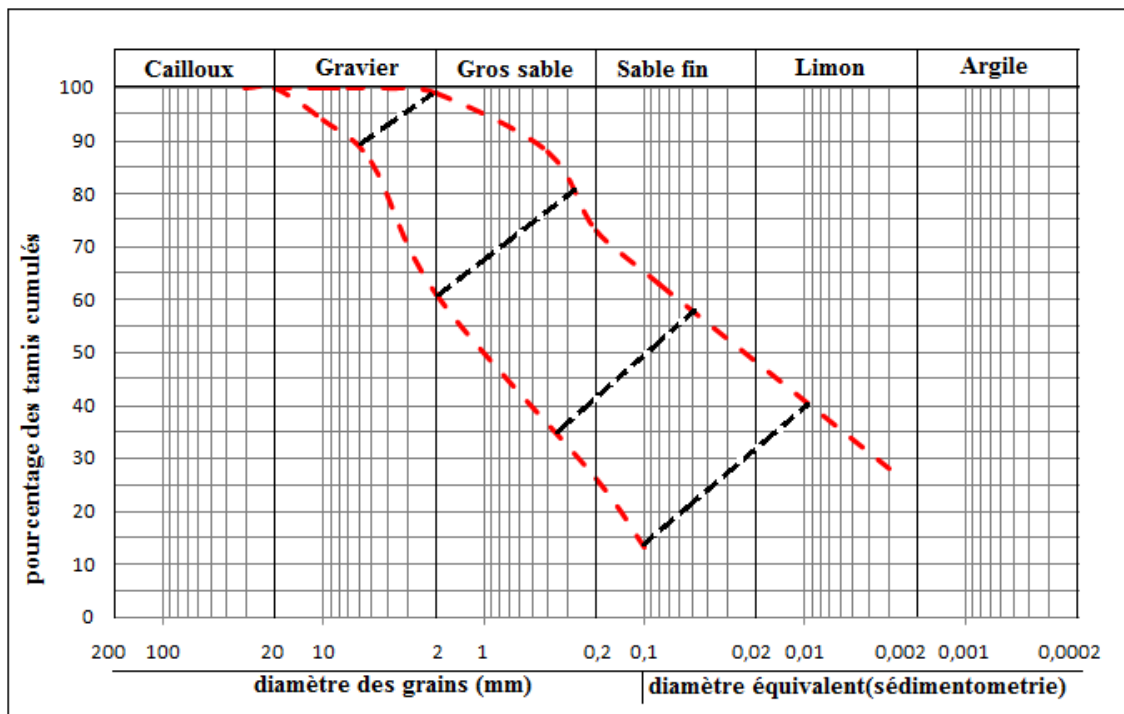


Figure 15: Fuseau granulométrique des sables argileux

Les valeurs moyennes des limites d'Atterberg ( $W_L$ ,  $W_P$  et  $I_P$ ) sont :

- $W_L = 33,61 \%$
- $W_P = 15,80 \%$
- $I_P = 17,81 \%$

Les couples  $W_L$ - $I_p$ , représentés dans le diagramme de Casagrande sont au dessus de la ligne des argiles 'A' dans le domaine des argiles de moyenne plasticité (figure 16). La valeur moyenne de l'indice de consistance est comprise entre 1,17 et 1,28, le sol est donc consistant d'après Atterberg .

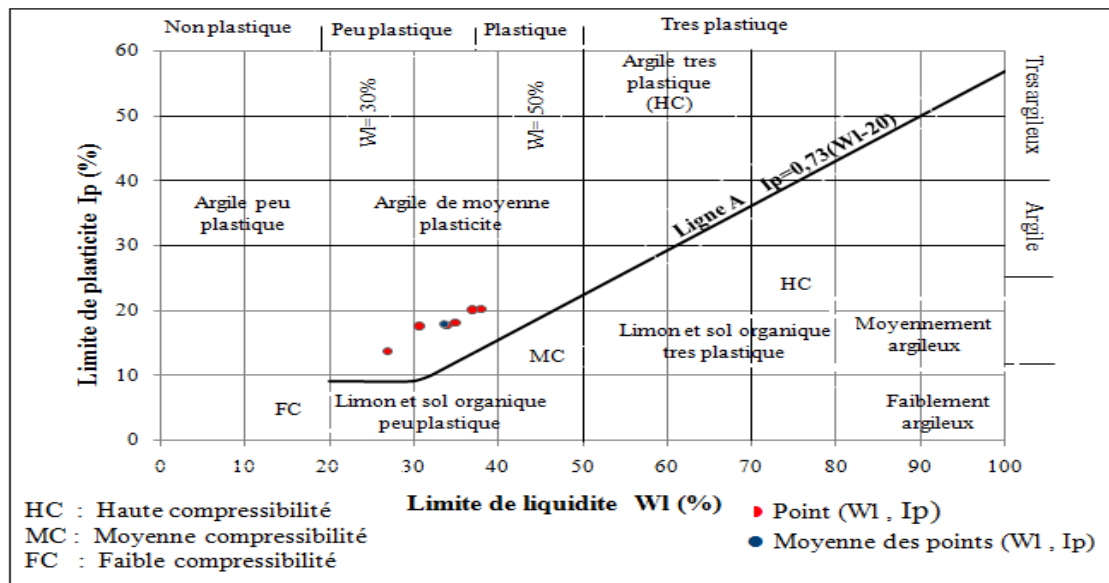


Figure 16: Diagramme de plasticité des sables argileux

### b) paramètres mécaniques

Les essais de résistance au cisaillement (CU) sont effectués sur trois échantillons dont la cohésion moyenne  $C = 0,35$  bars et l'angle de frottement moyen  $\phi = 26,33^\circ$ . Pour le type UU, un seul échantillon a donné les valeurs:  $C = 0,79$  bars et  $\phi = 12,46^\circ$ .

La valeur moyenne du coefficient de compressibilité ( $C_c$ ) est de l'ordre de 0,0813 et celle du coefficient de gonflement ( $C_g$ ) égale à 0,021, ces valeurs indiquent un sol peu compressible et peu gonflant, d'après la classification de Terzaghi et de Sanglerat.

