

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



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEURE D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER  
OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

## Caractérisation Géotechnique et Géophysique du Socle d'Alger

Préparé par :

- AMROUNE Radia
- BERKAINE Dahbia

Devant le jury suivant :

Mr GUERFI. M	Maître de Conférences (ENSSMAL)	Président
Mr HELLEL. M	Maître de Conférences (ENSSMAL)	Promoteur
Mr MACHANE. D	Maître de Recherches (CGS)	Examineur

Promotion : 2013/2014

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



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEURE D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER  
OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

## Caractérisation Géotechnique et Géophysique du Socle d'Alger

Préparé par :

- AMROUNE Radia
- BERKAINE Dahbia

Soutenu le ??/06 /2014 devant le jury suivant :

Mr	(ENSSMAL)	Président
Mr HELLEL	(ENSSMAL)	Promoteur
Mr	(ENSSMAL)	Examinateur
Mme	(ENSSMAL)	Examinatrice

Promotion : 2013/2014

# *Remerciement :*

*Tout d'abord, nous remercions Dieu pour nous avoir donné le courage et la patience nécessaire afin d'achever ce travail.*

*Nous tenons à remercier chaleureusement tous ceux qui ont participé à l'élaboration de ce modeste travail, en commençant par :*

*Mr HELLÉL notre promoteur qui nous a soutenus tout au long de notre travail et nous a guidé dans toutes les démarches.*

*Mr GUERFI d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance, ainsi que Mr MACHANE de nous avoir honoré de sa présence, et d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nos vifs remerciements vont aussi au chauffeur de L'ENSSMAL Mr SIGMANE Kamel, et aux étudiants : ADJAL Mouhamed El Hassanin, BIAD Kouider, BRAIK Zinedine et YOUBI Tahar Mohamed Amine qui nous ont beaucoup aidé durant nos sorties sur terrain.*

*Nos profondes reconnaissances au personnel de la bibliothèque de L'ENSSMAL CHÉRIF, FATIMA et YUCEF...*

*Enfin nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'études.*

**DAHOUCHÉ & RADIA**



# Dédicaces

*À mes très chers parents pour leur affection et leurs précieux conseils, qui veillent toujours à ma réussite*

*À mes beaux frères AZDIN, BOUALLEM et ZIZOU*

*À mes chères sœurs ZAHWA et LILA*

*À ma belle sœur ZINA*

*À mon adorable neveu SALIM et mes plus chères nièces ROSA, MAYA, AYA et HIDA*

*À mon aimable «FATEH» ainsi que à toute sa famille et son équipe au CHU de Grenoble*

*Spécialement à mon binôme RADIA pour m'avoir aidé et soutenu.*

*À Docteur KHEJAR et le service chirurgical de la clinique « Les LILAS »*

*À tous mes autres proches et à mes amis*

*Dahouche*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*À mes chers parents : Vos prières et vos conseils m'ont suivi  
et m'ont permis d'atteindre le bout du chemin ; voyez à  
travers ce travail mon amour sincère et ma gratitude  
profonde.*

*À mes chers frères FAOUZI, KHALED et SID ALI  
À m'adorable sœur NADIA et sans oublier ces deux fils  
MOUHAMED ABD ELDJALIL, MOUHAMED  
ABDERRAOUF*

*À toute la famille AMROUNE*

*À mon binôme DAHOUCHE qui est sérieuse et toujours en  
bonne humeur*

*À tous mes proches et mes chers amis, et en particulier  
FIFITATI et RAMROUMATI.*

*À vous M. HELLEL M, mon promoteur : je vous garderai  
l'image de l'enseignant toujours sérieux et soucieux de  
transmettre à l'étudiant le sens de la rigueur et du travail*

*Radia*

<b>Sommaire</b>	<b>Page</b>
<b>Introduction Générale</b>	<b>11</b>
<b>CHAPITRE I : Généralités :</b>	
<b>I.1. Situation géographique et topographie de la zone d'étude.....</b>	<b>13</b>
<b>I-2. Aperçu géomorphologique.....</b>	<b>14</b>
<b>I-2-1. Le Massif d'Alger.....</b>	<b>14</b>
<b>I-2-2. Le Sahel d'Alger.....</b>	<b>14</b>
<b>I-2-3. La Plaine littorale orientale.....</b>	<b>14</b>
<b>I-2-4. Le Cordon littoral dunaire.....</b>	<b>14</b>
<b>I-2-5. La Plaine de la Mitidja.....</b>	<b>14</b>
<b>I.3. Aperçu géologique.....</b>	<b>16</b>
<b>I.3. a. Le Primaire.....</b>	<b>16</b>
<b>I.3. b. Le Secondaire.....</b>	<b>16</b>
<b>I.3. c. Le Tertiaire.....</b>	<b>16</b>
<b>I.3. d. Le Quaternaire.....</b>	<b>17</b>
<b>I.4. Aperçu hydrogéologique .....</b>	<b>19</b>
<b>I.5. Aperçu sismotectonique.....</b>	<b>21</b>
<b>I.5. a. Sismicité historique .....</b>	<b>21</b>
<b>I.5. b. Zonage sismique du territoire Algérien .....</b>	<b>23</b>
<b>I.5. c. Tectonique régionale et failles actives.....</b>	<b>24</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>26</b>
<b>CHAPITRE II : Caractérisation géologique et géotechnique du site d'étude</b>	
Introduction .....	28
<b>II.1. Géologie du site d'étude .....</b>	<b>28</b>

<b>II.2. Lithologie du sous-sol du site d'étude .....</b>	<b>29</b>
<b>II.2.1. Les roches métamorphiques du Primaire.....</b>	<b>32</b>
<b>II.2.2. Les marnes du Plaisancien.....</b>	<b>32</b>
<b>II.2.3. Les formations astiennes.....</b>	<b>32</b>
<b>II.2.4. Les formations quaternaires.....</b>	<b>32</b>
<b>II.3. Caractéristiques géotechniques des couches lithologiques du sous- sol.....</b>	<b>33</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>43</b>

### **CHAPITRE III : Détermination des fréquences de résonance du sol**

<b>Introduction .....</b>	<b>45</b>
<b>III.1. Généralité sur le bruit de fond et la méthode H/V.....</b>	<b>45</b>
<b>III.2. Acquisition des données de bruit de fond.....</b>	<b>47</b>
<b>III.3. Traitement des données.....</b>	<b>49</b>
<b>III.4. Résultats et interprétation.....</b>	<b>52</b>
<b>III.4.1. Distribution des fréquences de résonance du sol.....</b>	<b>53</b>
<b>III.4.2. Classification des courbes H/V en fonction de leur allure.....</b>	<b>54</b>
<b>III.4.3. Corrélation des fréquences propres du sol avec la lithologie.....</b>	<b>56</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>57</b>
<b>Conclusion Générale.....</b>	<b>59</b>
<b>Annexe.....</b>	<b>60</b>
<b>Références Bibliographies.....</b>	<b>72</b>

## **Liste des acronymes**

**ANRH:** Agence Nationale des Ressources Hydraulique.

**CGS:** Centre National de Recherche Appliquée en Génie parasismique, Alger.

**CRAAG:** Catalogue de la sismicité historique de l'Algérie.

**IRSN :** Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire

**LCPC:** Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussés.

**LGIT:** Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique, Grenoble.

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

**SESAME:** Site Effects Assessment using Ambient Excitations.

**TREVI:**TREVI Spa / TREVI ALGERIE EURL 09, Rue Djemila Hydra– Alger.

## Liste des figures

**Figure 1:** *Situation géographique de la zone d'étude. Une image satellitaire Google Earth (2013)*

**Figure 2:** *Les grands ensembles géomorphologiques de la région d'Alger [ANRH, 2006].*

**Figure 3:** *Carte géologique d'Alger et ses environs [JICA, 2006].*

**Figure 4:** *Les principaux bassins verseaux et le réseau hydrographique d'Alger (in Kaben, 2012)*

**Figure 5:** *Carte du niveau d'eau souterraine dans la région d'Alger [JICA, 2006].*

**Figure 6:** *Carte de zonage sismique du territoire national [RPA 99,2003]*

**Figure 7 :** *Carte sismotectonique de la région d'Alger (CRAAG, 1994) [in Cheikh Lounis.2011].*

**Figure 8:** *Cadre tectonique de la région d'Alger (Meghraoui, 1988) [in Hellel, 2010]*

**Figure 9:** *Lithostratigraphie du site d'étude, extraite de la carte géologique d'Alger (le service de la carte Géologique de l'Algérie, 1964)*

**Figure 10 :** *Plan d'implantation des sondages carottés et coupes lithologiques*

**Figure 11:** *Coupe lithologique corrélative AA', BB' (métro d'Alger)*

**Figure 12:** *Coupe lithologique corrélative CC' (collecteur intercommunal d'Alger).*

**Figure 13:** *Coupe lithologique corrélative DD' (C.H.U Mustapha Bacha).*

**Figure 14:** *Les carottes de marnes grises et d'argile sableuse (TREVI, 2012).*

**Figure 15:** *Fuseaux granulométriques des marnes du Plaisancien.*

**Figure 16:** *Classification des marnes dans le diagramme de Casagrande*

**Figure 17:** *Exemple de courbe intrinsèque obtenue pour les marnes plaisanciennes*

**Figure 18:** *Fuseaux granulométriques des argiles sableuses*

**Figure 19:** *Classification des argiles sableuses dans le diagramme de Casagrande*

**Figure 20:** *Exemple de courbe intrinsèque obtenue pour les argiles sableuses.*

**Figure 21:** *Appareillage utilisé pour l'enregistrement du bruit de fond.*

**Figure 22:** *Fiche de terrain pour les enregistrements H/V.*

**Figure 23 :** *Interface du logiciel geopsy. À droite la fenêtre de visualisation des trois composantes du signal, avec sélection des fenêtres de temps stationnaires (barres colorées), à gauche la fenêtre de paramétrisation, Les courbes colorées correspondent au rapport H/V calculé sur chaque fenêtre sélectionnée. La barre grise indique la fréquence propre du sol avec son écart type (nuances de gris).*

**Figure 24:** *La courbe H/V finale avec  $f_0$  la fréquence de résonance, écart type en traits discontinus et la moyenne en trait continu.*

**Figure 25 :** *Localisation des enregistrements H/V (ronds verts). Numéros des enregistrements (couleur orange). Une image satellitaire Google Earth (2013).*

**Figure 26 :** *(a) pic H/V d'origine industrielle à gauche et son amortissement à droite ; (b) pic H/V d'origine naturelle à gauche et son amortissement à droite. [in Hellel.2010]*

**Figure 27 :** *Carte de distribution des fréquences propres du sol dans Alger centre. Les ronds noirs correspondent aux enregistrements H/V et les chiffres jaunes correspondent aux numéros des enregistrements H/V*

**Figure 28:** *Exemple de courbes plates H/V de la catégorie I*

**Figure 29 :** *Exemple de courbes H/V exhibant un pic "peu clair" de la catégorie II*

**Figure 30 :** *Exemple de courbes H/V exhibant un pic clair de la catégorie III*

## Liste des tableaux

**Tableau 1:** *Principaux séismes produits au cours de l'histoire de l'Algérie [CGS,1998, in JICA 2006].*

**Tableau 2 :** *Propriété physiques des marnes Plisanciennes*

**Tableau 3 :** *Propriétés mécaniques de la marne*

**Tableau 4 :** *Propriétés mécaniques in situ de la marne plisancienne*

**Tableau 5 :** *Propriété physiques des argiles sableuses*

**Tableau 6 :** *Propriétés mécaniques des argiles sableuses*

**Tableau 7:** *Origine de bruit de fond en fonction de la fréquence (Bonneyoy-Claudet, 2004)*

# **Introduction Générale**

Au cours de l'histoire, la sismicité en Algérie s'est localisée dans la partie nord, elle est causée par l'affrontement des plaques africaine et eurasiatique. L'étude de cette sismicité historique a permis de préciser les caractéristiques des séismes Algériens, qui sont généralement superficiels et qui ne dépassent pas les 20 km de profondeur ce qui les rend plus dangereux et perceptibles par la population (Hamoud Beldjoudi 2011). Beaucoup des séismes dévastateurs récents ont ainsi vu leurs conséquences alourdies par les effets de site (séismes de Mexico en 1985, Turquie en 1999 et Algérie en 2003...etc.) (Anne-Marie Duval 2007).

Les effets de site sont des phénomènes qui se traduisent par une augmentation de l'amplitude et de la durée de la secousse sismique dans des différents milieux géologiques à géométrie complexe. L'évaluation des effets de site et les études de l'alea sismique permettent la réduction du risque sismique dans une zone donnée.

L'objectif principal de notre travail est d'évaluer les effets de sites dans la région d'Alger centre, en mesurant les fréquences de résonance du sol. A cet effet, nous avons réalisé 84 enregistrements H/V-bruit de fond durant 5 jours.

Les résultats de notre travail vont être présentés en trois parties :

La première partie traite des données liées à la situation géographique, la géologie, l'hydrogéologie, et la sismotectonique du site d'étude. Ces données ont été récoltées au niveau de différents organismes (ANRH, LNHC, LCTP, ENSSMAL,...).

La seconde, résume la géologie de surface, la lithologie du sous-sol ainsi que les propriétés géotechniques des différentes couches.

La dernière partie évalue les fréquences de résonance du sol à partir de l'acquisition et le traitement d'enregistrements de bruit de fond, ensuite elle synthétise et interprète les résultats.

Enfin, ce travail s'achève par des conclusions et des recommandations.

# CHAPITRE I :

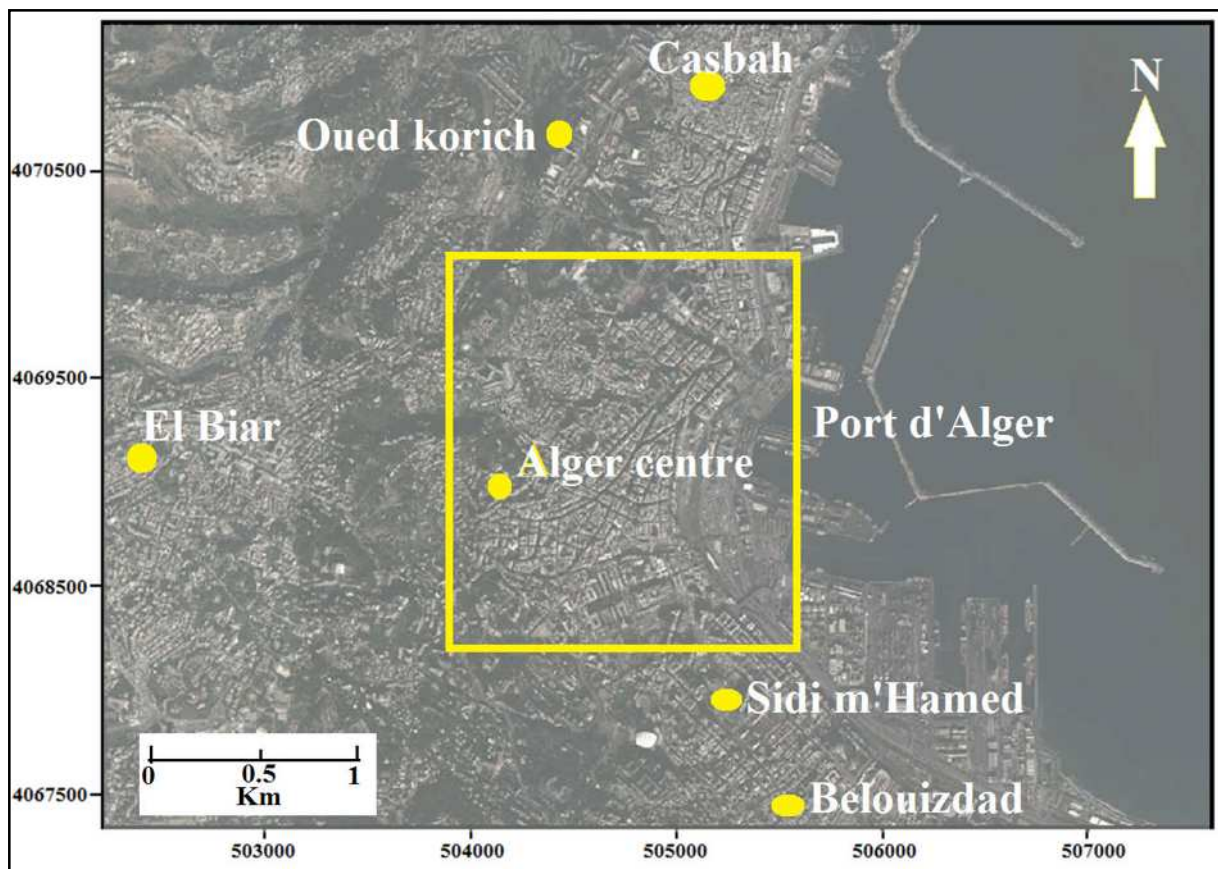
## Généralités

## I.1. Situation géographique et topographie de la zone d'étude :

La commune d'Alger centre est située dans la partie Ouest de la baie d'Alger (figure 1).

Elle est limitée :

- Au Nord par les communes de la Casbah et d'Oued Kouraiche
- Au Sud par la commune de Sidi M'hamed et celle de Belouizded
- À l'Est par le port d'Alger et la gare Agha
- À l'Ouest par la commune d'El -Biar



**Figure 1:** Situation géographique de la zone d'étude.une image satellitaire Google Earth (2013)

## **I-2. Aperçu géomorphologique**

La région d'Alger comprend cinq grands ensembles géomorphologiques (figure 2)

### **I-2-1. Le massif d'Alger**

Le massif d'Alger est orienté Est-Ouest, il s'étend sur une longueur de 20 Km et une largeur de 6 Km, avec une topographie accidentée. Son plus haut sommet culmine à 407m d'altitude. (Saâdallah, 1981) (In Hamga, Sayad, 2006)

### **I-2-2. Le sahel d'Alger**

Il regroupe tous les reliefs qui s'étendent du massif d'Alger au Nord, de la rive gauche de l'Oued El-Harrach au Sud et au Sud-Est, de l'Oued Mazafran au Sud-Ouest. On distingue trois parties principales : le Sahel marneux, le plateau mollassique d'Alger et le piémont sud du Sahel. (Saâdallah, 1981) (In Hamga, Sayad, 2006)

### **I-2-3. La plaine littorale orientale**

Elle est limitée par la mer Méditerranée au Nord-Est, la corniche mollassique du Hamma au Sud-Ouest, la place du 1<sup>er</sup> Mai au Nord-Ouest et la rive gauche de l'Oued El Harrach au Sud-Est. Son altitude varie entre 2 et 15m. Elle est formée d'alluvions récentes constituées essentiellement de sables et graviers.

### **I-2-4. Le cordon littoral dunaire**

Il s'agit d'une petite barrière sablo-gréseuse allongée parallèlement au rivage. Ce cordon se situe entre la rive droite de l'oued El Harrach et Bordj El Kiffan.

### **I-2-5. La plaine de la Mitidja**

Cette plaine représente le bassin dans lequel viennent se déposer les matériaux charriés depuis les reliefs limitrophes.

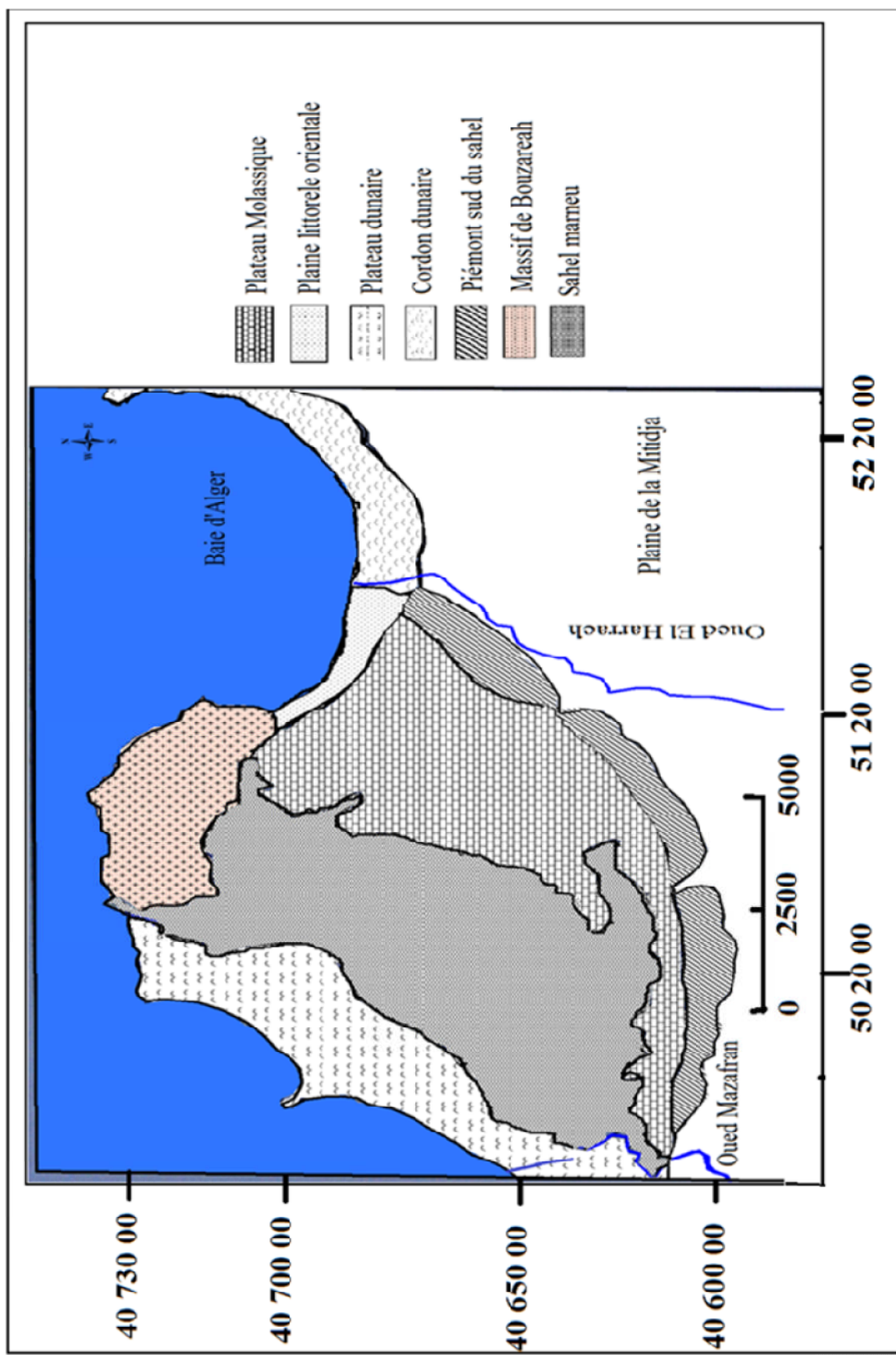


Figure 2: Les grands ensembles géomorphologiques de la région d'Alger (ANRH, 2006)

### **I.3. Aperçu géologique**

La région d'Alger est caractérisée par une structure géologique complexe. Elle est constituée de terrains métamorphiques d'âge Primaire recouvert par des terrains sédimentaires d'âge Mio-Plio-Quaternaire (figure 3).

#### **I.3.a. Le Primaire**

Ces terrains forment essentiellement le massif d'Alger, constitués de roches cristalloylliennes, qui sont de nature pélitique et carbonatée : gneiss, schistes et marbres, dont la structure est plissée et écaillée. Ces terrains affleurent depuis Baïnem jusqu'à Agha, à l'Ouest au niveau de Ain-Benian et de Sidi Fredj et à l'Est près de Tamenfoust. (*Benallal et Ourabia, 1988*) (In Benidir, Fernane, 2010)

#### **I.3.b. Le Secondaire**

Les terrains secondaires sont absents dans tout l'Algérois, à l'exception des bordures de la Mitidja, où ils sont composés principalement de calcaires et marno-calcaire. (*Ameziane et Balit, 2006*)

#### **I.3.c. Le Tertiaire**

Ces terrains recouvrent en discordance les faciès métamorphiques. (*Aymé, 1964*)

##### **I.3.c. 1. Le Miocène**

Il est formé de dépôts littoraux commençant par des conglomérats et se terminant par des grès (*Aymé, 1964*), il est représenté par les terrains suivants :

##### **-Le Miocène inférieur**

Formé par des grès et poudingues, affleure dans le ravin d'Oued Koriche et au Telemly.

##### **-Le Miocène supérieur**

Essentiellement conglomérique et gréseux, est en contact anormal avec le socle métamorphique. Il est en général tectonisé, et offre des aires d'affleurement réduites.

##### **I.3.c. 2. Le Pliocène**

Il est représenté par deux étages :

##### **-Le Pliocène inférieur (Plaisancien)**

Cette formation est représentée par des dépôts marins profonds, riches en microfaunes. Il affleure dans le Sahel et au Telemly. Le Plaisancien est essentiellement argilo-marneux.

### **-Le Pliocène supérieur (Astien)**

Il est caractérisé par des dépôts marins peu profonds formés pendant la mer plaisancienne et le dépôt de terres littorales. L'Astien est séparé du Plaisancien par un niveau à glauconies dont l'épaisseur peut atteindre 4 mètres mais qui peut réduire à quelques centimètres. (*Glangeaud et al, 1952 in JICA, 2006*)

### **II.3.d. Le Quaternaire**

Les formations du Quaternaire résultent de l'érosion de l'Atlas Tellien et de l'accumulation des produits de cette érosion dans la Mitidja et dans le Sahel. (*Aymé, 1964*). Puis, des terrasses marines, formées par la consolidation des dunes et des dépôts alluviaux contenant du sable, gravier, argile sableuse, conglomérats et des microconglomérats à ciment calcaire, se sont formés. Ces terrasses correspondent à quatre périodes du Quaternaire, le Calabrien, le Sicilien, le Tyrrhénien et le Versilien (*Djediati, 1996 in JICA2006*).

Les terrasses marines quaternaires se trouvent à 200 mètres d'altitude dans l'est d'Alger et à 325 mètres dans l'ouest. (*Djediati, 1996 in JICA 2006*)

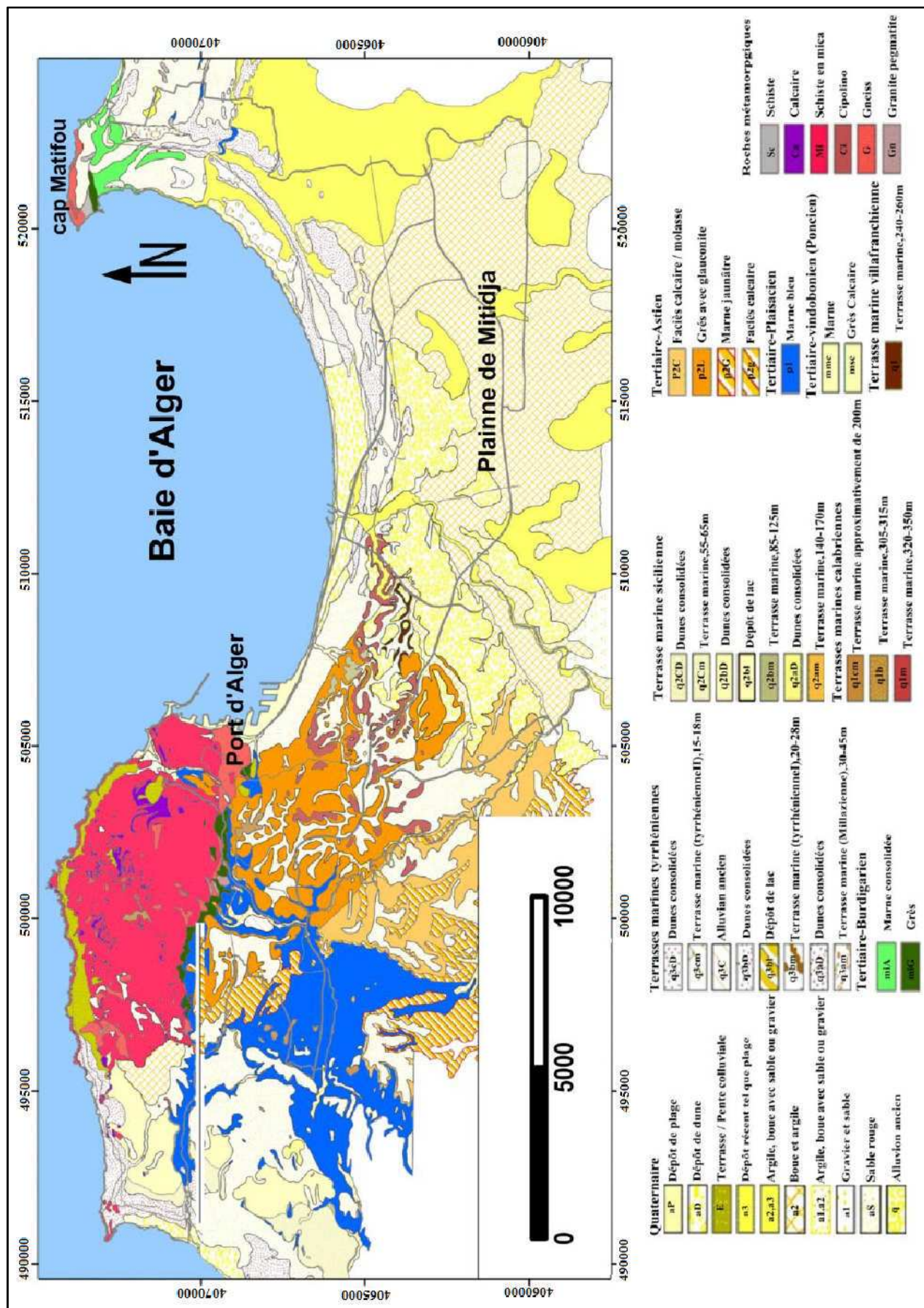


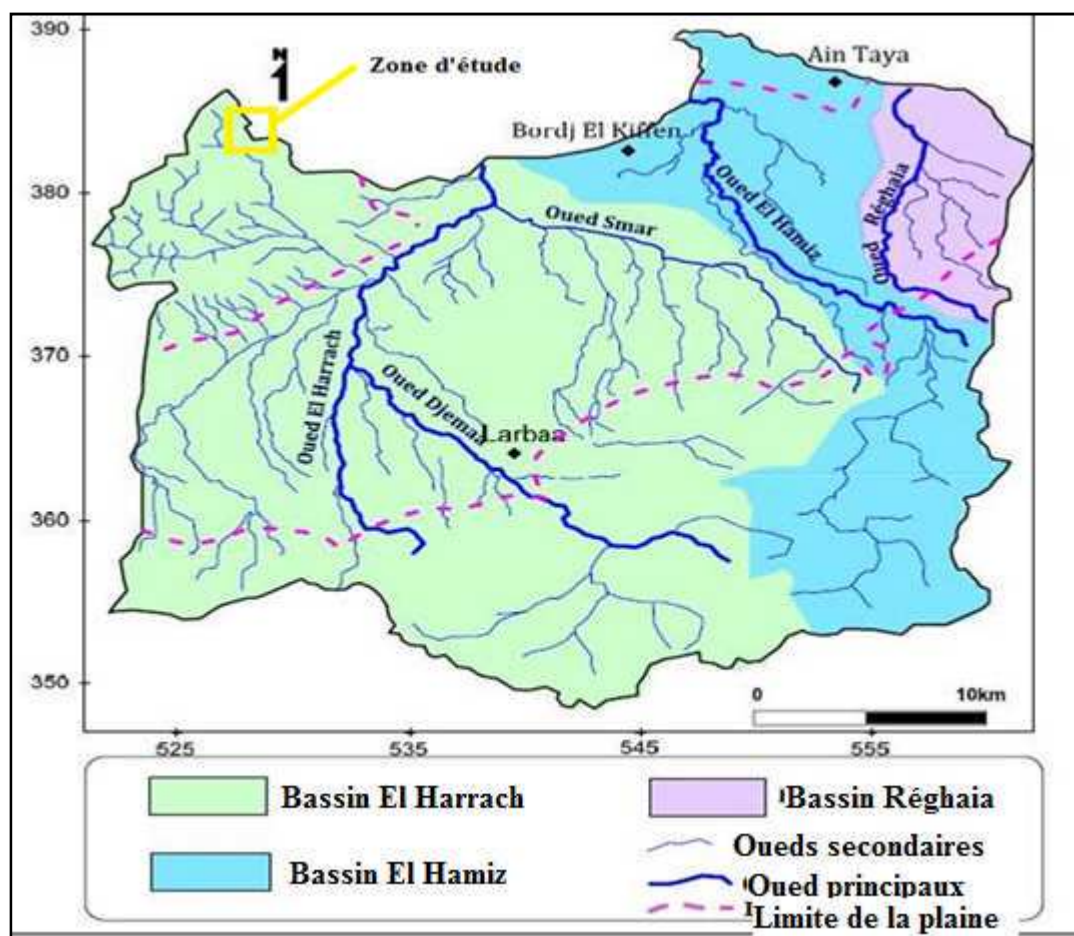
Figure 3: Carte géologique d'Alger et ses environs [JICA, 2006].

## I.4. Aperçu hydrogéologique

Au niveau du littoral algérois se déversent une multitude d'Oueds de nature et importances variables. Ces Oueds entraînent des apports qui sont composés essentiellement de fragments de schistes de calcites et de quartz mélangés de l'argile.

Parmi les principaux cours d'eau qui se jettent à l'Ouest et l'Est de la baie d'Alger, On trouve ; Oueds El -Harrach et Oued El-Hamiz (figure 4).

Leurs régimes hydrologiques sont caractérisés par un long étiage de six mois et des crues d'hiver et de printemps soudaines et rapides. (Berkennou, 2012)



**Figure 4:** Les principaux bassins versants et le *réseau hydrographique d'Alger*

(Kaben, 2012)

Du point de vue hydrogéologique, la région d'Alger est constituée par trois principaux aquifères (figure 5).

**a) Le socle métamorphique**

Il existe une présence d'eau dans le socle métamorphique, qui se manifeste sous forme de sources ou de nappe (cas des puits domestiques de la Casbah). Il s'agit d'une eau localisée dans les fissures, diaclases et fractures.

**b) Le Tertiaire**

Le terrain aquifère le plus important de la région d'Alger est la mollasse astienne. Le mur de cette nappe est représenté par les argiles marneuses bleues du Plaisancien. Ce contact Astien-Plaisancien est jalonné par une multitude de sources.

Cet aquifère est subdivisé en deux nappes :

- **Nappe de la Mitidja**

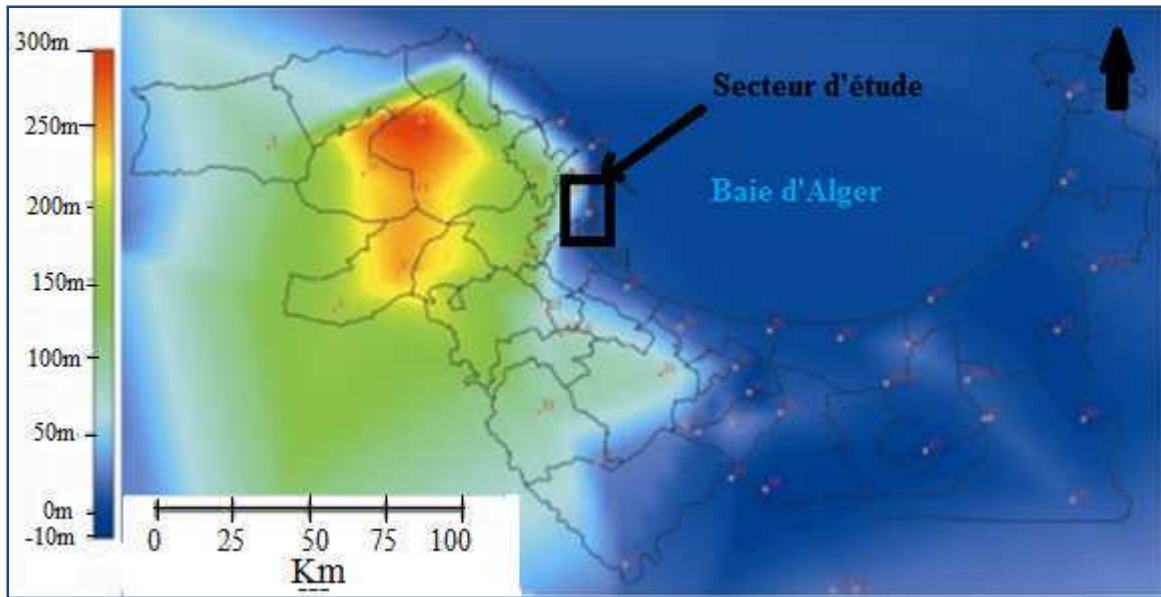
Cette nappe, bien connue, est captée par de nombreux forages.

- **Nappe du plateau mollassique d'Alger**

C'est une nappe libre dont les eaux ont été exploitées pour l'alimentation en eau potable d'Alger, suite au captage des sources d'El Hamma, de Telemely et de Ben Aknoun.

**c) l'Aquifère du Quaternaire**

Il est formé, principalement, des alluvions récentes, qui passent latéralement à des sables rouges, constitué par le produit d'altération des terrains astiens. Un certain nombre de puits traditionnels captent ces formations à une profondeur variant de 14 à 20 mètres. (Ameziane et Balit, 2006)



**Figure 5:** Carte du niveau d'eau souterraine dans la région d'Alger  
(JICA, 2006)

## I.5. Aperçu sismotectonique

### I.5. a. Sismicité historique

Compte tenu de sa localisation dans une zone convergence de plaques, l'Algérie du nord est une région à forte sismicité. Au cours de sons histoire, elle a subi plusieurs séismes destructeurs.

Des études ont montrés que la sismicité est concentrée dans la région nord du pays c'est à dire dans la bande comprise entre la région littorale et la région de la flexure sud atlasique, et des frontières marocaines jusqu'au frontières tunisiennes.

La sismicité de l'Algérie du Nord est connue depuis 1716, date du séisme qui frappé la ville d'Alger, et beaucoup d'autres séismes comme résumés dans le tableau 1.