Tableau 2 : Paramètres physico-mécaniques de laboratoire des sables argileux

|   | Paramètres géotechniques                        |                        | Nombre d' échantillons | Valeurs |       |            | interprétation |                     |
|---|---|------------------------|------------------------|---------|-------|------------|----------------|---------------------|
|   |   |                        |                        | Min     | Max   | Moyenne    |                |                     |
| Paramètres physiques                        | Teneur en eau naturelle $W$ (%)                 |                        | 6                      | 9,52    | 17,40 | 12,79      | détrempé       |                     |
|   | Degré de saturation : $S_r$ (%)                 |                        |                        | 59,84   | 99,00 | 73,73      |                |                     |
|   | poids volumique sec : $\gamma_d$ ( $t/m^3$ )    |                        |                        | 1,78    | 1,89  | 1,44       |                |                     |
|   | Poids volumique humide : $\gamma_h$ ( $t/m^3$ ) |                        | 5                      | 1,99    | 2,11  | 2,06       | Dense          |                     |
|   | granulométrie                                   | % de passant à 2 mm    |                        | 6       | 61    | 99,39      | 92,24          | Sol pulvérulent     |
|   |   | % de passant à 0,080mm |                        | 3       | 25,15 | 40,50      | 32,71          |                     |
|   |   | % de passant à 4 $\mu$ |                        | 3       | 41,52 | 83,33      | 68,36          |                     |
|   | Limites d' Atterberg                            | $W_L$ (%)              |                        | 6       | 26,99 | 38,00      | 33,61          | Hautement plastique |
|   |   | $W_P$ (%)              |                        |         | 13,19 | 17,90      | 15,80          |                     |
|   |   | $I_P$ (%)              |                        |         | 13,59 | 20,10      | 17,81          |                     |
| Indice de consistance:<br>$I_C = W_L - W_P$ |   | 1,00                   | 1,28                   |         | 1,17  | consistant |                |                     |
| Paramètres mécaniques                       | Cisaillement Rectiligne                         | CU                     | C (bars)               | 3       | 0,14  | 0,70       | 0,35           | Resistance moyenne  |
|   |   |                        | $\varphi$ (degré)      |         | 18    | 33         | 26,33          |                     |
|   | Cisaillement Rectiligne                         | UU                     | C (bars)               | 1       | -     | -          | 0,79           | Resistance moyenne  |
|   |   |                        | $\varphi$ (degré)      |         | -     | -          | 12,46          |                     |
|   | Compressibilité à l' oedomètre                  |                        | $P_C$ (bars)           | 1       | -     | -          | 1,51           | Peu compressible    |
|   |   |                        |                        |         | $C_t$ | -          | -              |                     |
| $C_g$                                       |   |                        |                        |         | -     | -          | 0,021          |                     |

### III.2.2. Unité II : Sable grésifié

Les seuls essais effectués sur les sables grésifiés concerne l'analyse granulométrique

Le fuseau granulométrique (figure 17) a mis en évidence un sol grossier dont le diamètre est supérieur à 0,2 mm avec un pourcentage de plus de 70 % de la composition granulométrique du terrain. Le pourcentage des passants à 80  $\mu m$  ne dépasse pas les 6 %, révélant un sol pulvérulent selon la classification de LCPC.

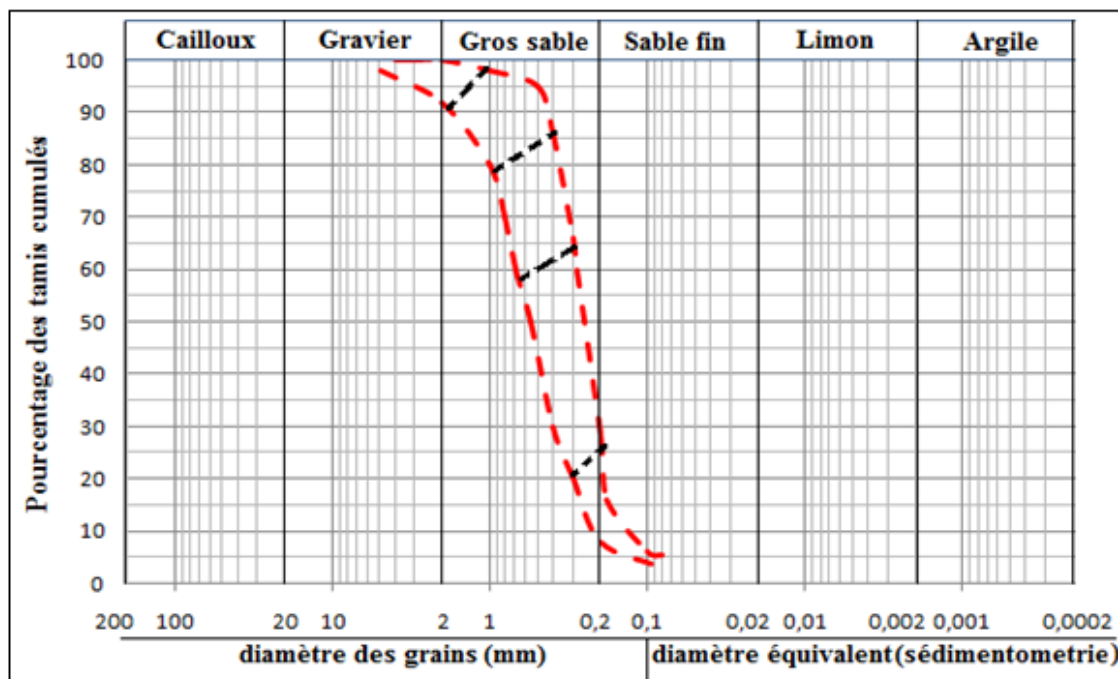


Figure 17: Fuseau granulométrique des sables grésifiés

### III.2.3. Unité III : Argiles

#### III.2.3.1. Formation 1 : Argile sableuse

Les valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres physico-mécaniques de cette formation sont résumées dans le tableau 3.

##### a) Paramètres physiques

Les teneurs en eau varient entre 13 et 20,46 % avec une teneur moyenne de 16,22 %. Le degré de saturation moyen est de 92,25 %. Les valeurs du poids volumique sec varient entre

1.70 et 1.93 t/m<sup>3</sup> avec une valeur moyenne de 1.83 t/m<sup>3</sup>, et une valeur moyenne du poids volumique humide de 2.09 t/m<sup>3</sup>.

Il s'agit d'un sol dense et détrempe d'après la classification de Terzaghi.

Le fuseau granulométrique (figure 18) montre le caractère fin de ce sol avec un pourcentage des passant à 80 µm égale à 75,73 % , d'après la classification LCPC