**Tableau 1:** Principaux séismes produits au cours de l'histoire de l'Algérie. (CGS,1998, in JICA 200)

Date	Localisation	Latitude	Longitude	Magnitude (Ms)	Intensité (Io)
<b>03/01/1365</b>	<b>Alger</b>	<b>36.420</b>	<b>3.060</b>	<b>Fort</b>	<b>X</b>
<b>03/02/1716</b>	<b>Alger</b>	<b>36.420</b>	<b>3.060</b>		<b>IX</b>
29/11/1887	El Kalaà				
15/01/1891	Gouraya			7.5	X
25/08/1922	A. El Hassan			5.1	IX
24/06/1910	Sour. El Ghouzlène			6.4	X
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
<b>28/05/1940</b>	<b>Alger</b>	<b>36.480</b>	<b>3.018</b>	<b>5</b>	<b>III</b>
09/09/1954	Chalef			6.7	X
12/02/1960	Bejaia			5.6	VIII
21/02/1960	M'sila			5.6	VIII
28/01/1961	Baie D'Alger	36.800	3.100	4.1	
01/01/1965	M'sila			5.5	VIII
24/11/1973	Mansourah			5.1	VII
10/10/1980	Chelef			7.3	IX
27/1/1985	Constantine			5.9	VIII
31/10/1988	El Affroun			5.9	VII
29/10/1989	Chenoua			6.0	VIII
05/11/1989	Méditerranée	36.740	2.390	4.5	
09/02/1990	Méditerranée	36.770	2.470	4.7	
<b>04/02/1991</b>	<b>Arbaa</b>	<b>36.760</b>	<b>3.210</b>	<b>3.6</b>	
18/08/1994	Mascara			5.6	VII
<b>04/09/1996</b>	<b>Ain Benian</b>	<b>37.000</b>	<b>2.930</b>	<b>5.7</b>	
22/12/1999	Ain-Temouchent			5.8	VII
10/11/2000	Béni-Ourtilane			5.4	VII
21/05/2003	Zemmouri			6.8	X

### I.5. b. Zonage sismique du territoire Algérien

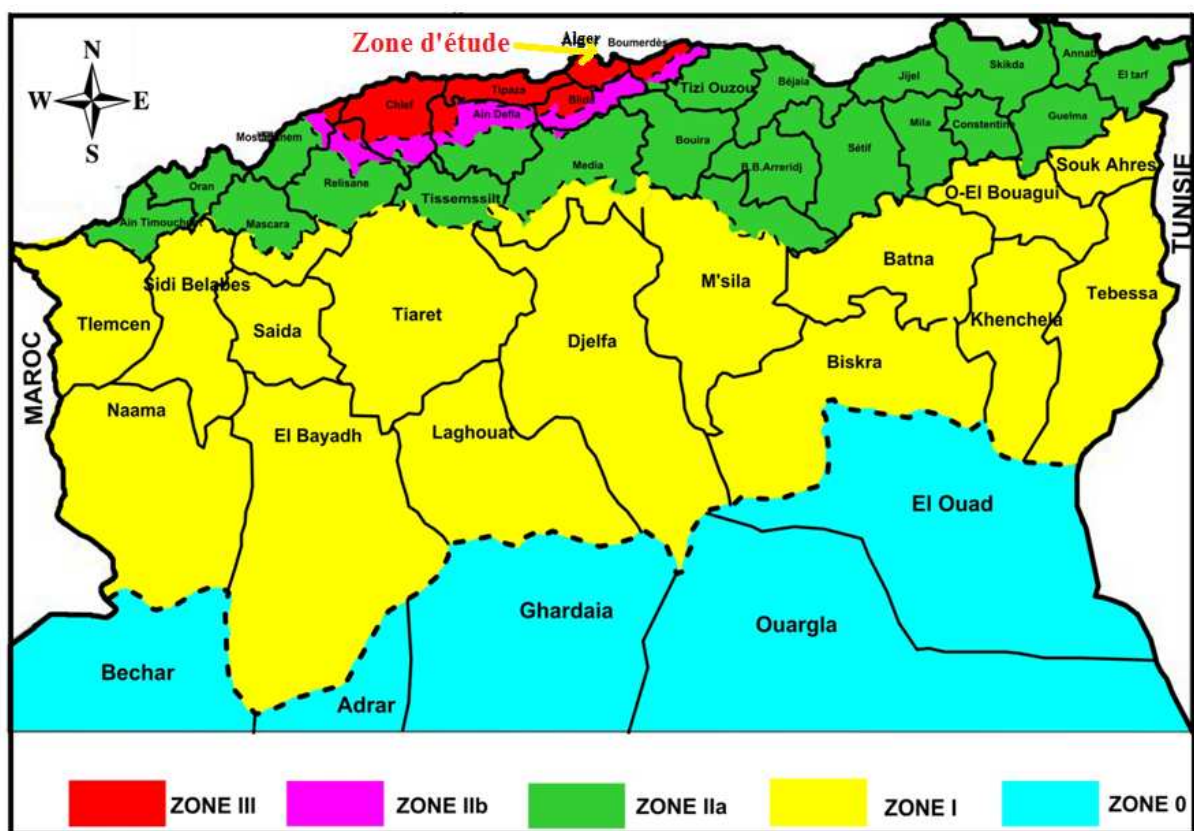
Le territoire national est divisé en quatre (04) zones (figure 6) de sismicité croissante :

**Zone 0** : Sismicité négligeable

**Zone I** : Sismicité faible

**Zones IIa et IIb** : Sismicité moyenne

**Zone III** : Sismicité élevée



**Figure 6:** Carte de zonage sismique du territoire national (RPA 99,2003)

### I.5. c. Tectonique régionale et failles actives

L'Algérie se situe sur une frontière active de plaques au niveau de la convergence de l'Afrique et de l'Eurasie. Ces plaques se rapprochent à une vitesse de l'ordre de 6 millimètres par an, ce qui génère une accumulation importante de contraintes.

Lorsque ces contraintes deviennent trop fortes, certaines failles peuvent être mises en mouvement. Le déplacement rapide des bords de ces failles génère alors des ondes sismiques qui se propagent jusqu'à la surface.

Les principales failles actives sont localisées au niveau de la chaîne de montagne nord-africaine (figure 7). Le mouvement relatif des bords de la faille tel qu'il a été enregistré par les sismomètres montre un raccourcissement cohérent avec le mouvement global des plaques.

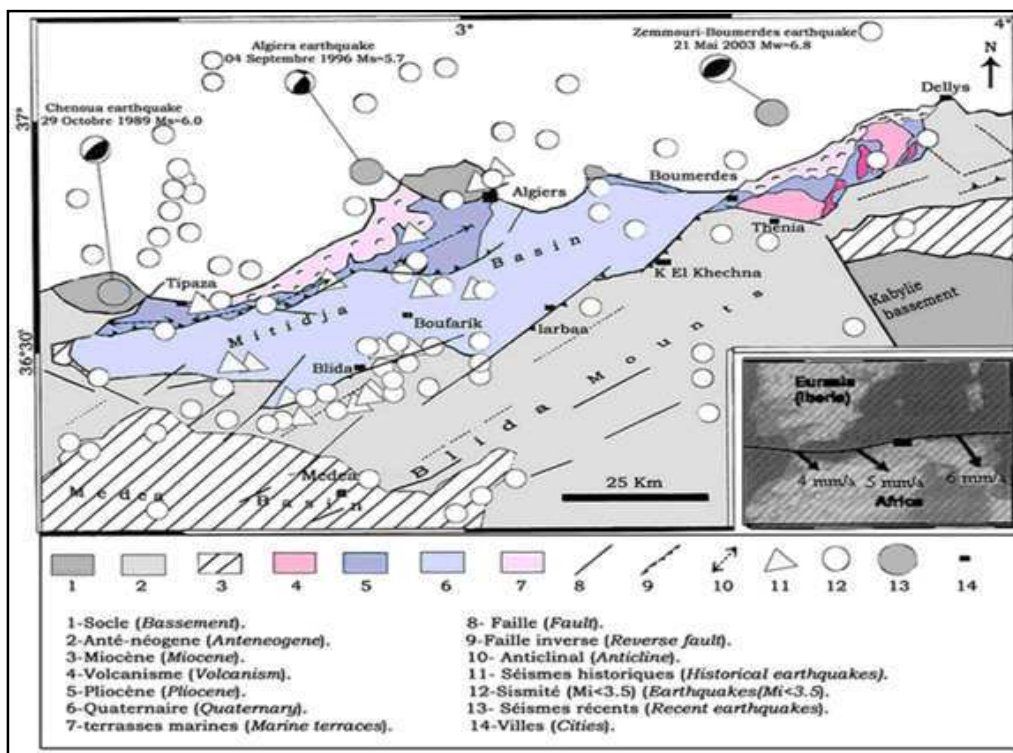


Figure 7: Carte sismotectonique de la région d'Alger (CRAAG, 1994)

Les principales failles actives dans l'algérois sont (figure 8) :

➤ **La faille du Sahel**

La faille du Sahel 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 jusqu'à la baie d'Alger. (Géomatix, 2006) (In Moukeddem et Ramdani, 2013)

➤ **La faille de Thénia**

La faille de Thénia dite aussi la faille de Cap Matifou est une structure cassante d'âge Quaternaire, d'une direction N120° et une longueur maximale de 73 Km. La région de Thénia n'a connu qu'un seul séisme important ( $M_s = 5,2$ ), le 16 septembre 1987. (Géomatix, 2006) (In Moukeddem et Ramdani, 2013)

➤ **La faille offshore de Zemmouri**

Elle fut méconnue jusqu'à sa mise en évidence par les deux compagnes Maradja (Déverchère et al, 2005) (In Hellel, 2010)

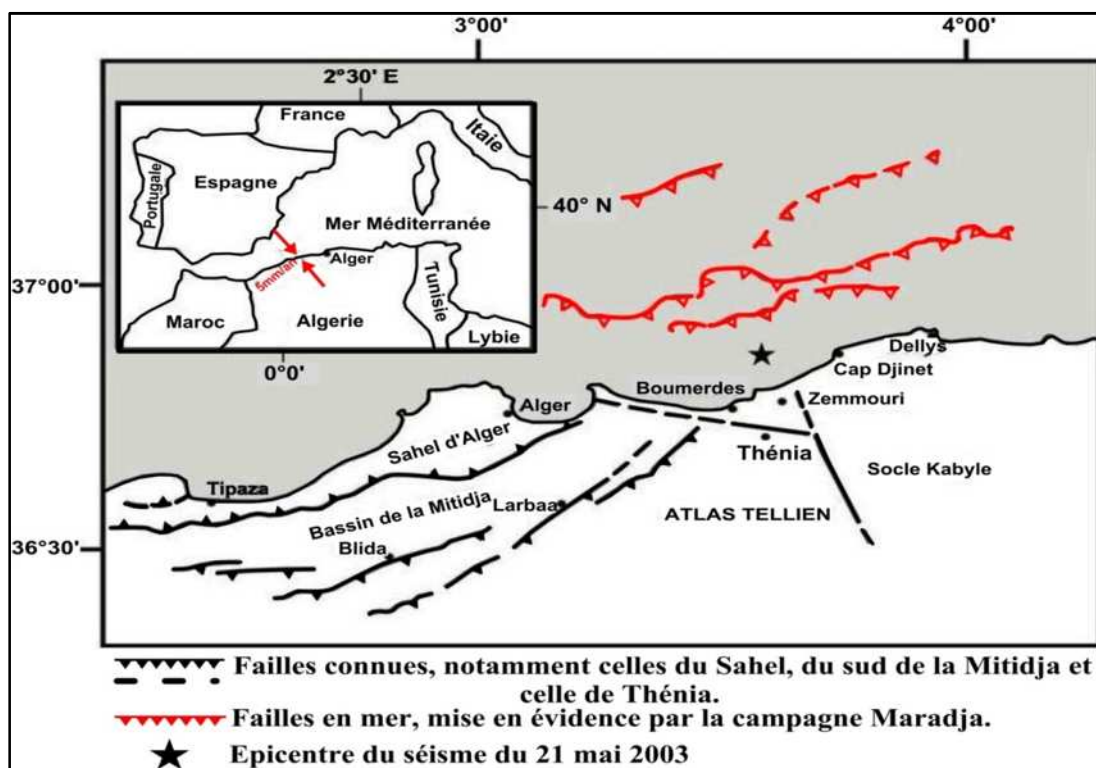


Figure 8: Cadre tectonique de la région d'Alger (Meghraoui, 1988). (In Hellel, 2010).

## **Conclusion**

Les séismes les plus intenses de ce dernier siècle sont ceux de Chlef, 1954) avec une magnitude 6.7; Chlef (El Asnam, 1980) avec 7.3 et Boumerdes (Zemmouri, 2003) avec 6.8 de magnitude.

Notre zone d'étude se situe dans la zone III qui est caractérisée par une forte activité sismique due à l'existence de plusieurs failles actives de différents types, et pour aboutir à un meilleur aménagement du territoire il est indispensable d'étudier ces failles pour réduire le risque sismique qui peut causer des dommages matériels et des pertes humaines très importantes.

La détermination des fréquences de résonance du sol rentre dans la réduction de ce risque.

# **CHAPITRE II :**

## **Caractérisation géologique et géotechnique du site d'étude**

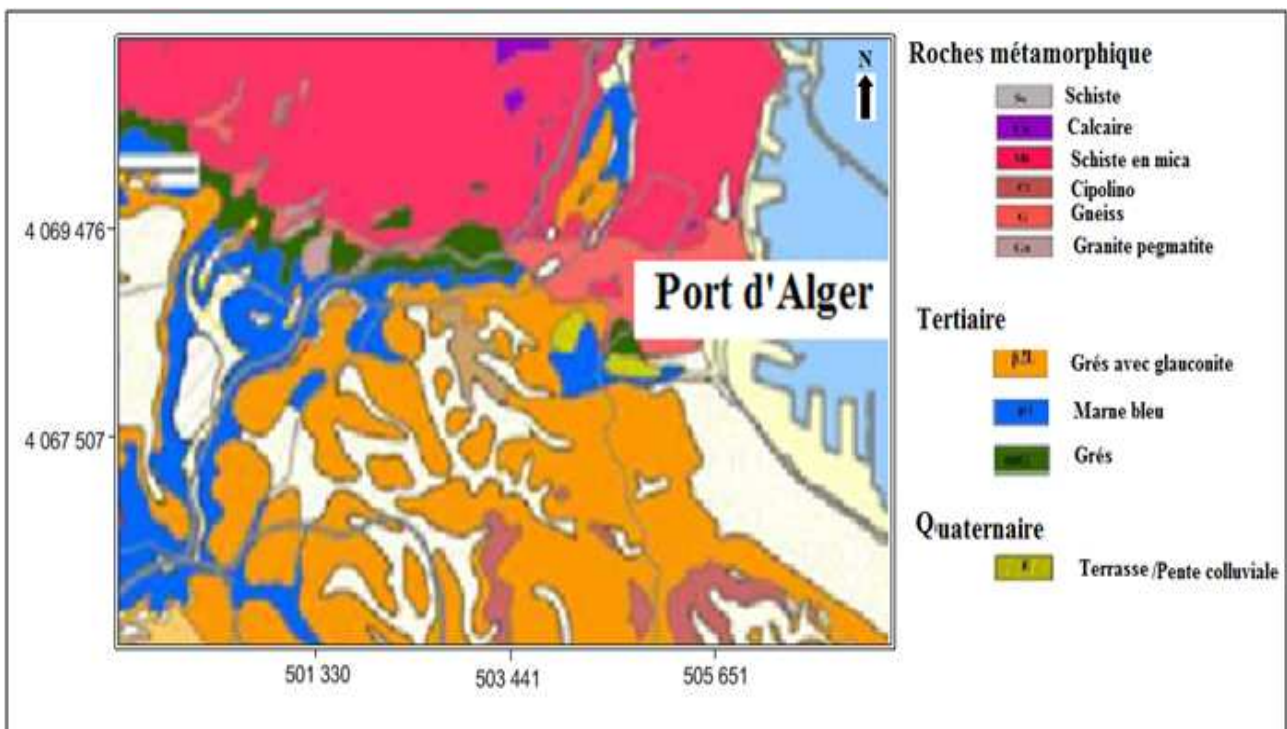
## Introduction

La connaissance de la géologie de la surface et la lithologie du sous-sol ainsi que les propriétés géotechniques des différentes couches est indispensable pour pouvoir analyser la stabilité des sols et leur constructibilité. De plus la compacité des couches lithologique et leur Épaisseur permettent d'interpréter les fréquences de résonance du sol obtenues à partir des courbes H/V.

### II.1. Géologie du site d'étude

A partir de la carte géologique d'Alger (figure 9), notre site d'étude révèle la présence de terrains métamorphiques principalement des schistes, micaschistes et cipolins, ainsi que des marnes bleues et de grés d'âge tertiaire.

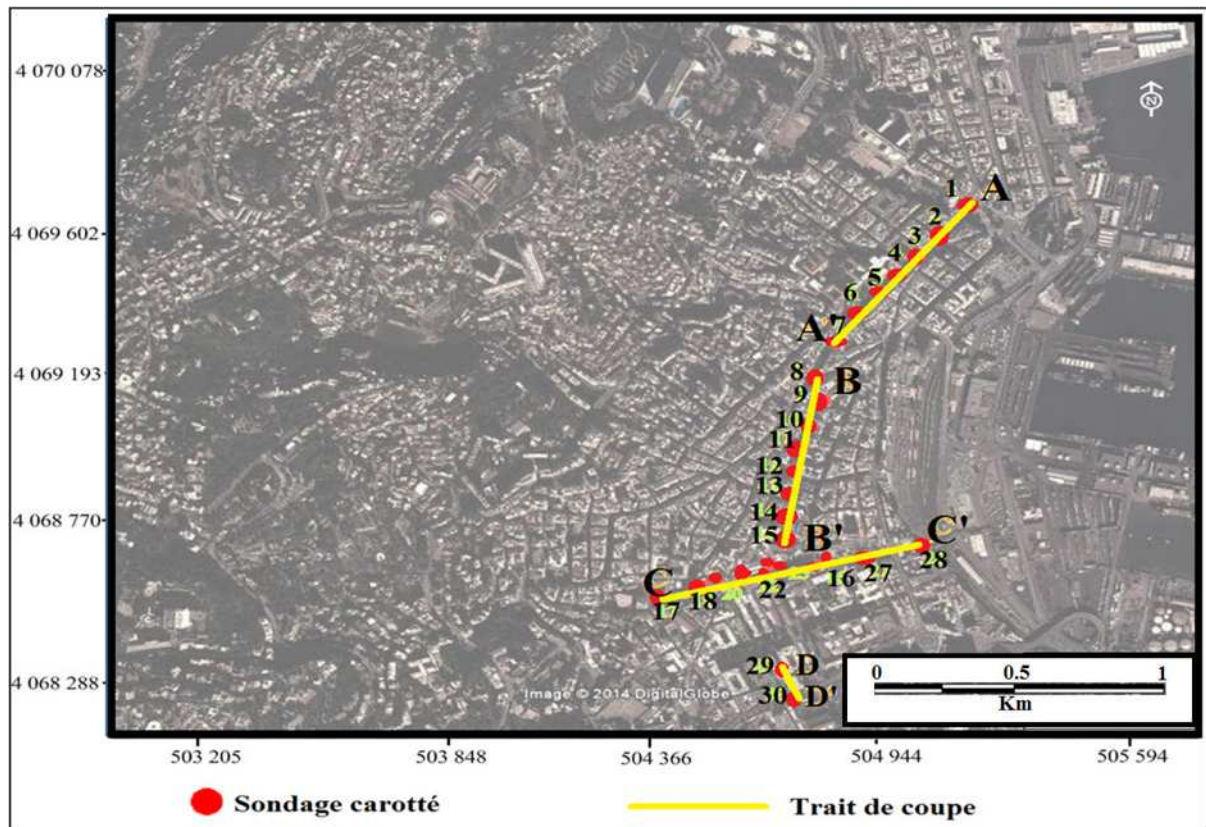
Comme on peut trouver aussi des terrains sédimentaires quaternaires tels que les sables argileux qui s'étendent dans la plaine côtière.



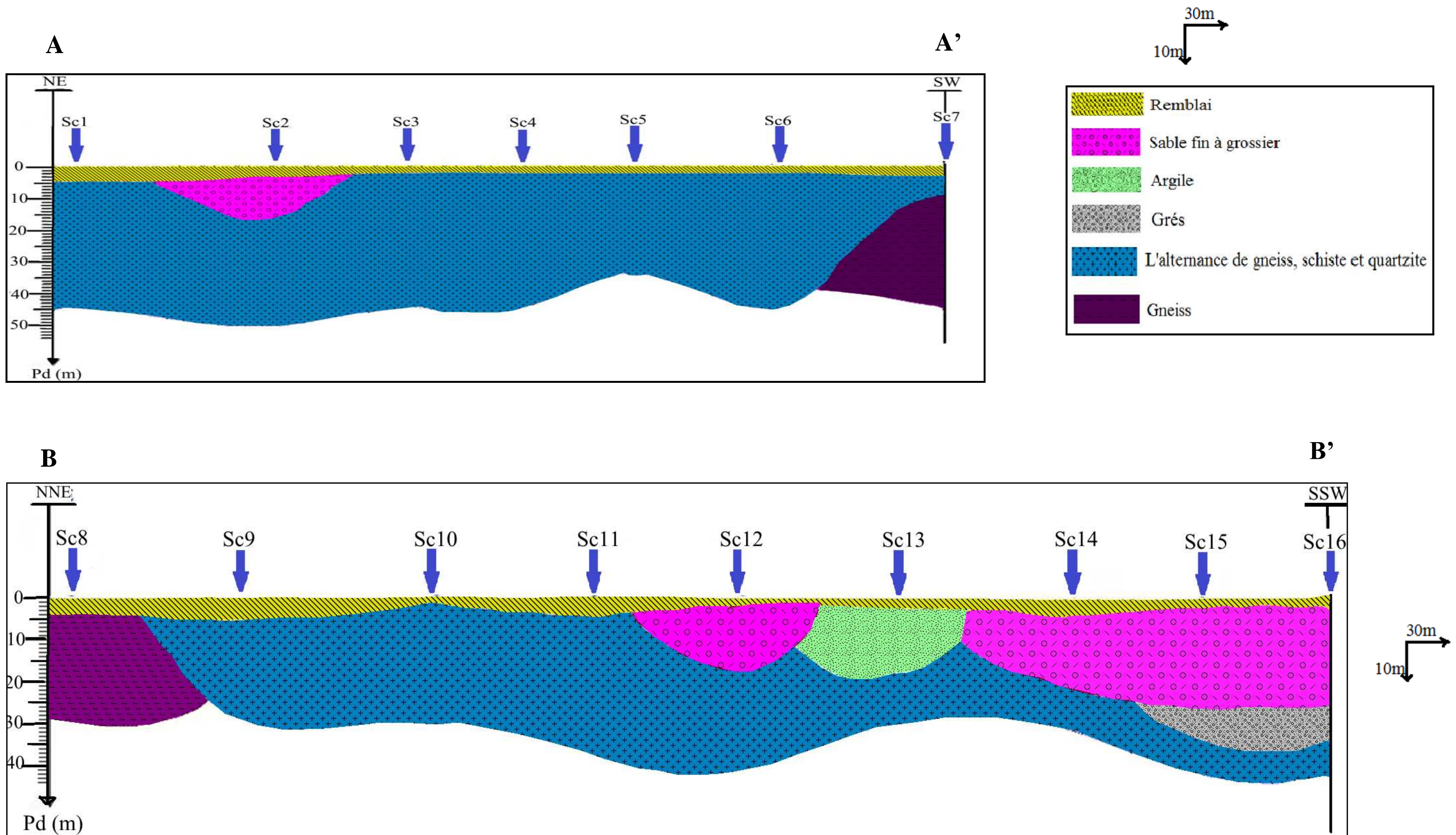
**Figure 9:** Lithostratigraphie du site d'étude, extraite de la carte géologique d'Alger (le service de la carte Géologique de l'Algérie, 1964)

## II.2. Lithologie du sous-sol du site d'étude

À partir des sondages carottés réalisés dans le cadre de plusieurs projets tels que le collecteur intercommunal d'Alger, le métro d'Alger et le central téléphonique C.H.U MUSTAPHA Bacha (figure 10), on a pu tracer des coupes lithologiques corrélatives à partir desquelles on a déduit les unités lithologiques principales qui constituent le sous-sol de notre secteur d'étude.



**Figure 10 :** *Plan d'implantation des sondages carottés et coupes lithologiques*



**Figure 11** : Coupe lithologique corrélative AA', BB' (Métro d'Alger)

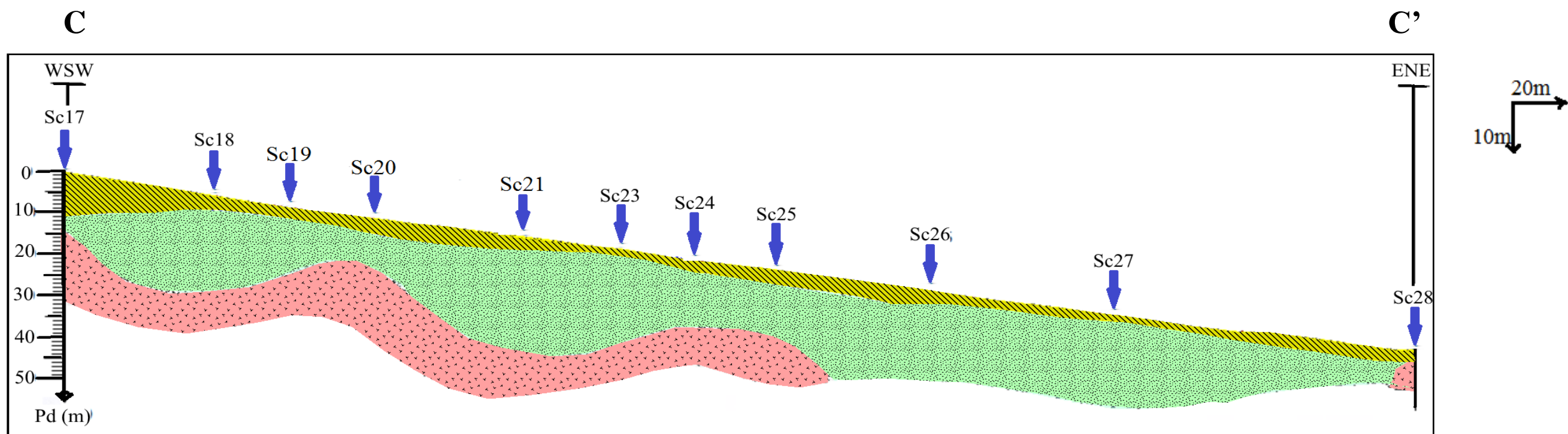


Figure 12 : Coupe lithologique corrélative CC' (Collecteur intercommunal d'Alger)

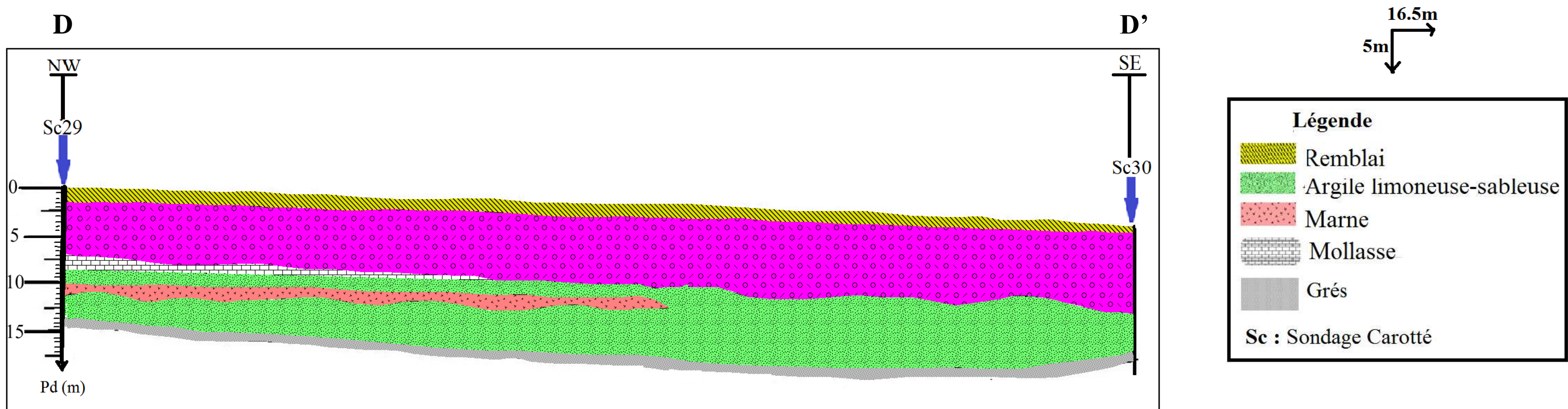


Figure 13 : Coupe lithologique corrélative DD' (C.H.U MUSTAPHA Bacha)

### **II.2.1. Les roches métamorphiques du Primaire**

Située dans le massif d'Alger (coupe AA', coupe BB') (figure 11), il s'agit du socle qui est constitué de :

- Schistes : de couleur gris bleu à gris vert fracturé parfois en fragments, injecté de quartzite.
- Gneiss : la fracturation et fissuration importante ayant affecté ce socle, liées aux circulations d'eau qui a permis la formation de zones très altérées, de couleur gris blanc à gris jaune.

Il faut noter que les schistes et les gneiss s'alternent le long des deux coupes AA' et BB' (figure 11), Le socle est peu profond dans le secteur d'étude (partie Nord).

### **II.2.2. Les marnes du Plaisancien**

D'après les coupes lithologiques corrélatives, nous constatons que les marnes grises du Plaisancien sont caractéristiques de la lithologie d'Alger (partie Sud). Le toit de cette formation a été retrouvé aux sondages N° 18,19, 20, 21, 22, 23, 24,25, 30 de la coupe CC' (Figure 12), à des profondeurs allant de 25 à 35 mètres à partir du terrain naturel, et à une profondeur de 10 mètres au sondage N° 29 de la coupe DD' (figure 13).

Ce sont des marnes gris à bleutées, compactes parfois plastique ou altérées, renfermant des débris de bioblastes et microfossiles.

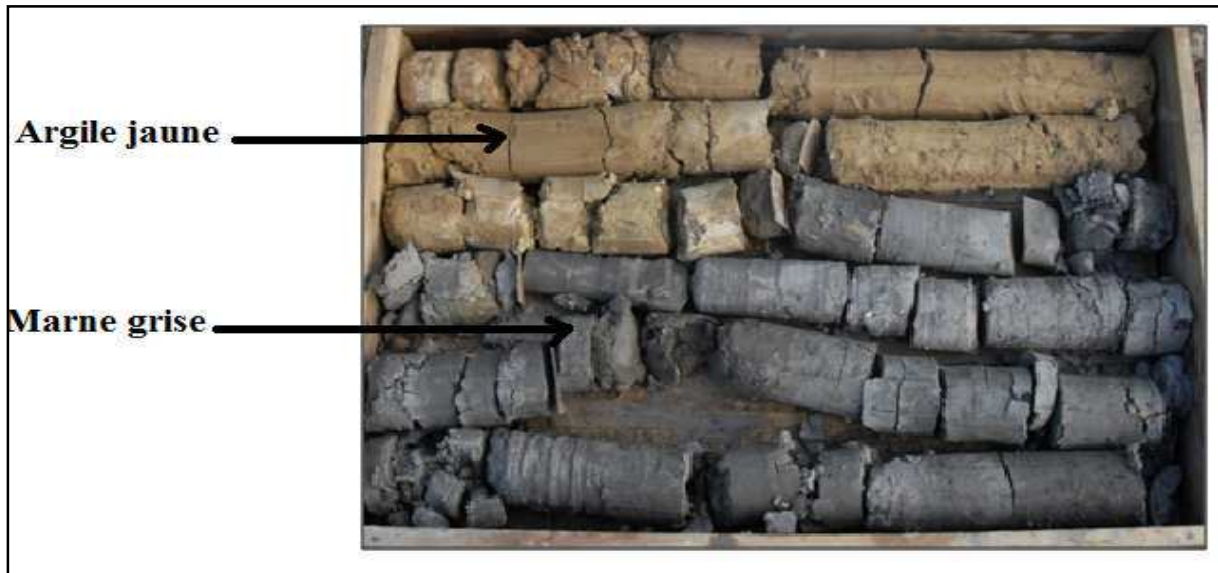
### **II.2.3. Les formations astiennes**

Elles sont représentées par des marnes et des argiles sablo-limoneuses parfois friables, jaunâtres à marrons recoupées entre 3 et 10 mètres de profondeur avec intercalation de couches de grés décimétriques de couleur jaune à marron.

### **II.2.4. Les formations quaternaires**

Elles sont représentées par deux formations principales :

Les alluvions et colluvions : constitués de limons sableux parfois argileux de couleur jaune rougeâtre avec quelques rognons schisteux et gneissiques décrits sur les sondages de métré d'Alger. (figure 14)



**Figure 14 :** *Les carottes de marnes grises et d'argile sableuse (TREVI, 2012)*

### **II.3. Caractéristiques géotechniques des formations lithologiques**

Les différentes couches lithologiques ont été regroupées en trois unités :

- Unité I : Le socle métamorphique
- Unité II: Les marnes du Plaisancien
- Unité III : Les argiles sableuses de l'Astien

Les paramètres géotechniques du sol ont été tirés à partir des rapports d'étude de sol réalisés dans la zone d'étude pour différents projets sont :

- Essais d'identification physique : Ces essais ont été réalisés sur des échantillons intacts prélevés dans les différentes sondages carottés et à différentes profondeurs, dans le but de déterminer la composition, la nature et les caractéristiques géotechniques de chaque sol rencontré dans le site d'étude.
  - Analyse granulométrique.
  - Masse volumique  $\gamma$  ( $t/m^3$ )
  - Teneur en eau W(%)
  - Limites d'Atterberg.  $I_p(\%)$ ,  $I_c(\%)$ , WL, WP.
  - Essai de cisaillement direct (UU, CU, CD).
  
- Compressibilité à l'oedomètre
  - La pression de consolidation ( $P_c$ )
  - Le coefficient de gonflement ( $C_g$ ) :
  - Le coefficient de compressibilité ( $C_t$ )
  
- Essais mécanique in situ
  - Caractéristiques préssiométriques ( $E_p$ ,  $Pl$ ,  $E_p/Pl$ ).

### **II.3.1. Le socle métamorphique :**

Il est bien connu que les faciès métamorphiques offrent de bonne qualités et bonnes caractéristiques géotechniques, mais en raison du manque d'essais réalisés sur cette formation rocheuse au niveau de notre secteur d'étude, on se limite à donner les paramètres géotechniques suivants :

- Le poids volumique sec ( $\gamma_d$ ) : varie entre 2,59 et 2,63  $t/m^3$  avec une moyenne de 2,62  $t/m^3$  ce qui indique un sol très dense.
- La teneur en eau (W) : varie entre 20 et 80%, la moyenne est de 50%, une teneur en eau importante, ce indique la présence d'une nappe captive dans les fractures.

Des essais de compression simple ont été effectués sur quelques échantillons ont donné des valeurs de compression simple  $R_c$  variant entre 41 et 1304 bars mais la plus parts des valeurs dépassent souvent les 500 bars, ce qui donne une résistance élevée à la compression.

### II.3.2. Les marnes du Plaisancien

Les principales caractéristiques géotechniques de ces marnes sont :

#### II.3.2. 1. Les caractéristiques physiques (Tableau 2)

##### a) La masse volumique ( $\gamma$ )

La valeur moyenne est de  $1,77 \text{ t/m}^3$  ce qui indique que ce sol est dense.

##### b) La teneur en eau (W)

La valeur de la teneur en eau des marnes varie entre 39.46% et 46.19% avec une moyenne de l'ordre 20.42%.

##### c) L'analyse granulométrique

L'observation des deux fuseaux granulométriques (figure 15) montre que le pourcentage des éléments  $<80\mu\text{m}$  dépasse à 90 %. Le coefficient de Hazen est supérieur à 2. Donc la granulométrie est étalée, ce qui indique que la marne plisancienne correspond à un sable fin.

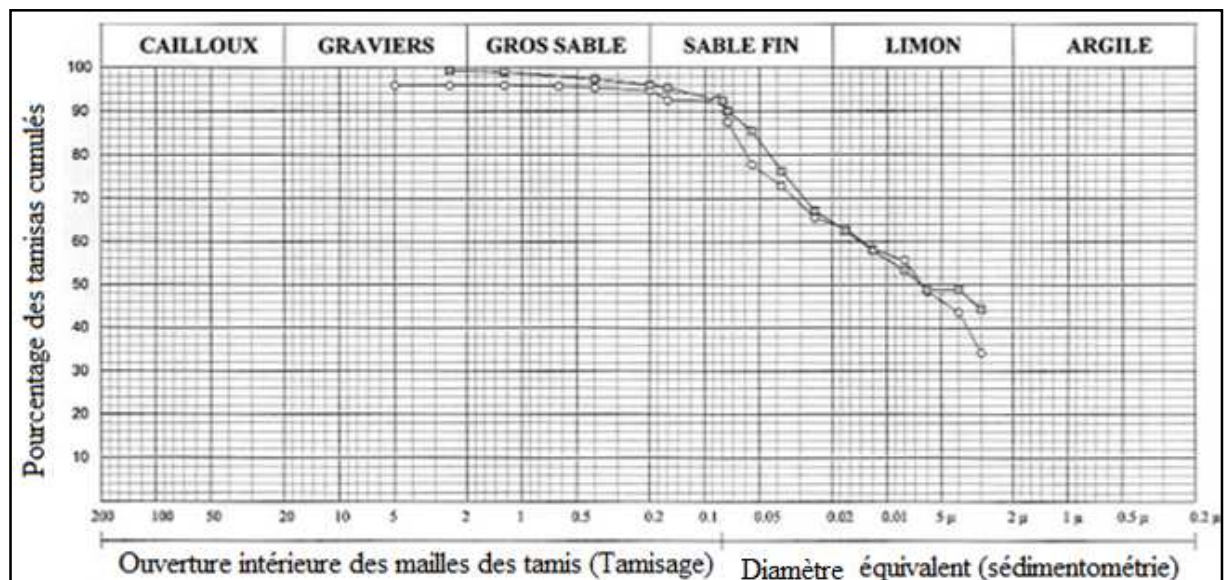
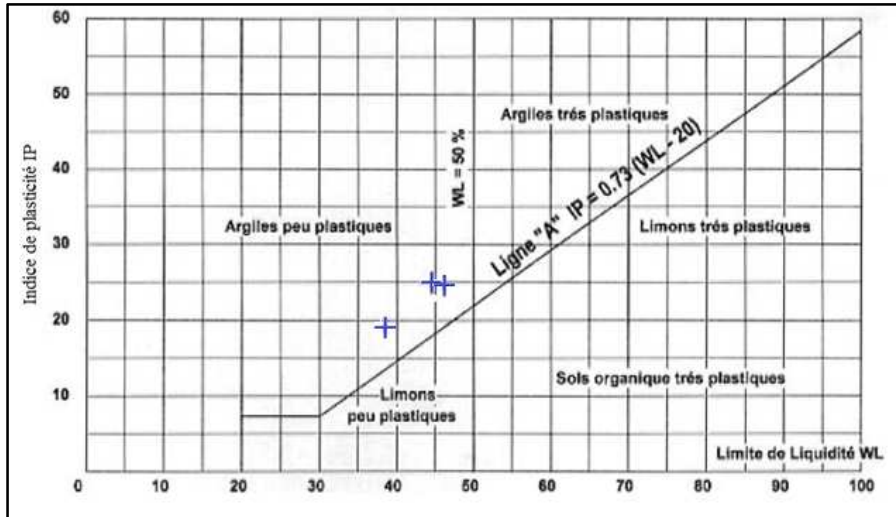


Figure 15: Fuseaux granulométriques des marnes du Plaisancien

**d) Les limites d'Atterberg :**

D'après Casagrande (figure 16), les limites de plasticité indiquent qu'il s'agit d'une Argile peu plastiques à moyennement plastiques.