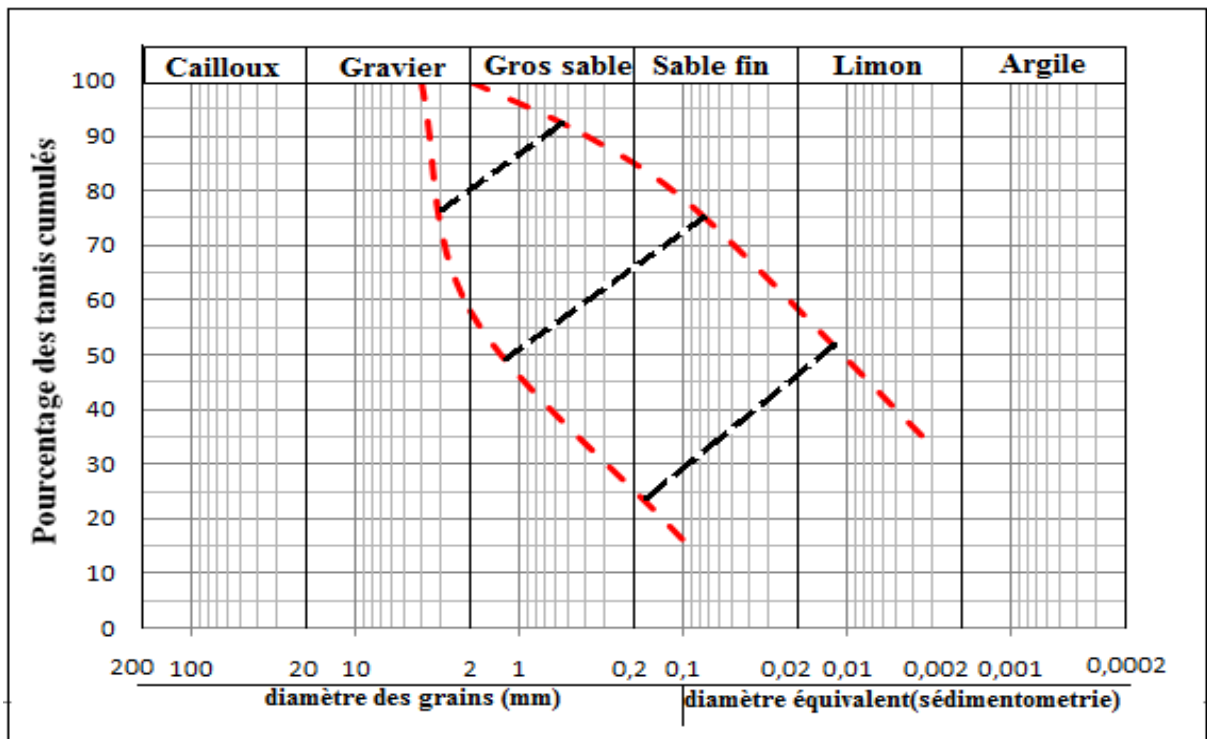


Figure 18 : Fuseau granulométrique de l'argile sableuse

La limite de liquidité  $W_L$  moyenne est de 37,36 % et l'indice de plasticité  $I_p$  moyen de 18.97 % ; d'après la classification d'Atterberg, ce sol est de haute plasticité. D'après le diagramme de plasticité (figure 19), il ressort que le sol s'intègre dans le domaine des argiles de moyenne plasticité. La valeur moyenne de l'indice de consistance est  $I_c = 1.14$ , comprise entre 0,88 et 1,20, indiquant un sol consistant, d'après Atterberg.

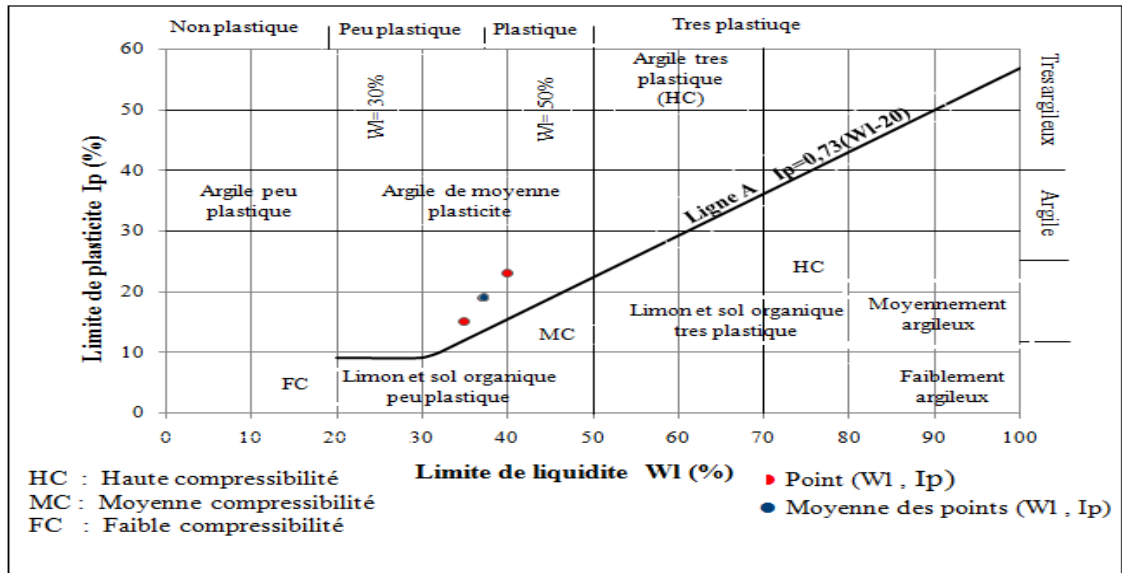


Figure 19: Diagramme de plasticité de l'argile sableuse

### b) paramètres mécaniques

Les essais de résistance au cisaillement (CU) sont effectués sur deux échantillons dont la cohésion moyenne  $C = 0,615$  bars et l'angle de frottement moyen  $\varphi = 20,16^\circ$ . En revanche, un seul essai de type (UU) a été effectué dont les résultats sont ;  $C = 0,75$  bars et  $\varphi = 23^\circ$ .

Les valeurs moyennes du coefficient de compressibilité  $C_t$  et du coefficient de gonflement  $C_g$  sont de l'ordre de 0,081 et de 0,020, respectivement ; ces valeurs indiquent un sol peu compressible et peu gonflant, d'après la classification de Terzaghi et de Sanglerat.

Tableau 3 : Paramètres physico-mécaniques de laboratoire des argiles sableuses

|   | Paramètres géotechniques                                |                               | Nombre d' échantillons      | Valeurs |       |         | interprétation |                     |
|---|---|-------------------------------|-----------------------------|---------|-------|---------|----------------|---------------------|
|   |   |                               |                             | Min     | Max   | Moyenne |                |                     |
| Paramètres physiques                          | Teneur en eau naturelle <b>W</b> (%)                    |                               | 3                           | 13,00   | 20,46 | 16,22   | Détrempé       |                     |
|   | Degré de saturation : <b>Sr</b> (%)                     |                               |                             | 83,00   | 100   | 92,25   |                |                     |
|   | poids volumique sec : $\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )    |                               |                             | 1,70    | 1,93  | 1,83    | Dense          |                     |
|   | Poids volumique humide : $\gamma_h$ (t/m <sup>3</sup> ) |                               | 2                           | 2,05    | 2,13  | 2,09    |                |                     |
|   | granulométrie   | % de passant à <b>2 mm</b>    |                             | 3       | 58    | 100     | 85,56          | Sol fin             |
|   |   | % de passant à <b>0,080mm</b> |                             | 1       | -     | -       | 75,73          |                     |
|   |   | % de passant à <b>4µ</b>      |                             | 1       | -     | -       | 94,80          |                     |
|   | Limites d' Atterberg                                    | <b>W<sub>L</sub></b> (%)      |                             | 3       | 35    | 40      | 37,36          | Hautement plastique |
|   |   | <b>W<sub>P</sub></b> (%)      |                             |         | 17    | 20      | 18,39          |                     |
|   |   | <b>I<sub>P</sub></b> (%)      |                             |         | 15    | 23      | 18,96          |                     |
| Indice de consistance:<br>$I_C=(W_L - W)/I_P$ |   |                               | 3                           | 0,88    | 1,20  | 1,05    | Consistant     |                     |
| Paramètres mécaniques                         | Cisaillement Rectiligne                                 | <b>CU</b>                     | C (bars)                    | 2       | 0,05  | 1,18    | 0,615          | Resistance moyenne  |
|   |   |                               | $\phi$ (degré)              |         | 9,33  | 31      | 20,16          |                     |
|   |   | <b>UU</b>                     | C (bars)                    |         | -     | -       | 0,75           | Resistance moyenne  |
|   |   |                               | $\phi$ (degré)              |         | -     | -       | 23             |                     |
|   | Compressibilité à l' oedomètre                          |                               | <b>P<sub>C</sub></b> (bars) |         | -     | -       | 1,30           | Peu compressible    |
|   |   |                               | <b>C<sub>t</sub></b>        |         | -     | -       | 0,081          |                     |
| <b>C<sub>g</sub></b>                          |   |                               | -                           |         | -     | 0,020   | Peu gonflant   |                     |

III.2.3.2. Formation 2 : Argile limono-sableuse

Les valeurs des paramètres physico-mécaniques sont résumées dans le tableau 3

a) Paramètres physiques

Les valeurs de la teneur en eau sont comprises entre 16.80 et 20.80 % avec une teneur moyenne de 18.66 % et un degré de saturation moyen de 93% ; notre sol peut alors être

qualifié de sol détrempe, d'après la classification de Terzaghi. Les valeurs du poids volumique sec, varient entre 1.775 et 1.720 t/m<sup>3</sup> avec une valeur moyenne de 1.75 t/m<sup>3</sup>, et une valeur moyenne du poids volumique humide de 2.092 t/m<sup>3</sup>. Ces valeurs indiquent un sol dense.

Du point de vue granulométrique, les échantillons analysés ont mis en évidence un sol fin, d'après la classification de LCPC, avec un pourcentage des particules inférieures à 80  $\mu\text{m}$  variant entre 64 % et 92 % avec une moyenne de 79 %. Le fuseau granulométrique (figure 20), indique une forte proportion d'éléments fins et un faible pourcentage de la fraction sableuse, confirmant qu'on est en présence d'argile limono-sableuse.

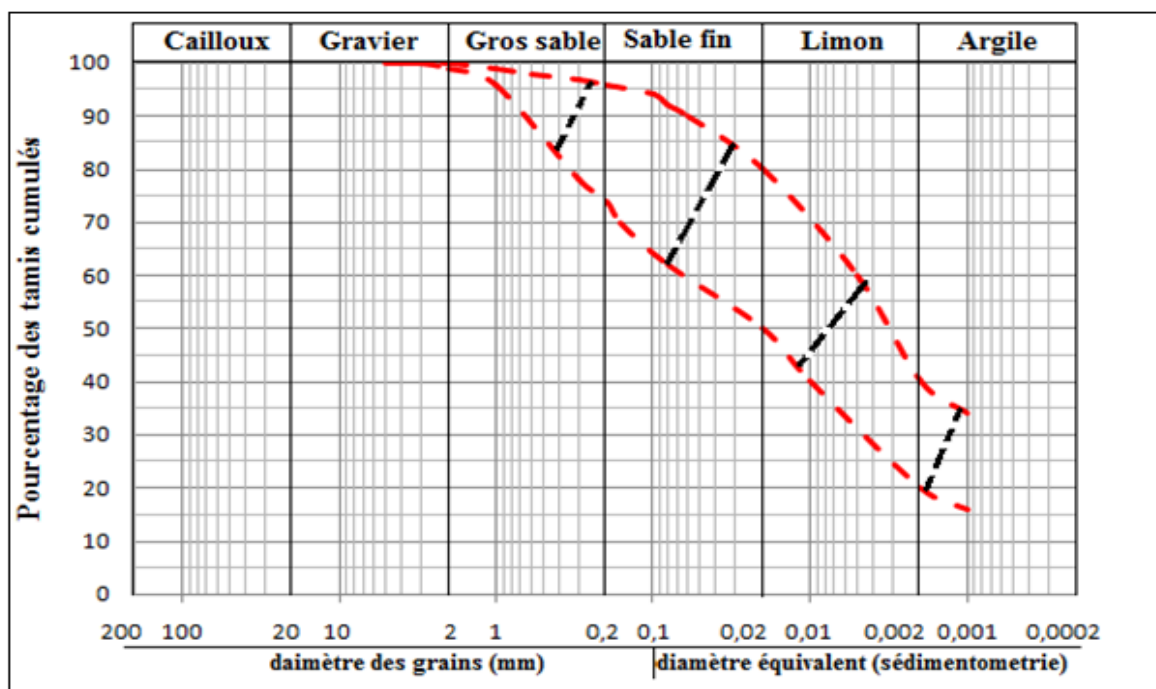


Figure 20: Fuseau granulométrique de l'argile limono-sableuse

Les limites de liquidité  $W_L$  sont comprises entre 39 et 41,25 % avec une valeur moyenne égale à 40,29 %, l'indice de plasticité  $I_P$  varie de 18,75 à 19,35 % avec une valeur moyenne de l'ordre de 19,10 % ; d'après la classification d'Atterberg, ce sol est de haute plasticité.

Les couples  $W_L$ - $I_P$  sont situés au dessus de la ligne 'A', montrant que le sol s'intègre dans le domaine des argiles de moyenne plasticité, d'après le diagramme de Casagrande (figure 21). L'indice de consistance  $I_C$ , varie entre 1,01 et 1,18 avec une valeur moyenne de 1,08, caractérisant un sol consistant, selon Atterberg.

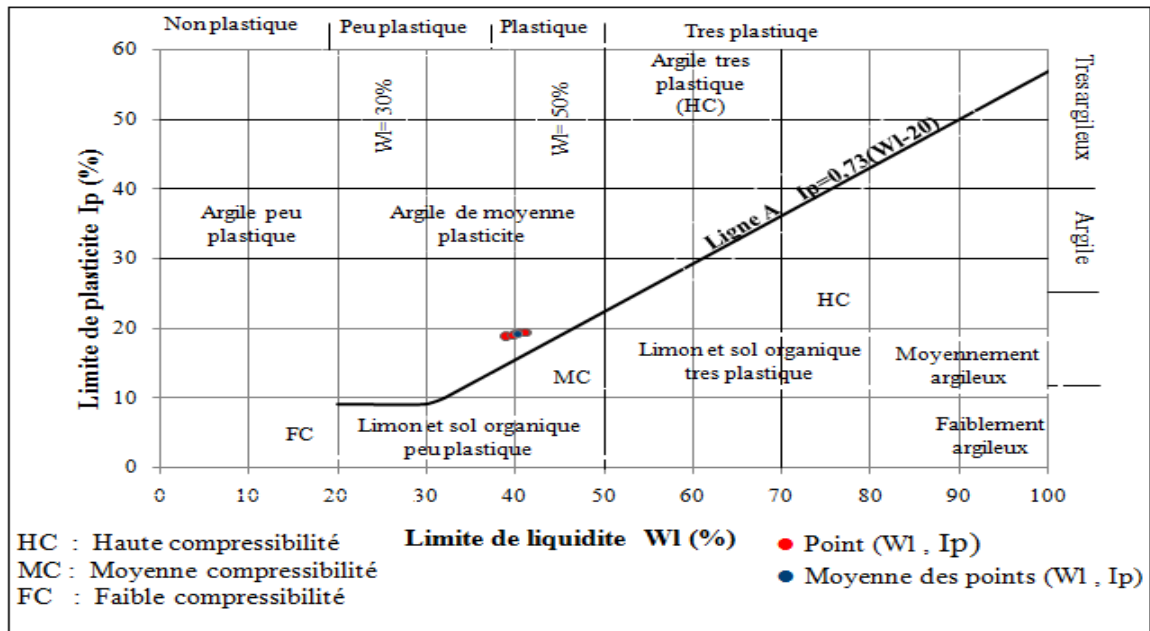


Figure 21: Diagramme de plasticité de l'argile limono-sableuse

**b) paramètres mécaniques**

Les essais de cisaillement, de type CU, effectués sur quatre échantillons, ont mis en évidence une cohésion  $C$  moyenne de 0,45 bars et un angle de frottement moyen de  $19,18^\circ$ , reflétant une résistance moyenne du sol.