La valeur moyenne de l'indice de consistance ( $I_c = 1$ ) indique, d'après Atterberg, qu'il s'agit d'un sol dur (consistant).



**Figure 16:** Classification des marnes dans le diagramme de Casagrande

**Tableau 2 :** Propriété physiques des marnes plaisanciennes

Paramètre	Désignation		Nombre échantillons	Valeur			Observation
				Min	Max	Moy	
Masse volumique	$\gamma$	$t/m^3$	3	1.55	1.84	1.77	Sol dense
Teneur en eau	W	%	9	16.19	21.69	20.42	
Granulométrie		< 80 $\mu m$	3	92.33	94.85	92.45	Sol fin
Limites d'Atterberg	WL	%	3	39.46	46.19	44.49	Moyennement plastique
	Wp	%	3	19.57	21,59	20.11	
	Ip	%	3	19.35	24.6	24.42	
	Ic		3	1	1	1	Ferme

## II.3.2. 2. Caractéristiques mécaniques (tableau 3)

### II.3.2. 2.1. Caractéristiques mécaniques au laboratoire

#### a) Essai Oedométrique

Les résultats des essais oedométriques montrent un coefficient de compressibilité ( $C_c$ ) compris entre 5,72 et 24,89%, et un coefficient de gonflement ( $C_g$ ) entre 1,75 et 2,45%. Ces valeurs indiquent que les marnes plaisanciennes sont peu gonflantes (selon Sanglérat) et moyennement compressibles (selon Terzaghi).

#### b) Les essais de cisaillement rectiligne (UU)

Les essais de cisaillement rectiligne de type UU à la boîte de casagrande ont donné des faibles valeurs de cohésion non consolidée non drainée  $C_u = 0,64$  bar environ et un angle de frottement élevé, pouvant atteindre  $15^\circ$  (figure 17).

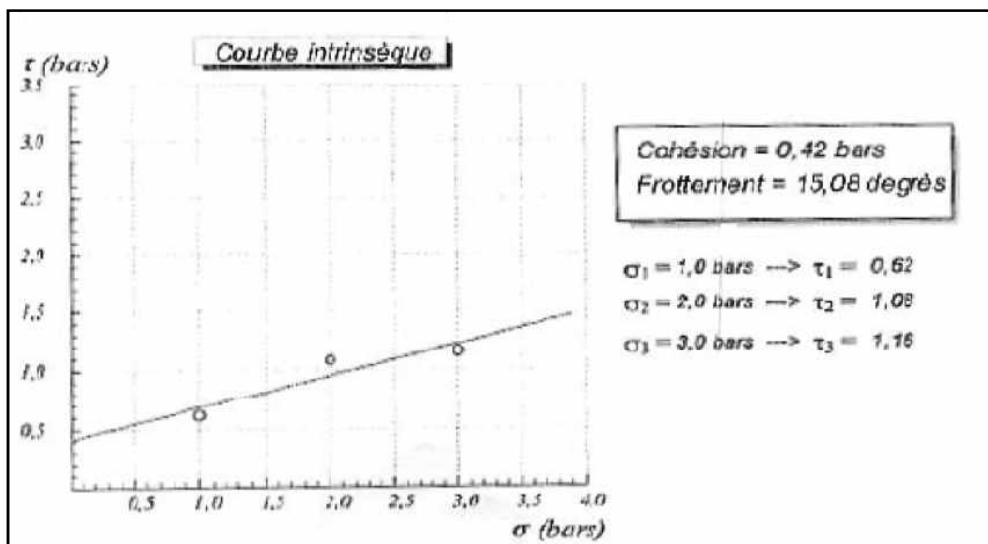


Figure 17: Exemple de courbe intrinsèque obtenue pour les marnes plaisanciennes

**Tableau 3 : Propriétés mécaniques des marnes**

Paramètre	Désignation		Nombre échantillons	Valeur			Observation
				Min	Max	Moy	
Compressibilité à l'Oedomètre	Pc	bars	3	1.59	4.07	3.74	Moyennement compressible
	Cc	%	3	5.72	24.89	13.03	
	Cg	%	3	1.75	2.13	2.45	Peu gonflant
Cisaillement rectiligne de type UU	C	bars	02	0.11	0.64	0.37	-
	$\theta$	°	02	16.15	35.26	25.70	-

### II.3.2. 2.2. Caractéristiques mécanique in situ

**Essai préssiométrique :** Les essais préssiométrique montrent que la pression limite (Pl) varie de 2 à 40 bars avec une moyenne de 17.98 bars, et un module de déformation (E) varie de 9 à 889 bars avec une moyenne de 320.48 bars. Enfin, Le rapport pressiométrique (E/Pl) varie de 4 à 22 bars. Ceci révèle que ce sol est consolidé (tableau 4).

**Tableau 4 : Propriétés mécaniques in situ de la marne plaisancienne**

Paramètre	Désignation		Nombre échantillons	Valeur			Observation
				Min	Max	Moy	
L'essai préssiométrique	Pl	bars	3	2.32	40.01	17.98	-
	E	bars	3	9.47	889.86	320.48	-
	Pf	bars	3	1.84	17.27	8.86	-
	E/Pl		3	4.09	22.34	10.59	Sol consolidé

### II.3.3. Les Argiles sableuses de l'Astien

Les principales caractéristiques géotechniques des argiles sableuses de l'Astien sont :

#### II.3.3. 1. Caractéristiques physiques (tableau 5)

##### a) La Masse volumique ( $\gamma$ )

La valeur moyenne est de  $1.69 \text{ t/m}^3$  ce qui indique que ce sol est moyennement dense.

##### b) La Teneur en eau (W)

La teneur en eau des argiles est environ 20.1% avec des valeurs extrême de 16.29% et 21.46%.

##### c) L'Analyse granulométrique

L'observation des trois fuseaux granulométriques des argiles sableuses (figure 18) montre une supérieure à 80% de passant au tamis de diamètre 2 mm. Le taux pondéral des éléments passants au tamis de  $80\mu\text{m}$  varie de 50 à 72 %. Selon le LCPC, le sol est classé dans la catégorie des sols fins.

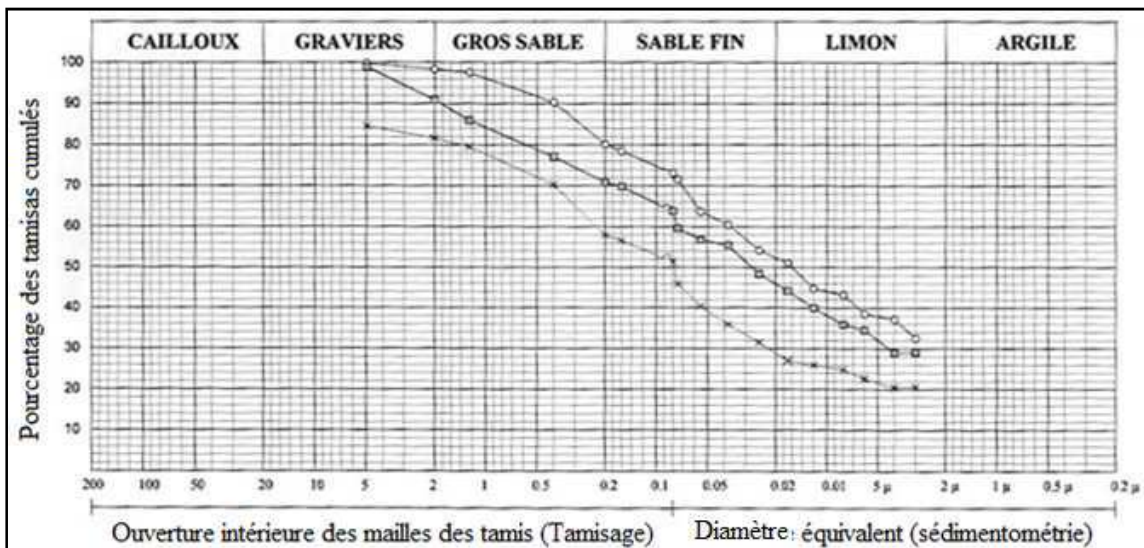


Figure 18: Fuseaux granulométriques des argiles sableuses

#### d) Les Limites d'Atterberg :

D'après le diagramme de Casagrande (figure 19), les trois points (Wl, Wp, Ip) se situent au dessus de la ligne (A) dans la zone des argiles de moyenne plasticité. L'indice de plasticité varie entre 12.14% et 20.24% avec une moyenne de 16.80% ce qui indique un sol de moyenne plasticité.

L'indice de consistance Ic est de 0.94, ce qui indique un sol ferme selon Atterberg.

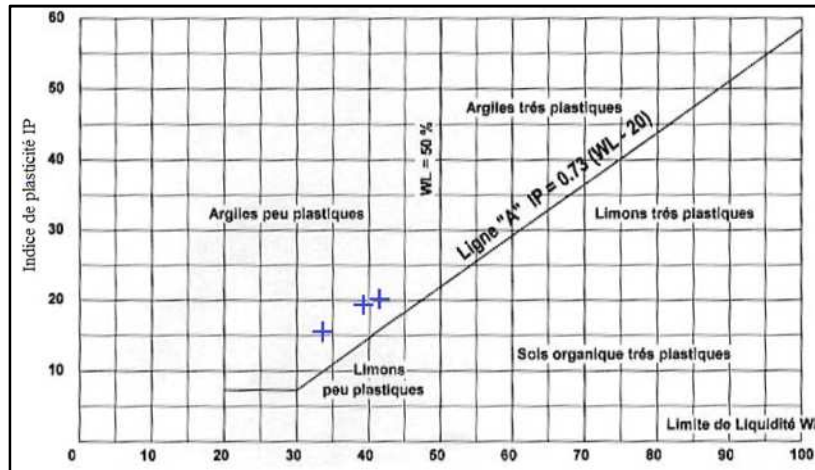


Figure 19: Classification des argiles sableuses dans le diagramme de Casagrande

Tableau 5 : Propriété physiques des argiles sableuses

Paramètre	Désignation		Nombre échantillons	Valeur			Observation
				Min	Max	Moy	
Masse volumique	$\gamma$	$t/m^3$	4	1.56	1.78	1.69	Moyen dense
Teneur en eau	W	%	12	16.29	21.46	20.1	Partiellement saturé
Granulométrie		< 80 $\mu$ m	4	51.93	73.08	63.88	Sol fin
Limites d'Atterberg	Wl	%	12	33.58	41.69	35.98	Moyennement compressible
	Wp	%	12	16.83	21.45	19.18	
	Ip	%	12	12.14	20.24	16.80	
	Ic		12	1.42	0.99	0.94	Ferme à très ferme

## II.3.3. 2. Caractéristiques mécaniques

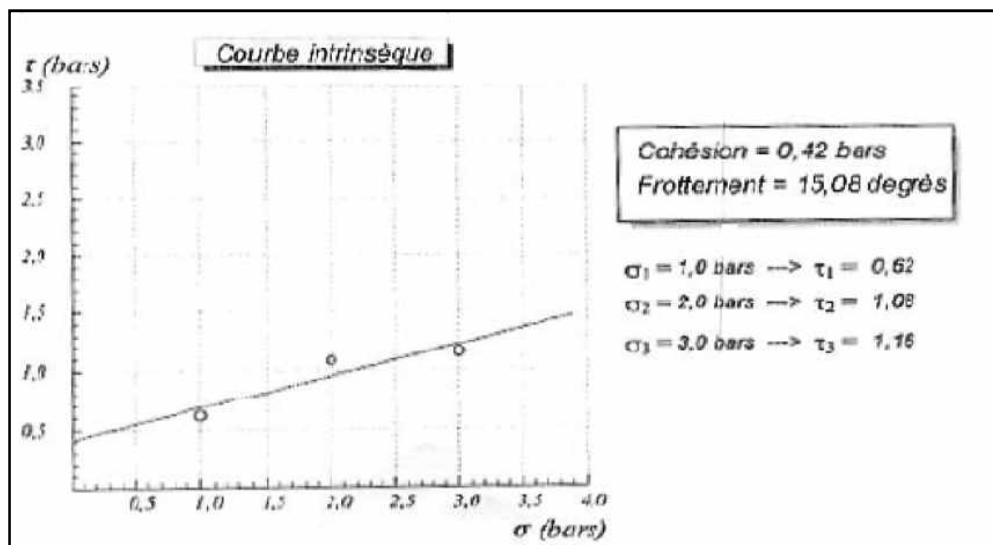
### II.3.3.2.1 Caractéristiques mécaniques au laboratoire (tableau 6)

#### a) Essai oedométrique

Les résultats des essais oedométriques montrent un coefficient de compressibilité ( $C_c$ ) compris entre 13.99 et 16.21%, et un coefficient de gonflement ( $C_g$ ) de l'ordre et une pression de compressibilité ( $P_c$ ) avec une moyenne de 3.14%. Ces valeurs indiquent que ces argiles sableuses sont des argiles peu gonflantes et moyennement compressibles (selon Terzaghi).

#### b) Les essais de cisaillement rectiligne (UU)

Les essais de cisaillement rectiligne de type UU à la boîte de Casagrande ont donné des valeurs faibles de cohésion non consolidée non drainée  $C_u = 0.32$  bars environ et un angle de frottement moyen, pouvant atteindre  $18^\circ$ . (figure 20)



**Figure 20:** Exemple de courbe intrinsèque obtenue pour les argiles sableuses.

**Tableau 6 : Propriétés mécaniques des argiles sableuses**

Paramètre	Désignation		Nombre échantillons	Valeur			Observation
				Min	Max	Moy	
Compressibilité à l'Oedomètre	Pc	bars	2	2.72	4.18	3.41	Moyennement compressible
	Cc	%	2	13.99	16.21	15.1	
	Cg	%	2	2.59	3.36	2.97	Peu gonflant
Cisaillement rectiligne de type UU	C	bars	2	0.42	0.55	0.32	-
	$\theta$	°	2	15.08	21.95	18.15	-

### II.3.3.2.2. Les caractéristiques mécaniques in situ

#### Essai préssiométrique

Les essais préssiométriques montrent que la pression limite (Pl) varie de 4 à 20 bars avec une moyenne de 10.4 bars, et un module de déformation (E) de l'ordre 48.59 bars, enfin, Le rapport préssiométrique (E/Pl) égale a 4.69. Ceci révèle un sol peu consolidé (tableau 7).

**Tableau 7 : Propriétés mécaniques in situ des argiles sableuses**

Paramètre	Désignation		Nombre échantillons	Valeur			Observation
				Min	Max	Moy	
L'essai préssiométrique	Pl	bars	7	4	20.07	10.4	-
	E	bars	7	10.63	131.1	48.59	-
	Pf	bars	7	3.16	12.61	7.76	-
	E/Pl		7	2.56	8.34	4.69	Sol peu consolidé

**Conclusion :**

L'analyse des quatre coupes lithologiques corrélatives et des propriétés géotechnique des différentes couches indique que le sous-sol de notre secteur d'étude est constitué dans l'ensemble :

- De roches métamorphiques (schistes gris bleu à gris vert et de gneiss gris blanc à gris jaune), qui est compact et très dense.
- Des marnes d'âge Plaisancien, de couleur grise, qui se présentent comme un sol fin, dense, consolidé, plastique, compressible et peu gonflant.
- D'argile sableuse d'âge Astien, cette formation est souvent grésifiée, correspond à un sol fin, moyennement dense, compressible, peu plastique, peu gonflant et peu consolidé.

# **CHAPITRE III :**

## **Etude de bruit de fond**

## **Introduction**

La méthode du rapport spectral H/V a été proposée pour la première fois en 1971 par Nogoshi et Igarashi puis reprise et largement par Nakamura dès 1989 (Nakamura 1989,1996).

Cette méthode par la suite a connu une large diffusion dans le monde, et un franc succès comme outil pour l'étude des effets de site et du microzonage sismique, parce que facile d'utilisation, peu coûteuse et utilisable dans les zones à faible sismicité.

La technique H/V-bruit de fond a été utilisée pour la première fois en Algérie après le séisme de 21 mai 2003. Des études menées conjointement par le CGS (Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Alger) et le LGIT (Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique, Grenoble) se sont orientées, d'une part sur des zones proches de l'épicentre où l'on a observé le plus de dégâts, et dans une moindre part, sur Alger et ses alentours.

L'objectif de ce chapitre est de présenter les résultats de l'analyse des enregistrements H/V des fréquences de résonance du sol, ainsi que leur distribution spatiale.

Par ailleurs, les fréquences de résonance du sol sont corrélées avec la colonne de sol dans notre zone d'étude.

### **III.1. Généralité sur le bruit de fond et la méthode H/V**

#### **III.1.1. Le bruit de fond :**

Le bruit de fond correspond à toute sollicitation, autre qu'un séisme, qui génère des vibrations dans le sol. Les sources du bruit sont diverses et variées : les marées, l'impact des vagues sur le rivage, l'écoulement de l'eau d'une rivière, la pluie ou le vent frappant le sol. Les racines des arbres ou les fondations d'un immeuble vibrant, les machines d'une usine, le roulement des trains et des voitures ou tout simplement un homme qui marche. Donc le microséisme correspond respectivement à des sources d'origine naturelle et anthropique.

Le tableau ci-dessous représente la classification de l'origine du bruit selon la gamme de fréquence.

**Tableau 1** : Origine de bruit de fond en fonction de la fréquence (d'après Bonnefoy-Claudet, 2004)

<b>Fréquence</b>	<b>Origine</b>
<b>F &lt; 1 Hz</b>	Sources naturelle (océans, conditions météorologiques à grande échelle).
<b>1Hz &lt; F &lt; 5Hz</b>	Sources naturelle (conditions météorologiques locales).
<b>F &gt; 5 Hz</b>	Sources sont anthropiques (activités humaines).

Concernant la nature des ondes qui composent le bruit de fond, généralement pour les basses fréquences, il est composé d'ondes de Rayleigh et de Love, tandis que pour les hautes fréquences le bruit est en grande partie composé d'ondes de volume. (*Aki et Richards, 1980 in Benidir et Fernane, 2010*)

La composition du bruit de fond varie selon le rapport entre ces ondes, les caractéristiques de milieu de propagation (nombre de couche), la distance et la nature de la source (superficielle ou profonde, lointaine ou proche)... etc.

### **III.1.1.2. La méthode H/V**

La méthode H/V est une technique qui permet d'estimer la fréquence propre  $f_0$  d'un site donné en effectuant le rapport entre la moyenne des composantes horizontales et la composante verticale des amplitudes spectrales du bruit enregistré.

Lorsque la couche sédimentaire repose sur un substratum (bicouche), et lorsque le contraste d'impédance est suffisamment fort [Bonnefoy-Claudet, 2004], le rapport spectral H/V exhibe un pic, centré sur la fréquence de résonance  $f_0$  de la couche sédimentaire. Dans le cas contraire (contraste d'impédance trop faible), le pic se développe peu (en amplitude) voire pas du tout.