Les essais oedométriques ont donné un coefficient de compressibilité  $C_c$  variant entre 0,15 et 0,23, avec une valeur moyenne de 0,19, indiquant un sol de compressibilité moyenne, d'après Terzaghi. Le coefficient de gonflement  $C_g$  est compris entre 0.019 et 0.064 avec une moyenne de 0.041, indiquant un sol gonflant, d'après Sanglerat.

Tableau 4 : Paramètres physico-mécaniques de laboratoire des argiles limono-sableuses

|   | Paramètres géotechniques                    |                        | Nombre d' échantillons | Valeurs |       |         | Interprétation          |                     |
|---|---|------------------------|------------------------|---------|-------|---------|-------------------------|---------------------|
|   |   |                        |                        | Min     | Max   | Moyenne |                         |                     |
| Paramètres physiques                      | Teneur en eau naturelle $W(\%)$             |                        | 6                      | 16.80   | 20.80 | 18.66   | Détrempé                |                     |
|   | Degré de saturation : $S_r (\%)$            |                        | 7                      | 85      | 100   | 93      |                         |                     |
|   | poids volumique sec : $\gamma_d (t/m^3)$    |                        | 7                      | 1.720   | 1.775 | 1.745   | Moyenne                 |                     |
|   | Poids volumique humide : $\gamma_h (t/m^3)$ |                        |                        | 20.50   | 21.90 | 2.092   |                         |                     |
|   | granulométrie                               | % de passant à 2 mm    |                        | 6       | 91    | 100     | 97.25                   | Sol fin             |
|   |   | % de passant à 0,080mm |                        |         | 64    | 92      | 79                      |                     |
|   |   | % de passant à 4 $\mu$ |                        |         | -     | -       | -                       |                     |
|   | Limites d' Atterberg.                       | $W_L (\%)$             |                        | 6       | 39    | 41.25   | 40.29                   | Hautement plastique |
|   |   | $W_P (\%)$             |                        |         | 17.07 | 21.50   | 20.38                   |                     |
|   |   | $I_P (\%)$             |                        |         | 18.75 | 19.35   | 19.10                   |                     |
| Indice de consistance : $I_C = W_L - W/P$ |   |                        | 6                      | 1.01    | 1.18  | 1.08    | Consistant              |                     |
| Paramètres mécaniques                     | Cisaillement Rectiligne                     | CU                     | $C$ (bars)             | 0.40    | 0.51  | 0.45    | Resistance moyenne      |                     |
|   |   |                        | $\phi$ (degrés)        | 17.50   | 21.70 | 19.18   |                         |                     |
|   | Compressibilité à l' oedomètre.             |                        | $P_C$ (bars)           | 1.48    | 3.40  | 2.44    | Compressibilité moyenne |                     |
|   |   |                        | $C_t$                  | 0.15    | 0.23  | 0.19    |                         |                     |
|   |   |                        | $C_g$                  | 0.019   | 0.064 | 0.041   |                         | Sol gonflant        |

### III.2.3.3. Formation 3 : Argile bioclastique

Les valeurs des paramètres physico-mécaniques de cette formation sont représentées dans le tableau 5.

#### a) Paramètres physiques

Les valeurs de la teneur en eau sont comprises entre 16,30 et 18,90 % avec une teneur moyenne de 16,98 % et un degré de saturation moyen de 96,33%, ces résultats caractérisent un sol détrempe, d'après la classification de Terzaghi. Le poids volumique sec varie entre

1.80 et 1.89 t/m<sup>3</sup> avec une valeur moyenne de 1.84 t/m<sup>3</sup>. La valeur moyenne du poids volumique humide est de 2,15 t/m<sup>3</sup>. Ces valeurs indiquent un sol dense.

Du point de vue granulométrique, Les échantillons testés présentent un pourcentage élevé de fines, variant entre 75 et 88 % avec une moyenne de 76,56 % (figure 22); cela indique un sol fin, d'après la classification de LCPC.

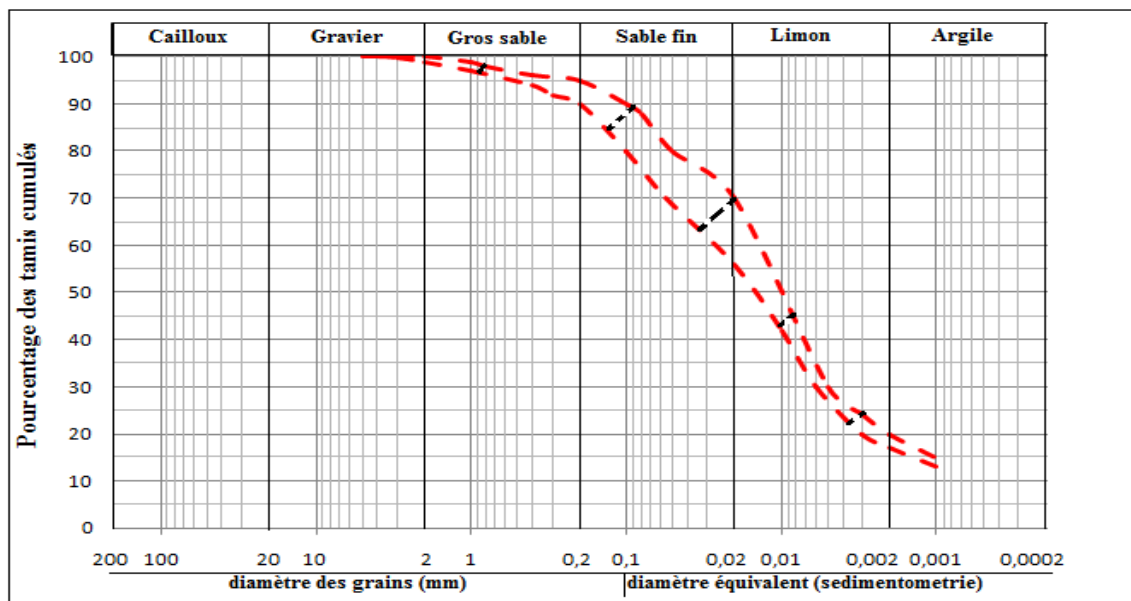


Figure 22: Fuseau granulométrique de l'argile bioclastique

Les limites de liquidité  $W_L$  sont comprises entre 31,42 et 39,85 % avec une valeur moyenne 35,17 %. L'indice de plasticité  $I_P$  varie de 14,25 à 19,20 % avec une valeur moyenne de 16,96 % ; d'après la classification d'Atterberg, ce sol est moyennement plastique.

Les couples  $W_L - I_P$  sont situés au dessus de la ligne 'A', montrant que le sol s'intègre dans le domaine des argiles de moyenne plasticité, d'après le diagramme de Casagrande (figure 23). L'indice de consistance  $I_C$  varie entre 1,06 et 1,20 avec une valeur moyenne de 1,13, cela nous permet de caractériser ce sol comme consistant selon Atterberg.

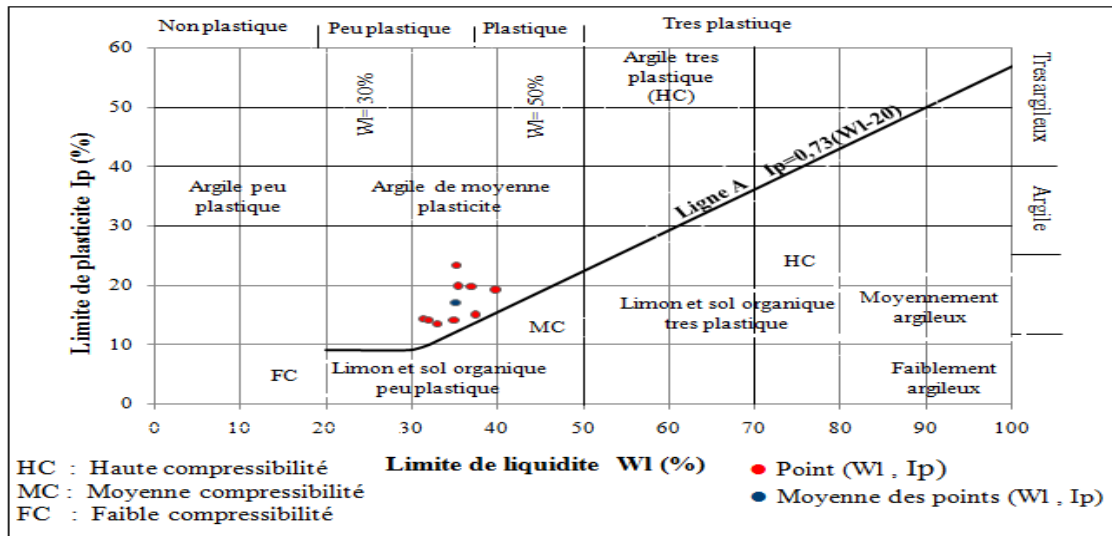


Figure 23 : Diagramme de plasticité de Casagrande de l'argile bioclastique

**b) paramètres mécaniques**

Les essais de résistance au cisaillement, de type consolidé non drainé (CU), effectués sur quatre échantillons ont mis en évidence une cohésion  $C$  moyenne de 1,74 bars et un angle de frottement moyen de  $15,51^\circ$  reflétant une bonne résistance du sol.

L'analyse des résultats de l'essai oedométrique révèle un sol non gonflant et peu compressible avec un coefficient de gonflement  $C_g$  moyen de 0,016 et un coefficient de compressibilité  $C_c$  moyen de 0,060.

Tableau 5 : Paramètres physico-mécaniques de laboratoire de l'argile bioclastique

|   | Paramètres géotechniques                    |                        | Nombre d' échantillons | Valeurs |       |         | Interprétation       |                       |
|---|---|------------------------|------------------------|---------|-------|---------|----------------------|-----------------------|
|   |   |                        |                        | Min     | Max   | Moyenne |                      |                       |
| Paramètres physiques                    | Teneur en eau naturelle $W(\%)$             |                        | 9                      | 16.30   | 18.70 | 16.98   | Détrempé             |                       |
|   | Degré de saturation : $S_r (\%)$            |                        | 9                      | 84      | 100   | 96.33   |                      |                       |
|   | poids volumique sec : $\gamma_d (t/m^3)$    |                        | 9                      | 1.80    | 1.89  | 1.845   | Dense                |                       |
|   | Poids volumique humide : $\gamma_h (t/m^3)$ |                        |                        | 2.10    | 2.19  | 2.155   |                      |                       |
|   | granulométrie                               | % de passant à 2 mm    |                        | 9       | 98    | 100     | 98.89                | Sol fin               |
|   |   | % de passant à 0,080mm |                        |         | 75    | 88      | 76.56                |                       |
|   |   | % de passant à 4 $\mu$ |                        |         | -     | -       | -                    |                       |
|   | Limites d' Atterberg                        | $W_L (\%)$             |                        | 9       | 31.42 | 39.85   | 35.17                | moyennement plastique |
|   |   | $W_P (\%)$             |                        |         | 16.47 | 20.46   | 18.75                |                       |
|   |   | $I_P (\%)$             |                        |         | 14.25 | 19.20   | 16.96                |                       |
| Indice de consistance : $I_C=W_L-W/I_P$ |   |                        | 9                      | 1.06    | 1.20  | 1.13    | Consistant           |                       |
| Paramètres mécaniques                   | Cisaillement Rectiligne                     | CU                     | $C$ (bars)             | 1.60    | 1.82  | 1.74    | Faible résistance    |                       |
|   |   |                        | $\phi$ (degrés)        | 11.30   | 18.60 | 10.51   |                      |                       |
|   | Compressibilité à l' oedomètre              |                        | $P_C$ (bars)           | 1.40    | 3.73  | 2.74    | Sol peu compressible |                       |
|   |   |                        | $C_t$                  | 0.040   | 0.074 | 0.060   |                      |                       |
|   |   |                        | $C_g$                  | 0,012   | 0.020 | 0.016   | Sol peu gonflant     |                       |

### III.2.4. Unité IV : Marnes

Dans les rapports d'étude de sol qu'on a récoltés, aucun essai physico-mécanique de laboratoire n'a été réalisé sur cette unité. Les seuls essais que nous avons sur ces marnes sont les essais pressiométriques. Trois formations ont été distinguées.

**III.2.4.1. formation 1 : Marnes peu plastiques****Essai pressiométrique**

Les essais réalisés au niveau de cette formation ont donné un module pressiométrique (E) compris entre 28,32 et 47,89 bars et une pression limite (Pl) variant entre 3,56 et 7,15 bars, ce qui donne un rapport E/Pl variant entre 3,96 et 8,73, indiquant un sol sous-consolidé.

**III.2.4.2. Formation 2 : Marnes limoneuses****Essai pressiométrique**

Les essais ont révélé les résultats suivants :

$$26,91 < E < 78,71 \text{ bars}$$

$$4,81 < Pl < 8,5 \text{ bars}$$

$$4,42 < E/Pl < 13,33$$

Ces résultats révèlent un sol sous-consolidé à normalement consolidé.

**III.2.4.3. Formation 3 : Marnes sableuses**

Les essais effectués ont donné un module pressiométrique (E) variant entre 115,2 et 261,27 bars, et une pression limite (P) comprise entre 13,39 et 16,31 bars. Le rapport E/Pl est compris entre 7,16 et 19,52.

Les résultats montrent un sol normalement consolidé à sur-consolidé selon G. Filliat.

**III.2.4.4. Formation 4 : Marnes argileuses**

Les résultats des essais pressiométriques ont donné ce qui suit :

$$99,58 < E < 111,92 \text{ bars}$$

$$10,47 < Pl < 13,31 \text{ bars}$$

$$7,50 < E/Pl < 10,17$$

Ces résultats indiquent un sol normalement consolidé d'après G. Filliat.

### III.2.5. Unité V : Vases

Dans les rapports d'étude de sol qu'on a récoltés, aucun essai physico-mécanique de laboratoire n'a été réalisé sur cette unité. Les seuls essais que nous avons sur ces vases sont les essais pressiométriques.