Dans un milieu 1D les vitesses et les épaisseurs sont reliées à la fréquence  $f_0$  par la relation :

$$f_0 = V_s / 4H$$

Avec  $f_0$  : Fréquence de résonance en Hertz

$V_s$  : vitesse des ondes S de Cisaillement en m/s

$H$  : Hauteur de la couche en mètres

### III.2. Acquisition des données de bruit de fond

Nous avons réalisé 84 enregistrements du bruit de fond à l'aide d'une station CytéShark II équipée d'une carte flash pour la récupération des données, et un capteur Lennartz-5secondes (figure 21), dans des conditions météorologiques favorables rependent aux recommandations du projet européen SESAMME [2004], un bon couplage capteur /sol dont l'orientation de capteur est toujours vers le nord, un gain bien réglé pour assurer un bon compromis entre la résolution et la limitation de la saturation des enregistrements.

La durée de chaque enregistrement est de 15 minutes avec une fréquence d'échantillonnage de 200Hz.



**Figure 21** : Appareillage utilisé pour l'enregistrement du bruit de fond.

Toutes les conditions des enregistrements ont été portées sur une fiche de terrain comme par exemple le lieu, l'heure, le numéro de fichier, le gain et les conditions météo ...etc.

(figure 22)

08/04/2014		HEURE	LIEU																																				
OPÉRATEUR AÏROUNE / BERKANE		TYPE de GPS et n° Garmin		Alger Centre																																			
LATITUDE 50 45 44		LONGITUDE 40 69 10		INCERTITUDE																																			
TYPE de STATION CityShark II	N° de STATION	TYPE de CAPTEUR Leinartz 5-secondes	N° de CAPTEUR																																				
NOM DU FICHIER 01010013.098			N° du POINT 01																																				
GAIN	FREQ ÉCHANT 200 Hz	DURÉE ENV 15 minutes																																					
CONDITIONS	VENT: <input checked="" type="checkbox"/> aucun <input type="checkbox"/> faible <input type="checkbox"/> moyen <input type="checkbox"/> fort    Mesure éventuelle: _____ PLUIE: <input checked="" type="checkbox"/> aucune <input type="checkbox"/> faible <input type="checkbox"/> moyenne <input type="checkbox"/> forte    Mesure éventuelle: _____ Température (approx): _____    Remarques: _____																																						
TYPE	<input type="checkbox"/> terre (Compacte / Humide) <input type="checkbox"/> gravier <input type="checkbox"/> sable <input type="checkbox"/> roches <input type="checkbox"/> herbe = <input type="checkbox"/> coccinelle / <input type="checkbox"/> haune																																						
DE SOL	<input type="checkbox"/> pavés <input type="checkbox"/> ciment <input type="checkbox"/> béton <input checked="" type="checkbox"/> pavés <input type="checkbox"/> autre <input checked="" type="checkbox"/> sol sec <input type="checkbox"/> sol mouillé																																						
INTERFACE ARTIFICIEL SOL-CAPTEUR <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> oui, type: _____																																							
URBANISATION <input type="checkbox"/> peu <input type="checkbox"/> dispersée <input checked="" type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> autre, type: _____																																							
TRANSFORMES: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>voitures</th> <th>piétons</th> <th>autres</th> <th>autres</th> <th>autres</th> <th>distance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>voitures</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>piétons</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>autres</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>autres</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				voitures	piétons	autres	autres	autres	distance	voitures		X					piétons	X						autres		X					autres							SOURCES DE BRUIT CONTINUES (maisons, travaux, pompes, rivière...) <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> oui, type: _____	
	voitures	piétons	autres	autres	autres	distance																																	
voitures		X																																					
piétons	X																																						
autres		X																																					
autres																																							
			STRUCTURES PROCHES SIGNIFICATIVES (arbres, poteaux, bâtiments, ponts, structures industrielles) (description, hauteur, distance): Bâtiments de 5-6 étages																																				
OBSERVATIONS Point réalisé au dessus de Bd V le long de la dernière montée avant le grand village.																																							

Figure 22: Fiche de terrain pour les enregistrements

### III.3. Traitement des données

Nous avons récupéré les données des enregistrements, via la carte flash, sur PC avec le logiciel *ReadCity*, et traité les signaux à l'aide du logiciel libre *geopsy* (figure 23) qui a été développé en marge du programme européen SESAME (Site Effets Assessment using Ambient Excitations), par Wathelet ([www.geopsy.org](http://www.geopsy.org)) qui permet de calculer en particulier les rapports H/V.

Ce logiciel traite les données de la façon suivante :

1. Sélection des trois composantes (verticale  $v$ , Nord-Sud  $n$ , et Est-Ouest  $e$ ) d'un signal de bruit de fond sismique ;
2. Recherche des  $N_i$  fenêtres stationnaires simultanément sur les trois composantes, à l'aide d'un anti-trigger LTA /STA (LTA : Long Term Average ; STA : Short Term Average) ;
3. Calcul individuel des spectres de chaque composante  $S_v(N_i)$ ,  $S_n(N_i)$  et  $S_e(N_i)$  sur chacune des  $N_i$  fenêtres par FFT (Fast Fourier Transform) ;
4. Lissage des spectres (pour chacune des  $N_i$  fenêtre) suivant, par exemple, la technique de Konno et Ohmachi (1998), avec un paramètre de lissage  $b$  égale à 40 ;
5. Calcul de la moyenne quadratique des spectres horizontaux lissés  $S_h(N_i)$  (composantes Nord-Sud et Est-Ouest) pour chaque fenêtre ;

$$SH(N_i) = \sqrt{\frac{Sn(N_i)^2 + Se(N_i)^2}{2}}$$

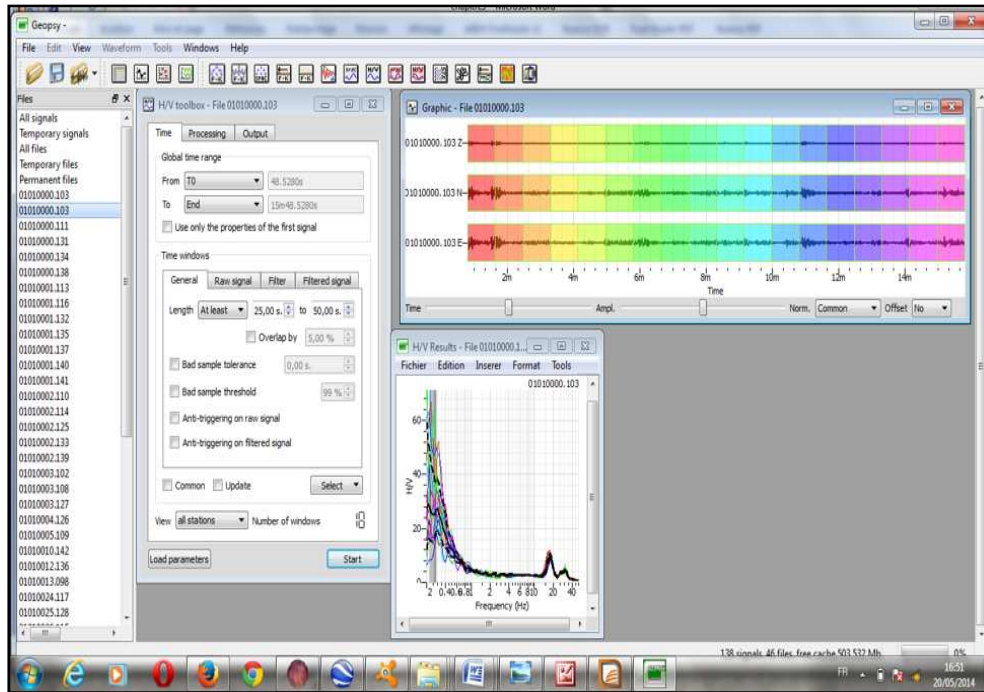
6. Calcul des rapports spectraux H/V ( $N_i$ ) pour chaque fenêtre;

$$H/V(N_i) = \left( \frac{Sh(N_i)}{Sv(N_i)} \right)$$

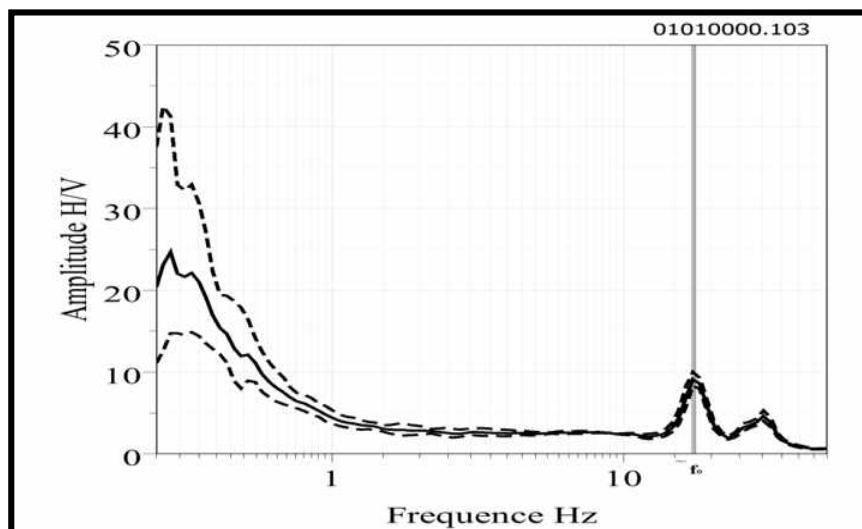
7. Calcul de la moyenne géométrique du rapport spectral H/V sur toutes les fenêtres ;

$$H/V = 10^{\frac{\sum \log_{10}(H/V(N_i))}{N_i}}$$

8. Détermination de la fréquence  $f_0$  à partir du pic de la courbe H/V, lorsqu'il existe (figure 24)



**Figure 23 :** Interface du logiciel geopsy. À droite la fenêtre de visualisation des trois composantes du signal, avec sélection des fenêtres de temps stationnaires (barres colorées), à gauche la fenêtre de paramétrisation, Les courbes colorées correspondent au rapport H/V calculé sur chaque fenêtre sélectionnée. La barre grise indique la fréquence propre du sol avec son écart type (nuances de gris).

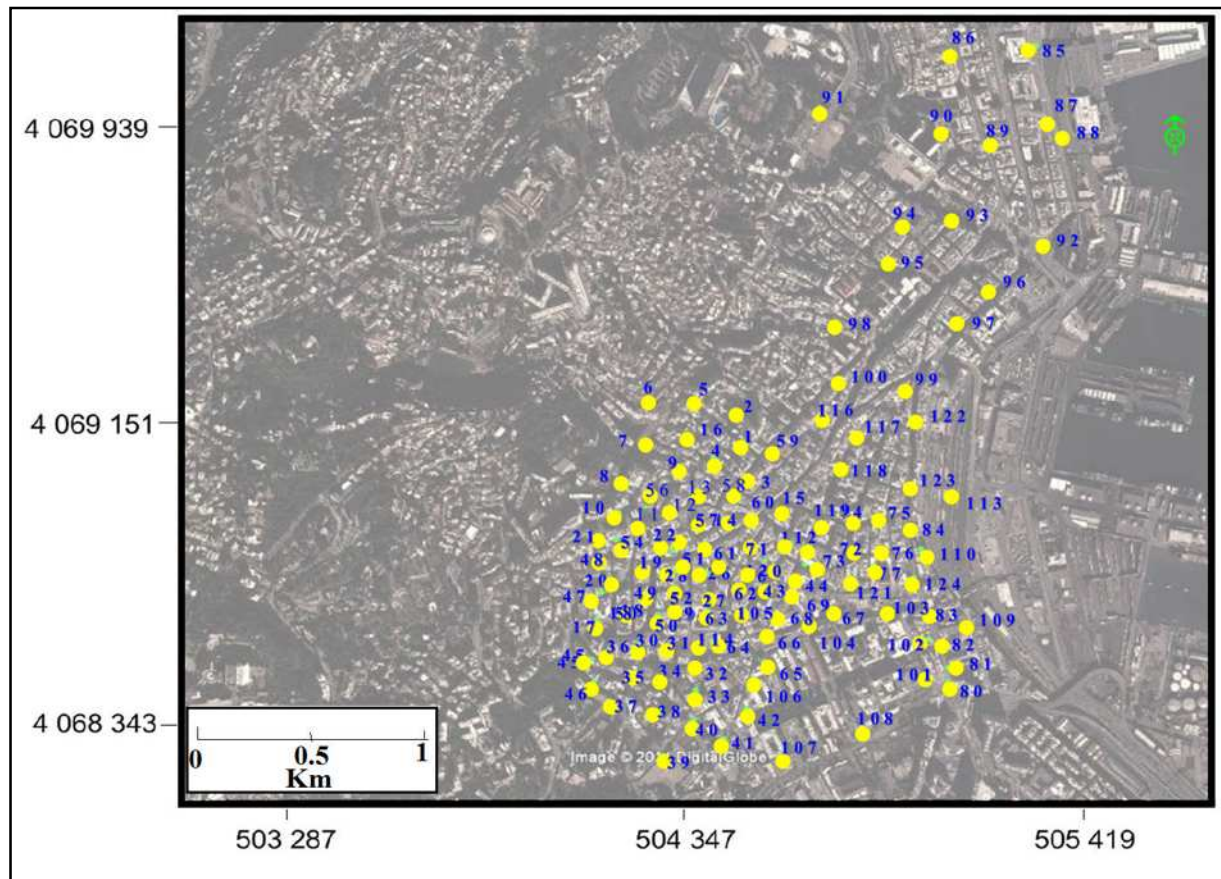


**Figure 24:** Courbe H/V finale avec  $f_0$  la fréquence de résonance, écart type en traits discontinus et la moyenne en trait continu

Pour bien compléter notre travail nous avons intégré les données de 40 enregistrements d'une précédente campagne menée par les étudiants Mokeddem et Ramdani ayant lieu en 2013.

Suivant les recommandations de SESAME (2004), les courbes H/V ont été obtenues sur des fenêtres de 25 à 50 secondes, en utilisant une LTA de 3 secondes et STA de 1 seconde, les rapports LTA/STA minimal et maximal étant, respectivement, de 0.5 et 2.

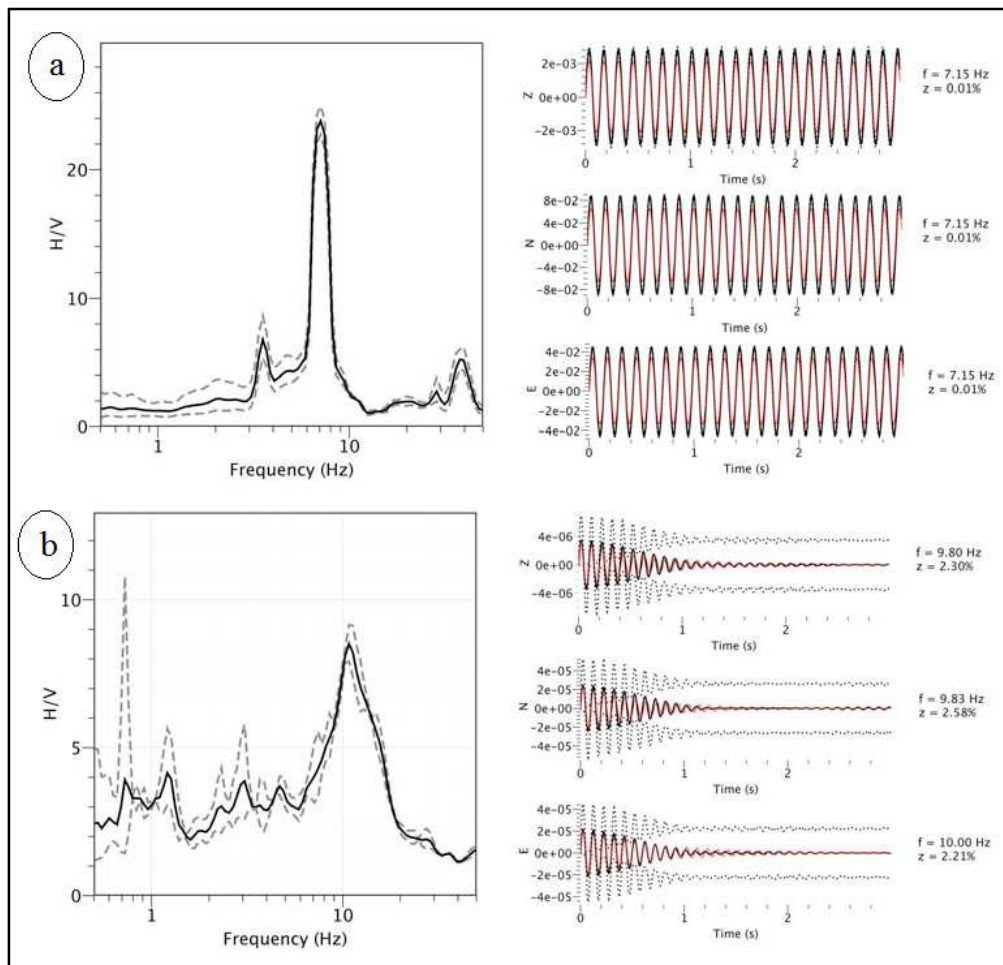
Les 124 enregistrements du bruit de fond du sol obtenu sur les différentes stations dans notre zone d'étude sont présentés sur la carte ci-dessous (figure 25).



**Figure 25 :** Localisation des enregistrements H/V (ronds jaunes). Numéros des enregistrements (couleur bleu) sur fond d'une image satellitaire Google Earth (2013).

### III.4. Résultats et interprétation

Après avoir vérifié que les pics H/V obtenus ne sont pas entretenus (pic d'origine industriel), en calculant la perte d'énergie des vibrations au cours du temps (amortissement), par la méthode des décréments aléatoires par le programme Geopsy, (figure 26) nous avons analysé les courbes H/V dans le but d'identifier les fréquences propres du sol et leur répartition spatiale dans Alger centre et de les classer en fonction de leur allure.