#### Essais pressiométrique

Cet essai nous a donné les résultats suivants :

$$4,79 < E < 160,83 \text{ bars}$$

$$0,42 < P_l < 12,92 \text{ bars}$$

$$3,96 < E/P_l < 24,43$$

D'après ces résultats, on conclut que ce sol est altéré à sur-consolidé.

### III.3. Essais in situ

#### III.3.1. Essais SPT (standard penetration test)

Dix essais SPT ont été réalisés sur l'unité des sables, au niveau de trois sondages Sc37, Sc31 et Sc33. Le nombre de coups corrigé varie de 18 à 29 (tableau 6). Ces résultats révèlent un sol de compacité moyenne ( $N'$  varie de 9 à 30), d'après Terzaghi et Peck.

**Tableau 6 :** Tableau récapitulatif des résultats d'essais SPT sur l'unité des sables

| Sondages | Profondeur | Nombre de coups N | Nombre de coups corrigés N' | Interprétation      |
|----------|------------|-------------------|-----------------------------|---------------------|
| Sc 31    | 3          | 29                | 21                          | Moyennement compact |
|          | 6          | 29                | 21                          |                     |
|          | 9          | 32                | 24                          |                     |
| Sc33     | 3          | 27                | 21                          | Moyennement compact |
|          | 6          | 26                | 20                          |                     |
|          | 9          | 25                | 18                          |                     |
|          | 12         | 28                | 20                          |                     |
| Sc37     | 3          | 29                | 23                          | Moyennement compact |
|          | 6          | 36                | 29                          |                     |
|          | 9          | 32                | 27                          |                     |

### III.3.2. Essais de pénétration dynamique

L'analyse des différentes courbes pénétrométriques a permis de caractériser la variation de la résistance en pointe ( $R_p$ ) pour chaque unité :

- ✓ **Unité I :** l'analyse des pénétrogrammes réalisés au niveau de cette unité montre des résistances en pointe ( $R_p$ ) qui sont généralement supérieures à 40 bars à partir de 1 mètre de profondeur, ceci dénote un sol de bonne portance. Dans l'ensemble, les  $R_p$  varient de 15 à 400 bars avec une moyenne de 60 bars. Les refus ont été enregistrés au niveau de quelques pénétrogrammes à 5,5 et à 11 mètres de profondeur, dus à la présence d'un passage de bloc de grès.
- ✓ **Unité II :** généralement, les résistances en pointe ( $R_p$ ) dépassent les 40 bars, caractérisant un sol de bonne portance. Ces résistances varient de 28 à 480 bars dont les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des Bananiers. Les refus ont été enregistrés à des profondeurs allant de 2, 4 à 6 mètres.
- ✓ **Unité III :** l'analyse des pénétrogrammes qui concernent cette unité révèle des résistances en pointe qui sont généralement supérieures à 40 bars, dénotant un sol de bonne portance. Ces résistances varient de 20 à 220 bars de 0 à 6,5 mètres de profondeur. Au niveau d'Oued El Harrach, les  $R_p$  passent de 72 à 240 bars entre 25 et 28 mètres de profondeur. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées au niveau des Cinq Maisons. Notons que les refus sont enregistrés entre 5 et 28 mètres de profondeur.
- ✓ **Unité IV :** deux types d'essais ont été réalisés
  - 1) Pénétration statique : réalisée au niveau de la rive droite d'Oued El Harrach. Les pénétrogrammes ont montrés que de 18 à 22 mètres de profondeur, les  $R_p$  varient de 6 à 30 bars avec une moyenne de 12 bars, et sont supérieures à 50 bars de 22 à 28 mètres de profondeur. Le refus est observé vers 28 mètres de profondeur.

- 2) Pénétration dynamique : réalisée au niveau de la rive droite d'Oued El Harrach entre 5 et 8 mètres de profondeur. Les valeurs de  $R_p$  varient de 30 à 66 bars avec une moyenne de 44 bars, indiquant un sol de bonne compacité.

✓ **Unité V** : deux types d'essais ont été réalisés

- 1) Pénétration statique : l'analyse des pénétrogrammes révèle un sol de très faible résistance où les  $R_p$  restent constantes à 5 bars de 2 jusqu'à 8 mètres de profondeurs puis elles augmentent en dépassant les 50 bars allant jusqu'à 150 pour atteindre le refus.
- 2) Pénétration dynamique : Une partie des pénétrogrammes donnent des valeurs de  $R_p$  d'environ 10 bars, ce qui dénote un sol de faible résistance. En revanche, certaines courbes montrent une meilleure résistance avec des valeurs de  $R_p$  variant de 35 à 80 bars.

**[ Conclusions générales ]**

## **Conclusions générales**

Afin de mettre la lumière sur la qualité des sols constituant notre zone d'étude, nous récapitulons les résultats obtenus, concernant la lithologie et l'analyse géotechnique.

Concernant l'étude sismotectonique, notre zone d'étude se situe dans la zone III, de forte sismicité ; il s'avère donc indispensable de respecter les règles parasismiques algériennes (RPA 2003).

La caractérisation lithologique a fait ressortir un sous-sol hétérogène, formé essentiellement de six unités, de différentes épaisseurs et se trouvant à différentes profondeurs :

- Remblai et terre végétale ;
- Sable ; variant de fin, moyen à grossier ;
- Sable grésifié ;
- Argile ; constituée de l'argile sableuse, limono-sableuse et bioclastique ;
- Marne ; constituée de marnes sableuses, limoneuses, argileuses et peu plastiques ;
- Vase.

La caractérisation géotechnique a fait l'objet d'analyse des essais de laboratoire et in situ effectués sur cinq unités dont les résultats sont résumés comme suit ;

- Unité de sable : il s'agit d'un sol dense, détrempee, de plasticité moyenne, peu compressible et peu gonflant.
- Unité de sable grésifié : il s'agit d'un sol pulvérulent.
- Unités des argiles : il s'agit d'un sol dense, détrempee, de plasticité moyenne, peu compressible et peu gonflant.
- Unité des marnes : il s'agit d'un sol sous-consolidé à sur-consolidé.
- Unité des vases : altérée et de faibles propriétés géotechniques.

Les essais à la pénétration dynamique ont données des sols de bonne résistance en pointe, quasiment, sur toute la zone d'étude, indiquant des sols de bonne portance à l'exception d'Oued El Harrach, sur les berges duquel on a enregistré des très faibles résistances.

Les résultats des essais oedométriques obtenus ont donné des tassements généralement admissibles.

Tous ces résultats, nous amènent à conclure que les sols de notre zone d'étude sont généralement bons et constructibles avec des fondations superficielles (0-3 mètres) à l'exception des rives d'Oued El Harrach où les sols sont de faible résistance.

## **Références Bibliographiques**

## Références Bibliographiques

**Aymé**, Collaborateur du Service de la Carte Géologique de l'Algérie .Directeur : M. G.bétier, Ingénieur General des Mines, puis M. B. Schnell, Ingénieur en Chef des Mines.(Levés géologiques effectués entre 1948 et 1962)

**Ben Boudiaf Y et Hadjarab R, (2006)**. Caractérisation géotechnique d'une portion littorale d'El djamila ; conséquences sur l'aménagement. *Mémoire d'ingénieur ENSSMAL (ex ISMAL)*.

**Benallal et Ourabia, (1989)**. Monographie géologique et géotechnique de la région. Office des publications.

**Benidir et Fernane, (2010)**. Détermination des Fréquences de résistance du site par la méthode H/V bruit de fond dans la région d'Hussein Day. *Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL*.

**Benziada M, (2003)**. Hydrogéologie de la plaine de la Mitidja orientale (Algérie), bulletin des sciences géographiques / n°11-avril 2003. Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER).

**CGS** : Centre Nationale de Recherche Appliquée en Génie-Parasismique étude de microzonage sismique de la wilaya d'Alger,

**Géomatrix, (2006)**. Analyse probabiliste de l'aléa sismique de la wilaya d'Alger.

**Hamidouche , (2009)**. Evaluation des effets de site dans la zone des Pins Maritimes : Conséquences sur son urbanisation. *Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL*.

**IRSN, (2003)**. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

**Khedimi F., Abderrahmani K, (2008)**. Baie d'Alger : Etude de quelques paramètres de gestion du littoral et apport de la télédétection. *Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, 65P*.

**Meziane A., Balit E. (2006)**. Etude géologique, géotechnique et analyse des procédés de creusement et de soutènement du tunnel du métro d'Alger (tronçon : Hamma-Hai el Badr) *Mémoire d'ingénieur-USTHB-Alger*,

**Meziane A., Balit E. (2006).** Etude géologique, géotechnique et analyse des procédés de creusement et de soutènement du tunnel du métro d'Alger (tronçon : Hamma-Hai el Badr) *Mémoire d'ingénieur-USTHB-Alger.*

**RPA99/Version (2003).** Règles parasismiques algériennes.

**Saci L, (2011).** Etude de l'évolution des paramètres dynamiques des sols à partir d'essais géophysique. *Mémoire de magistère université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou (LGEA).*

**Semmane F.(2005).** Caractérisation de la source sismique à partir des données en champ proche. Application au séisme de Tottori (Japon) et Boumèrdes (Algérie). *Thèse de doctorat, université Joseph Fourier, Grenoble I. 178P.*

**Yelles-Chaouche et al, (2006).** Comptes Rendus Géosciences, Volume 338, Issues 1-2, January 2006, Pages 126-139.

**[ Annexe ]**

### Tableau relatif aux paramètres physiques

| Paramètre d'identification  | Unité             | Symbole        |
|-----------------------------|-------------------|----------------|
| Teneur en eau               | %                 | W              |
| Degré de saturation         | %                 | Sr             |
| Poids volumique sec         | t/ m <sup>3</sup> | $\gamma_d$     |
| Poids volumique humide      | t/m <sup>3</sup>  | $\gamma_h$     |
| Passant au tamis de 2 mm    | %                 | 2mm            |
| Passant au tamis de 0.08 mm | %                 | 0.08mm         |
| Passant au tamis de 2       | %                 | 2              |
| Limite de liquidité         | %                 | W <sub>L</sub> |
| limite de plasticité        | %                 | W <sub>P</sub> |
| Indice de plasticité        | %                 | I <sub>P</sub> |
| Indice de consistance       | -                 | I <sub>C</sub> |

### Essais d'identification physique

#### Tableau relatif au degré de saturation du sol d'après Terzaghi :

| Degré de saturation (Sr) | Appréciation      |
|--------------------------|-------------------|
| =100 %                   | Saturé            |
| 76 < Sr < 99 %           | Détrempé          |
| 51 < Sr < 75 %           | Mouillé           |
| 26 < Sr < 50 %           | Humide            |
| 01 < Sr < 25 %           | Légèrement humide |
| Sr =0 %                  |                   |

**Tableau de poids volumique sec :**

| <b>Poids volumique sec <math>\lambda_d</math></b> | <b>Appréciation</b> |
|---|---------------------|
| $\gamma_d < 1.6$                                  | Faible              |
| $1.6 < \gamma_d < 1.8$                            | Moyenne             |
| $\gamma_d > 1.8$                                  | Dense               |

**Tableau relatif à la plasticité (Atterberg )**

| <b>Indice de plasticité (<math>I_p</math>%)</b> | <b>Appréciation</b>   |
|---|-----------------------|
| $I_p = 0$                                       | Plasticité nulle      |
| $I_p < 07 \%$                                   | Peu plastique         |
| $07 < I_p < 17 \%$                              | Moyennement plastique |
| $I_p > 17 \%$                                   | Hautement plastique   |

**Tableau de consistance**

| <b>Indice de consistance (<math>I_c</math>%)</b> | <b>Etat de sol</b> |
|--|--------------------|
| $I_c > 0$  | Pâteux             |
| $0.25 < I_c < 0.50$                              | Mou                |
| $0.50 < I_c < 0.75$                              | Ferme              |
| $0.75 < I_c < 1.00$                              | mi-dur             |
| $I_c < 1.00$                                     | Consistance        |

**Tableau relatif au pourcentage des passants à 0.08 mm (LCPC)**

| <b>Pourcentage des passants à 0.08 mm</b> | <b>Classification</b> |
|---|-----------------------|
| >50 %                                     | Sol fin               |
| <50%                                      | Sol pulvérulent       |

**Essais de compression**

**Tableau relatif à la compressibilité des sols**

| <b>Indice de compressibilité (<math>C_c</math>)</b> | <b>Appréciation</b>            |
|---|--------------------------------|
| $C_c < 0.02$  | Sol incompressible             |
| $0.02 < C_c < 0.05$                                 | Sol très compressible          |
| $0.05 < C_c < 0.10$                                 | Sol peu compressible           |
| $0.10 < C_c < 0.20$                                 | Sol de compressibilité moyenne |
| $0.20 < C_c < 0.30$                                 | Sol assez compressible         |
| $0.30 < C_c < 0.50$                                 | Sol très compressible          |

**Tableau gonflant du sol (d'après Sanglerat) :**

| <b>Coefficient de gonflement (<math>C_g\%</math>)</b> | <b>Appréciation</b> |
|---|---------------------|
| $0.04 < C_g < 0.25$                                   | Sol gonflant        |
| $0.02 < C_g < 0.04$                                   | Sol peu gonflant    |

**Tableau relatif à l'état de consolidation des sols (d'après G. FLLIAT)**

| <b>Type de sol<br/>Etat du sol</b> | <b>Argile</b>   | <b>Limon</b>    | <b>Sable</b>    | <b>Sable et Gravier</b> |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|
| <b>Sur consolidé</b>               | $E/P1 \geq 15$  | $E/P1 \geq 14$  | $E/P1 \geq 12$  | $E/P1 \geq 10$          |
| <b>Normalement consolidé</b>       | $8 < E/P1 < 15$ | $8 < E/P1 < 14$ | $7 < E/P1 < 12$ | $6 < E/P1 < 10$         |
| <b>Sous consolidé</b>              | $5 < E/P1 < 8$  | $5 < E/P1 < 8$  | $4 < E/P1 < 7$  | $3 < E/P1 < 6$          |
| <b>Altéré ou remanié</b>           | $E/P1 < 5$      | $E/P1 < 5$      | $E/P1 < 4$      | $E/P1 < 3$              |