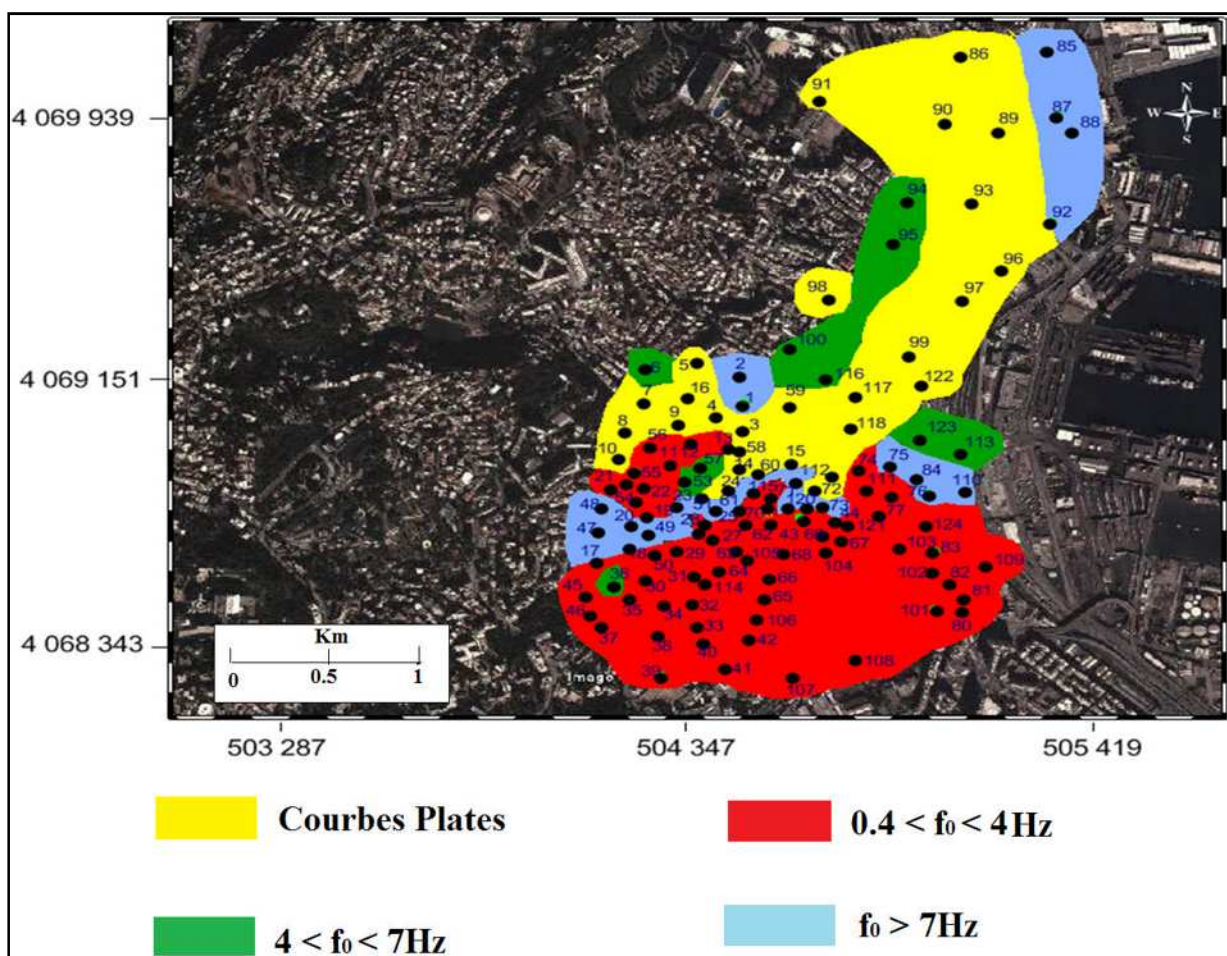
**Figure 26 :** (a) pic H/V d'origine industrielle à gauche et son amortissement à droite ; (b) pic H/V d'origine naturelle à gauche et son amortissement à droite. (In Hellel.2010)

Pour la fréquence de résonance du sol, nous avons pris la fréquence donnée par le premier pic sur le spectre H/V.

### III.4.1. Distribution des fréquences de résonance du sol

Sur les 124 enregistrements, 27 courbes H/V sont complètement plates, 58 courbes H/V présentent des fréquences qui varient entre 0,4 - 4Hz, 29 courbes H/V présentent des fréquences qui varient entre 4 - 7Hz, enfin 10 courbes H/V présentent des fréquences >7Hz.

Les fréquences propres du sol dans la ville d'Alger centre varient entre 0.4 et 18Hz. (figure 27)



**Figure 27 :** Carte de distribution des fréquences propres du sol dans la ville d'Alger centre. Les ronds noirs correspondent aux enregistrements H/V et la couleur bleue nuit correspond aux numéros des enregistrements H/V.

### III.4.2. Classification des courbes H/V en fonction de leur allure

Si on étale la gamme de fréquence jusqu'à 100 Hz on observe des pics à des fréquences très élevées qui peuvent atteindre 80 Hz (voir annexe). Ces pics traduisent la présence d'une fine couche molle à la surface (terre végétale) d'une épaisseur de quelques centimètres à un mètre.

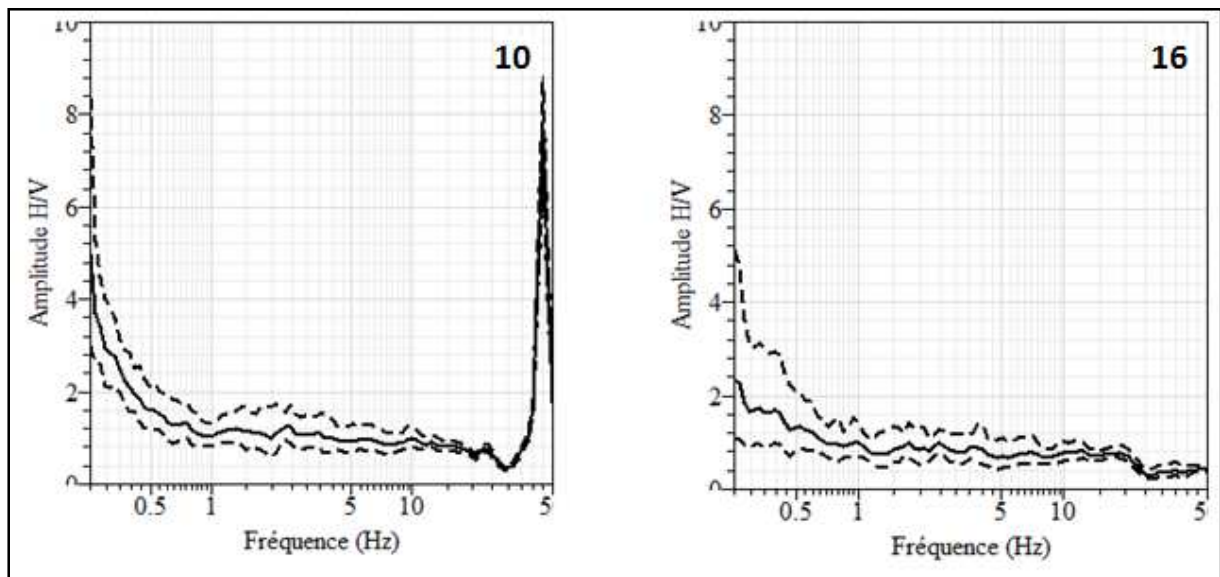
Les courbes H/V obtenues sont en majorité des courbes qui n'exhibent pas de pic clair ou plat. Cependant, certaines exhibent un pic dans la gamme 4-7 Hz et d'autres entre 7 et 18 Hz.

Ces courbes ont été respectivement classées en trois catégories : I, II et III.

- Des courbes H/V plates (catégorie I).
- Des courbes H/V qui exhibent un pic peu clair (catégorie II).
- Des courbes H/V qui exhibent un pic (catégorie III).

#### III.4.2.1. Courbes H/V de la catégorie I

Généralement, ces courbes plates (figure 28) ont été obtenues dans la partie Nord de notre zone d'étude. Ces courbes signifient qu'il existe un faible contraste de vitesse des ondes S entre les sédiments et le substratum.

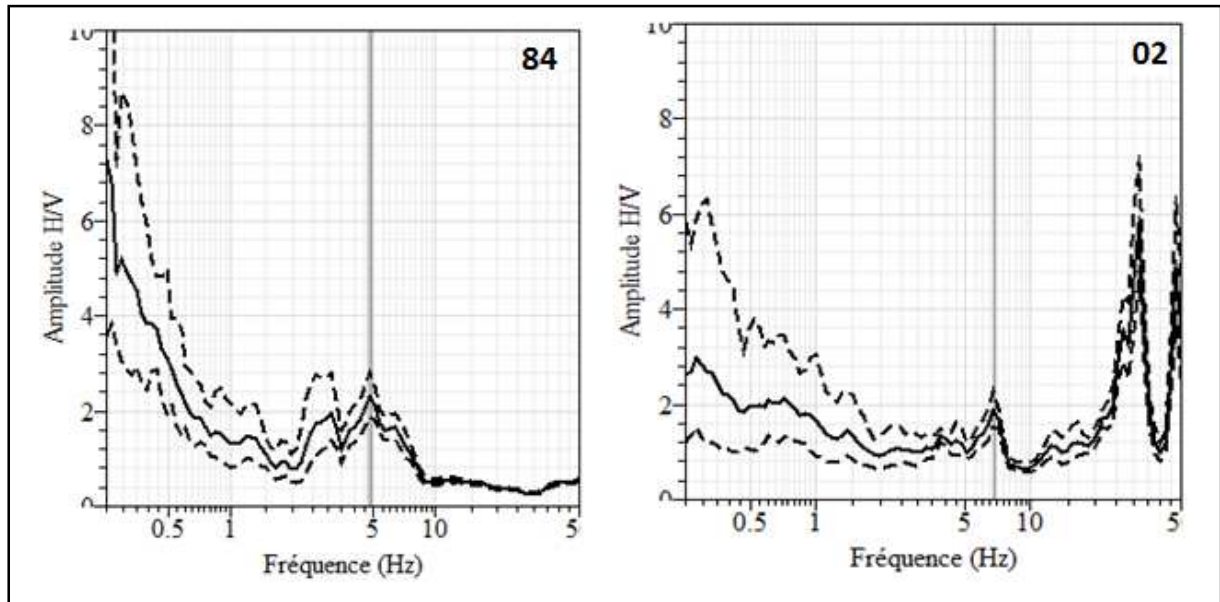


**Figure 28** : Exemple de courbes plates H/V de la catégorie I

### III.4.2.2. Courbes H/V exhibant un pic "peu clair" de la catégorie II :

Ces courbes H/V exhibent un bombement, de faible amplitude, variant entre 1.0 et 2.0 (figure 29), se qui dénoterai un contraste de vitesse faible à moyen.

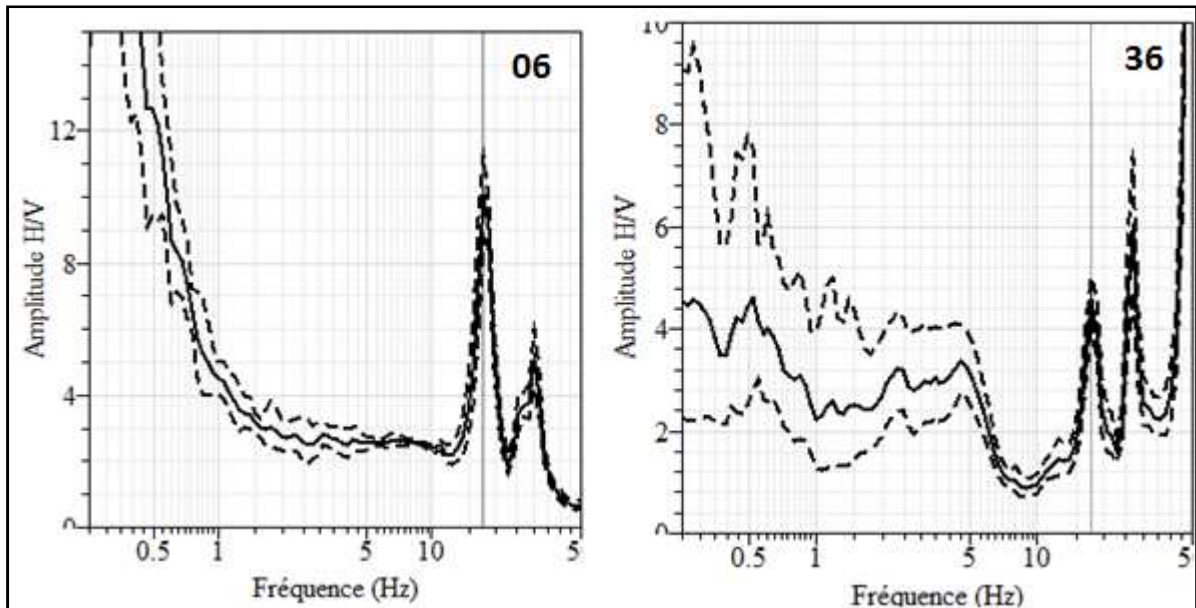
Les pics H/V autour de 4-7 Hz traduisent probablement la réponse d'une couche peu épaisse.



**Figure 29 :** Exemple de courbes H/V exhibant un pic "peu clair" de la catégorie II

### III.4.2.3. Courbes H/V exhibant un pic clair de la catégorie III

Ces courbes présentent un pic clair, avec une fréquence qui varie entre 7 et 18 (figure 30), ce pic traduit l'interface entre toute la colonne sédimentaire et le socle cristallophyllien. La forte amplitude du pic s'explique par l'existence d'un fort contraste de vitesse entre le sédiment et le substratum.



**Figure 30 :** Exemple de courbes H/V exhibant un pic clair de la catégorie III

### III.4.3. Corrélation des fréquences propres du sol avec la lithologie

La corrélation des fréquences de résonance du sol avec la lithologie du site étudié nous a permis de diviser notre secteur en deux parties :

- **La partie 1 :** Occupe le Nord où le socle cristallophyllien est peu profond, recouvert par une mince couche de sédiment. Ceci explique la présence de courbes H/V plates et celle présentant un pic à haute fréquence ( $> 7$  Hz).
- **Partie 2 :** Occupe le Sud où la série sédimentaire, constituée d'argile, et de marnes, et de grès est plus épaisse. Ceci s'explique par la présence de courbes exhibent des pics à faible fréquence (0.4- 4 Hz) et celles présentant un pic qui varie entre 4 et 7Hz.

## **Conclusion**

L'application de la méthode H/V-bruit de fond pour la détermination des fréquences de résonances du sol, présente des avantages d'utilisation :

- La facilité de mise en place du dispositif et la manipulation des instruments, la rapidité du travail de terrain et la facilité de traitement des données.
- Les enregistrements H/V sont exploitables malgré le bruit intense des voitures circulant sur les voies avoisinantes ; elle peut donc être utilisée sans perturber le quotidien des gens.
- Ces enregistrements peuvent être effectués indifféremment sur tous types de revêtement artificiel (Béton, goudron, pavé...) ou sur le sol lui-même.

La méthode H/V-bruit de fond, a permis d'exclure, dans la majeure partie du site d'étude, l'existence d'un effet d'amplification des ondes, puisque la majorité des courbes H/V n'exhibant pas de pic clair ou sont plates, ce qui permet de conclure qu'on est en présence d'un substratum.

# **Conclusion Générale**

Ce travail a consisté à étudier et synthétiser les différentes caractéristiques géologiques et géotechniques ainsi que l'évaluation des fréquences de résonance du socle d'Alger.

Les données géologiques et les caractéristiques géotechniques récoltées au cours de notre travail, révèlent que le sol de notre zone d'étude, est constitué de roches métamorphiques qui sont compacts et très denses, des marnes d'âge Plaisancien et d'argile sableuse d'âge Astien

L'analyse des enregistrements H/V-bruit de fond nous a permis d'établir la distribution spatiale des fréquences de résonance du sol dans le secteur d'étude. Elle révèle une zone de basses fréquences, entre 0.4 et 4 Hz au Sud de notre zone. Une deuxième zone de fréquences du sol variant entre 4 et 7 Hz au Nord de la première zone et au Nord-Est du site d'étude et la troisième zone de fréquence supérieure à 7 Hz au centre de secteur d'étude.

Les courbes H/V plate obtenus dans la partie Nord de notre secteur d'étude montrent que le risque d'effet de site en cas de séisme est faible, dans cette partie le socle cristallophyllien est peu profond et cette remonté est due peut être à un accident tectonique. Néanmoins, le risque est plus important vers la partie Sud (1ère mai) où les courbes exhibent des pics entre 0.4 et 4 Hz. Ces pics sont la réponse d'une série sédimentaire plus épaisse mis en évidence par les sondages ainsi que les essais géophysiques.

Il s'avère donc indispensable de respecter les règles parasismiques algériennes (RPA 2003) dans le but d'assurer une protection acceptable des vies humaines et des constructions

Avant d'achever ce travail, quelques recommandations sont indispensables afin de compléter l'étude dans un détail plus précis :

- Etendre et densifier, l'étude H/V-bruit de fond pour toute la wilaya d'Alger;
- Détermination des fréquences fondamentales des structures (pents et immeubles) ;
- Des mesures de vitesses des ondes de cisaillement dans le sol ;

# **Annexe**

**Annexe 1** : *Tableau des enregistrements et leurs fréquences de résonances*  
(Compagne 2014)

<b>X (m)</b>	<b>Y(m)</b>	<b>Fichier</b>	<b>Station</b>	<b>f<sub>0</sub> (Hz)</b>
504556	4069086	01010013.098	1	6
504542	4069163	01010051.099	2	6,8
504555	4068996	01010117.100	3	PI
504475	4069053	01010151.101	4	PI
504423	4069199	01010003.102	5	PI?
504311	4069201	01010000.103	6	17
504306	4069090	01010027.104	7	PI
504242	4068992	01010050.105	8	PI
504383	4069025	01010128.106	9	PI
504216	4068910	01010202.107	10	PI
504287	4068925	01010003.108	11	PI
504351	4068923	01010005.109	12	1.25
504433	4068948	01010002.110	13	0,4
504519	4068894	01010000.111	14	pl
504651	4068902	01010029.112	15	PI
504412	4069101	01010001.113	16	PI
504144	4068628	01010002.114	17	6
504250	4068650	01010026.115	18	4,5
504261	4068748	01010001.116	19	1
504173	4068736	01010024.117	20	6
504205	4068840	01010053.118	21	0,9
504263	4068830	01010117.119	22	1
504356	4068808	01010145.120	23	1,2
504445	4068827	01010209.121	24	PI

504445	4068752	01010232.122	25	5
504549	4068752	01010258.123	26	3,7
504442	4068687	01010321.124	27	3,5
504359	4068753	01010002.126	28	1,3
504346	4068655	01010003.127	29	3,8
504255	4068560	01010025.128	30	4,5
504325	4068552	01010101.129	31	PI
504394	4068502	01010123.130	32	2,6
504399	4068436	01010000.131	33	2
504301	4068472	01010001.132	34	3
504242	4068482	01010002.133	35	2,3
504170	4068529	01010000.134	36	17
504164	4068408	01010001.135	37	2
504304	4068380	01010012.136	38	2,4
504297	4068262	01010001.137	39	1,3
504389	4068357	01010000.138	40	1,5
504464	4068308	01010002.139	41	1,5
504531	4068385	01010001.140	42	2,3
504603	4068714	01010001.141	43	4
504682	4068739	0101002.142	44	2,5
504123	4068521	01010002.143	45	2,5
504128	4068462	01010001.144	46	1,8
504159	4068698	01010003.145	47	5,8
504161	4068779	01010000.146	48	4
504283	4068697	01010002.147	49	6
504306	4068638	01010004.148	50	4

504389	4068768	01010028.149	51	2,6
504356	4068696	01010048.150	52	4
504378	4068823	01010000.151	53	17
504234	4068841	01010002.152	54	IND?
504268	4068870	01010000.153	55	3
504298	4068949	01010000.154	56	2,5
504419	4068882	01010001.155	57	18
504527	4068941	0101002.156	58	5
504631	4069063	01010003.157	59	PI
504570	4068885	01010001.158	60	PL
504472	4068771	01010002.159	61	6,4
504537	4068714	01010000.160	62	4
504441	4068648	01010001.161	63	3,6
504451	4068562	01010001.162	64	4
504582	4068510	0101001.163	65	2,6
504606	4068578	1010000.164	66	3,5
504775	4068651	01010001.165	67	2,5
504627	4068630	01010005.166	68	5
504662	4068694	01010002.167	69	2,8
504638	4068758	1010003.168	70	4,5
504603	4068805	01010000.169	71	PI
504720	4068820	01010002.170	72	PI
504740	4068772	01010003.171	73	5
504846	4068878	01010001.172	74	3,5
504913	4068892	1010003.173	75	10
504914	4068803	01010001.174	76	2,8

504888	4068767	01010020.175	77	2,6
504865	4068714	01010002.176	78	2,5
504915	4068710	01010003.177	79	2,8
505073	4068459	01010001.178	80	1,5
505074	4068493	01010001.179	81	1,2
505053	4068561	0101001.180	82	PI
505035	4068634	01010001.181	83	2,5
504991	4068858	01010000.182	84	5

**Annexe 2 : Tableau des enregistrements et leurs fréquences de résonances**  
(Compagne 2013)

<b>X(m)</b>	<b>Y(m)</b>	<b>Fichier</b>	<b>Station</b>	<b>F<sub>0</sub> (Hz)</b>
505394	4070151	01010000.183	85	4<fo<7
505163	4070137	01010000.184	86	PI
505421	4069948	01010000.185	87	4<fo<7
505454	4069824	01010000.186	88	4<fo<7
505266	4069897	01010000.187	89	PI
505131	4069928	01010000.188	90	PI
504806	4069990	01010000.189	91	PI
505388	4069627	01010000.190	92	PI
505141	4069692	01010000.191	93	PI
505013	4069672	01010000.192	94	f0>7
505242	4069706	01010000.193	95	f0>7
504976	4069574	01010000.194	96	f0>7
505242	4069506	01010000.195	97	PI
504815	4069404	01010000.196	98	pl
504994	4069227	01010000.197	99	PI
504810	4069258	01010000.198	100	f0>7
505020	4068458	01010000.199	101	1,3-4
505029	4068570	01010000.200	102	1,3-4
504929	4068651	01010000.201	103	1,3-4
504708	4068629	01010000.202	104	1,3-4
504538	4068649	01010000.203	105	1,3-4
504555	4068468	01010000.204	106	1,3-4
504617	4068257	01010000.205	107	1,3-4
504835	4068328	01010000.206	108	1,3-4
505127	4068601	01010000.207	109	1,3-4
505021	4068810	01010000.208	110	4<fo<7
504850	4068808	01010000.209	111	1,3-4
504670	4068830	01010000.210	112	4<fo<7
505111	4068943	01010000.211	113	f0>7
504422	4068549	01010000.212	114	PI
504568	4068805	01010000.213	115	1,3-4
504772	4069159	01010000.214	116	f0>7
504852	4069100	01010000.215	117	PI
504826	4069026	01010000.216	118	PI
504764	4068864	01010000.217	119	PI
504707	4068768	01010000.218	120	1,3-4
504825	4068737	01010000.219	121	1,3-4

505022	4069155	01010000.220	122	PI
504997	4068964	01010000.221	123	f0>7
504997	4068735	01010000.222	124	1,3-4

**Annexe 3 : Tableau relatif aux paramètres physiques**

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

**Annexe 4 : Essai d'identification physique**

❖ **Tableau relative 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
1 < Sr < 25%	Légèrement humide
Sr = 0 %	

❖ **Tableau de poids volumique sec :**

<b>Poids volumique sec (<math>\gamma_d</math>)</b>	<b>Appréciation</b>
$\gamma_d < 1.6$	Faible
$1.6 < \gamma_d < 1.8$	Moyenne
$\gamma_d > 1.8$	Dense

❖ **Tableau relative à la plasticité (Atterberg) :**

<b>Indice de plasticité (<math>I_p</math> %)</b>	<b>Appréciation</b>
$I_p = 0$	Plastique nulle
$I_p < 7$ %	Peu plastique
$7 < I_p < 17$ %	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 relative 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

**Annexe 5 : Essai de compressibilité des sols**

❖ **Tableau relative à la compressibilité des sols :**

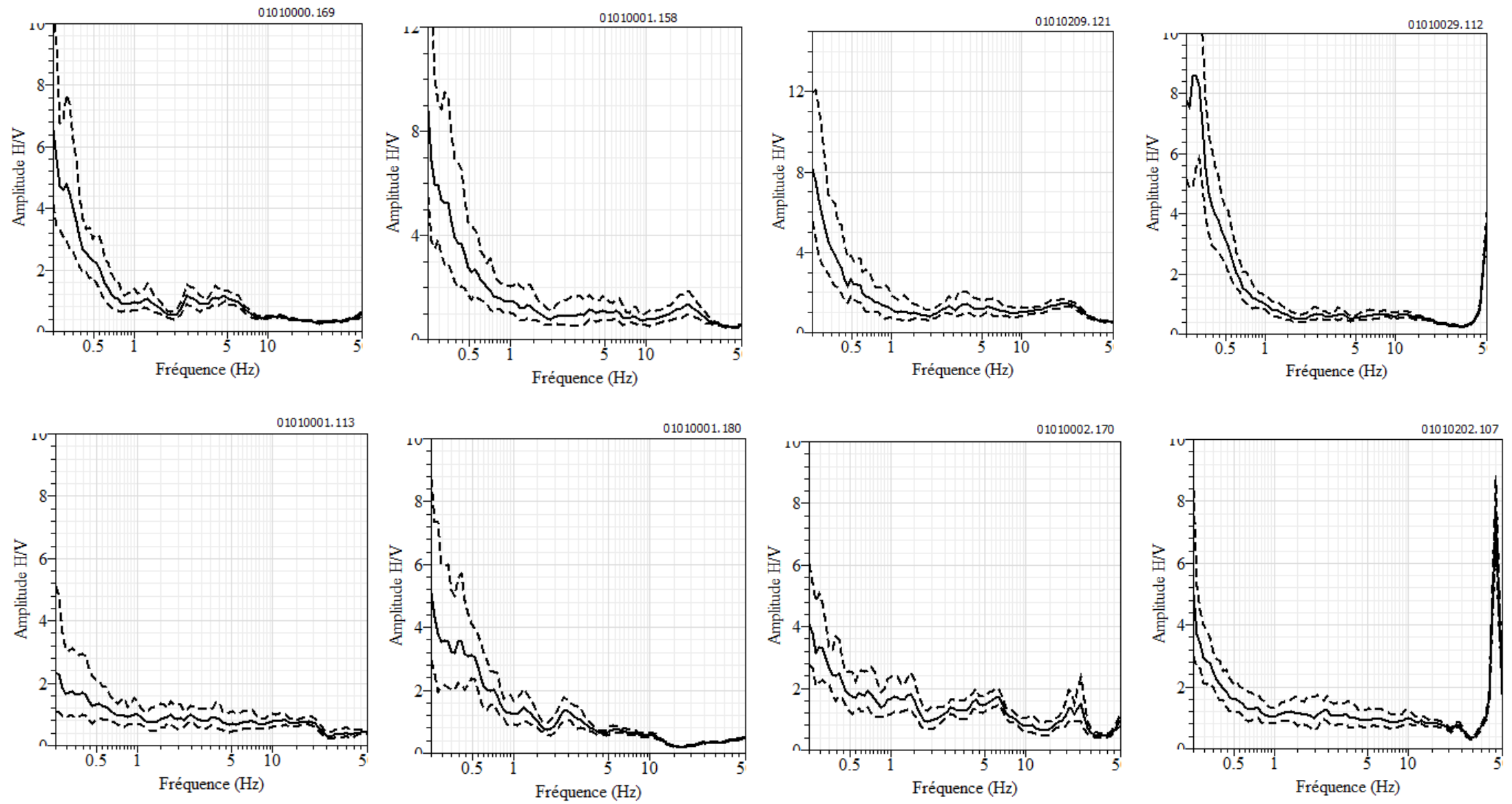
Indice de compressibilité (Cc)	Appréciation
$Cc < 0.02$	Sol incompressible
$0.02 < Cc < 0.05$	Sol très incompressible
$0.05 < Cc < 0.10$	Sol peu compressible
$0.10 < Cc < 0.20$	Sol de compressibilité moyenne
$0.20 < Cc < 0.30$	Sol assez compressible
$0.30 < Cc < 0.50$	Sol très compressible

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

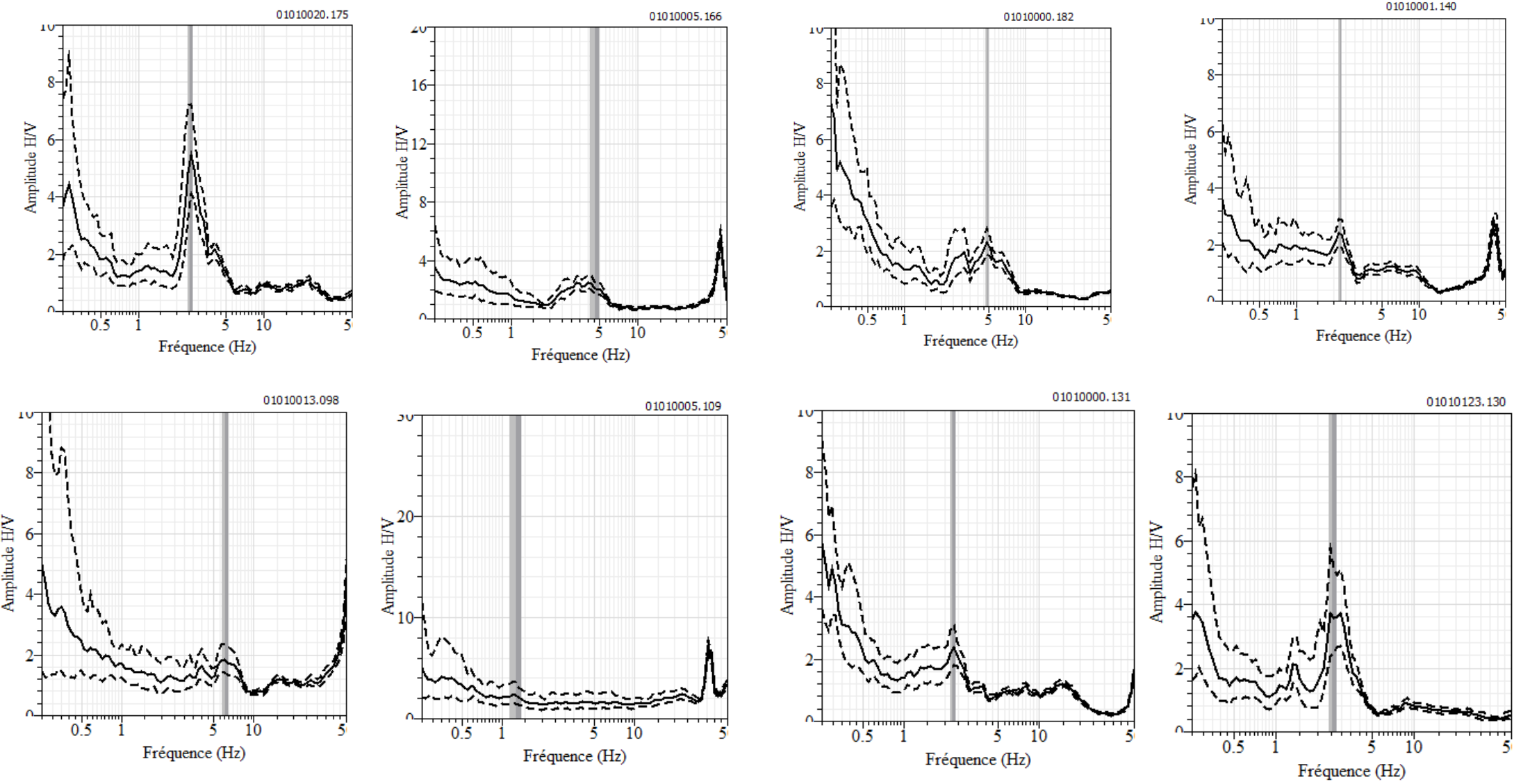
Coefficient de gonflement (Cg %)	Appréciation
$0.04 < Cg < 0.25$	Sol gonflant
$0.02 < Cg < 0.04$	Sol peu gonflant

❖ **Tableau relative à l'état de consolidation des sols d'après (G.FLLLIAT) :**

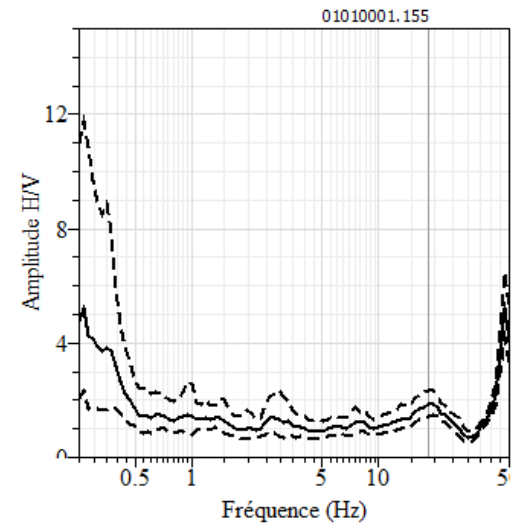
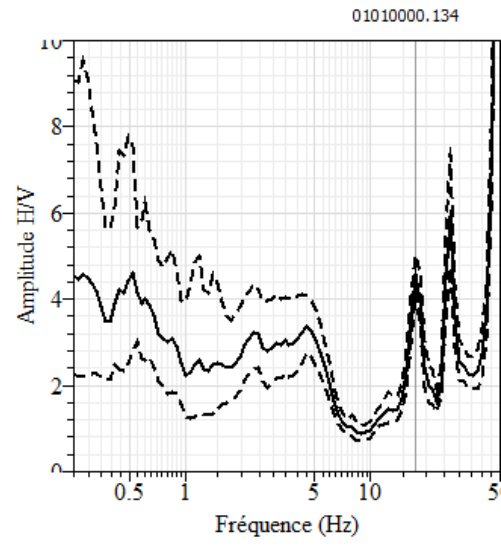
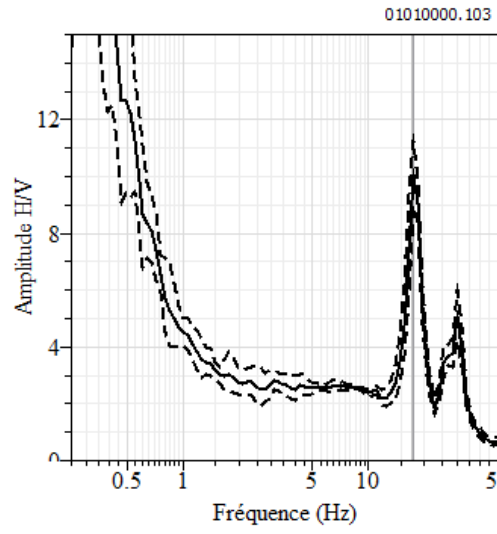
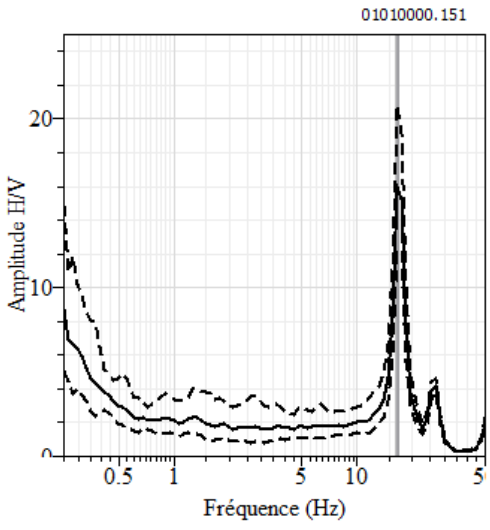
Type de sol	Argile	Limon	Sable	Sable et gravier
Etat du sol				
Sur consolidé	$E/P \geq 15$	$E/PI \geq 14$	$E/PI \geq 12$	$E/PI \geq 10$
Normalement consolidé	$8 < E/PI < 15$	$8 < E/PI < 14$	$7 < E/PI < 12$	$3 < E/PI < 10$
Sous consolidé	$5 < E/PI < 8$	$5 < E/PI < 8$	$4 < E/PI < 7$	$3 < E/PI < 6$
Altéré ou remanié	$E/PI < 5$	$E/PI < 5$	$E/PI < 4$	$E/PI < 3$



**Annexe 6:** Exemple de courbes plates H/V de la catégorie I



**Annexe 7 :** Courbes H/V obtenus à partir d'enregistrement de bruit de fond (Catégorie II : 1– 7 Hz)



**Annexe 8** : Exemple de courbes H/V exhibant un pic clair de la catégorie III

# **Références**

# **Bibliographies**

**Ameziane 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, 95 p.

**Aymé A. (1964).** *Carte géologique au 1/50000 Alger. N°21. Carte géologique d'Alger.*

**Benallal K., Ourabia K. (1988).** *Monographie géologique et géotechnique de la région d'Alger.* Office des publications universitaires, 109 p.

**Benidir N., Fernane L. (2010).** *Détermination des fréquences de résonance du sol par la méthode H/V-bruit de fond dans la région d'Hussein Dey.* Mémoire d'ingénieur-ESSMAL, 57 p.

**Beldjoudi H. (2011).** *Etude de la sismicité du nord Algérien,* Thèse de doctorat, université ABOU BEKR BELKAID-Tlemcen, 141 p.

**Berkenennou N. (2012).** *Inventaire des ouvrages de protection sur la côte algéroise ; avantages et inconvénients.* Mémoire d'ingénieur-ESSMAL-Alger, 65 p.

**Bougherara H. (2011).** *Caractérisation géologique et géotechnique de la partie occidentale de la baie d'Alger.* Mémoire d'ingénieur-ESSMAL-Alger, 60 p.

**Boukhrouf M., Cherifi E. (2012).** *Evaluation des fréquences de résonance du sol de l'Est de la baie d'Alger par la méthode H/V-bruit de fond.* Mémoire d'ingénieur-ESSMAL- Alger, 55 p.

**Hamga M., Sayad R. (2006).** *Application de la méthode H/V-bruit de fond au glissement de terrain de Telemly-Alger.* Mémoire d'ingénieur (USTHB)- Alger, 62 p.

**Hellel M. (2010).** *Utilisation du bruit de fond pour l'évaluation de la structure géologique 3D : application à trois sites en contexte de forte sismicité.* Thèse de doctorat, USTHB-Alger. 170 p.

**Glangeaud L., Ayme A., Caire A., Mataeur M., Maraour P. (1952).** *Histoire géologique de la province d'Alger.* Publication XIX éme CGI. Alger 1952, Monographie Région, 1ère série Algérie

**Geomatrix. (1998).** *Analyse probabiliste de l'alea sismique de la wilaya d'Alger.*

**JICA.** Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, C.G.S. (2006). *Étude de Microzonage sismique de la Wilaya d'Alger*, 319 p.

**Kabben O. (2012).** *Identification hydrodynamique d'un système aquifère hétérogène (exemple de la Mitidja orientale)*. Thèse de magister, en science de la terre, hydrogéologie, USTHB- Alger, 70 p.

**Khoukhi S., Mekarnia H. (2002).** *Etude géologique et géotechnique et prèdimensionnement du tunnel du métro d'Alger (tunnel sous le CHC Mustapha)*. Mémoire d'ingénieur USTHB- Alger, 58 p.

**Mokeddem S., Ramdani I. (2013).** *Evaluation des fréquences de résonnance du sol dans Alger centre*. Mémoire d'ingénieur-ESSMAL- Alger, 70 p.

**Saadallah A. (1981).** *Le massif cristallophyllien d'El Djazair (Algérie), évolution d'un charriage à vergence Nord dans les Interniez des Maghrébides*. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle. I.S.T-B U.S.T.H.B, 250 p.

**Yelles (2006).** *La tectonique active de la région, nord algérienne, Comptes rendus des Géosciences*.