

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'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

**Evaluation des fréquences de résonance
du sol dans Alger Centre**

Préparé par :

- MOKEDDEM Sara
- RAMDANI Izzeddine

Soutenu le 01/07/2013 devant le jury suivant :

Mr BELKESSA. R	Professeur (ENSSMAL)	Président
Mr HELLEL. M	Maître de Conférences (ENSSMAL)	Promoteur
M^{me} MEHDID. S	Chargé de cours (ENSSMAL)	Examinatrice
Mr MACHANE. D	Maître de Recherches (CGS)	Examineur

Promotion : 2013

Remerciements

Au terme de ce travail, nous remercions Dieu le Tout-Puissant pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

A cet effet, nous remercions Monsieur HELLEL.M, d'avoir accepté de diriger et de suivre constamment la progression de ce travail par ses suggestions.

Nous tenons à remercier Monsieur BELKESSA.R, d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.

C'est avec un grand plaisir que nous remercions Madame MEHDID. S, pour avoir pris le temps d'examiner ce travail.

Nous remercions Monsieur MACHANE. D, d'avoir aimablement accepté d'évaluer ce modeste travail.

Nous tenons à remercier nos chers parents et famille qui nous ont constamment aidés de leurs conseils, encouragements, et de leur soutien moral tout le long de nos études.

Enfin, nous tenons vivement à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce présent mémoire.

Je dédie ce travail

Avant tout, à Mes chers parents pour leur
grand amour, leur générosité et leurs
sacrifices

A ma très chère grande mère Meryem

A mes sœurs Noussa et Imen

A mes frères Sif et Akrem

A mon beau-frère Mohamed

A tous mes amis de l'ENSSMAL et surtout
les aménagistes (promotion 2013)

A toute ma famille et la famille de mon
binôme.

Et à tous ceux qui m'aiment.

AZZOU

Dédicace

A ma chère mère : 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.

*In memoriam : à mon père, que le Bon DIEU vous accorde la vie éternelle dans son vaste paradis.
Amen !*

A mon frère et mes sœurs : Mohamed Badre dinne, Fatima, khawla, Malika et Amina, J'ai beaucoup apprécié l'estime et l'amour fraternel que vous me portez, et surtout votre soutien malgré la distance.

A mes beaux-frères : Saïd, Ahmed.

A mes nouveaux et ma nièce : Yasser, Rayen, Ishak et Nesrine.

A toute la famille Mokeddem et Brahmî.

A mon ami Izzeddine : ce travail vous est dédié spécialement à vous car sans vous il ne sera rien.

A mes chers amis : Meryem, Imane, Mahdjouba, Mira, Hanya, Karima, Wassila, Abdou , Rafik, djebara Younes, Younes, Badro, Mouloude,

Et A tous mes amis(es), sans exception, je ne pourrai vous oublier un jour.

Sara

Sommaire

Sommaire

Introduction générale	2
Chapitre I : Généralités	4
I. Situation géographique	5
II. Aperçu sur la géologie régionale	6
II.1. Le Primaire	6
II.2. Le Secondaire	6
II.3. Le Tertiaire	6
II.3.1. Le Miocène	6
II.3.2. Le Pliocène	6
II.4. Le Quaternaire	7
III. Aperçu hydrogéologique	9
IV. Aperçu sismotectonique	10
IV.1. Aperçu sur la sismicité historique de l'Algérois	10
IV.2. Tectonique régionale et failles actives	11
IV.3. Classification des zones sismiques	14
Chapitre II : Caractéristiques géologiques et géotechniques du site d'étude	15
I. La géologie de surface	16
II. Lithologie du secteur d'étude.....	17
II.1. Les roches métamorphiques du primaire	20
II.2. Les marnes du Plaisancien	20
II.3. Les formations astiennes	20
II.4. Les formations quaternaires	20
III. Caractéristiques géotechniques des formations lithologiques	21
III.1. Les argiles sableuses de l'Astien	21
III.1.1. Caractéristiques physiques	21
III.1.2. Caractéristiques mécaniques	23
III.1.3. Caractéristiques mécaniques in situ	24
III.2. Les marnes grises du Plaisancien	25
III.2.1. Caractéristiques physiques	25
III.2.2. Caractéristiques mécaniques	27
III.2.3. Caractéristiques mécaniques in situ	28
III.3. Socle cristallophyllien	29

Chapitre III : Méthode HV- Bruit de Fond	31
I. Définition des effets de site	32
II. Origine et nature du bruit de fond	33
III. La méthode H/V-bruit de fond	34
IV. Acquisition des enregistrements H/V-bruit de fond	35
V. Traitement des données	38
VI. Résultats et interprétation	40
VI.1. Classement des courbes en fonction de l'allure	42
VI.1.1. Courbes H/V plates	43
VI.1.2. Courbes H/V qui présentent un bombement	43
VI.1.3. Courbes H/V qui exhibant un pic	44
VI.2. Classement des courbes H/V selon la fréquence de résonance.....	44
VI.3. Corrélation des fréquences propres du sol avec la lithologie.....	45
Conclusion générale	48
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des acronymes

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydraulique.

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

CRAAG: Centre de Recherche en Astronomie Astrophysique et Géophysique.

JICA : Agence Japonaise de Coopération Internationale.

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: <i>Situation géographique de la zone d'étude, extraite de la carte topographique d'Alger au 1/10 000</i>	5
Figure 2: <i>Carte géologique d'Alger et ses environs [JICA, 2006]</i>	8
Figure 3: <i>Réseau hydrographique d'Alger [JICA, 2006]</i>	9
Figure 4: <i>Carte du niveau piézométrique de la nappe souterraine dans la région d'Alger (Altitude en mètre) [JICA, 2006]</i>	10
Figure 5: <i>Carte sismotectonique de la région d'Alger (CRAAG, 1994) [in Cheikh Lounis.2011]</i>	12
Figure 6: <i>Cadre tectonique de la région d'Alger [Meghraoui, 1988]</i>	13
Figure 7: <i>Classification en zones sismiques des Wilayas d'Algérie (CGS, 2003)</i>	14
Figure 8: <i>Lithostratigraphie du site d'étude, extraite de la carte géologique d'Alger (le service de la carte Géologique de l'Algérie, 1964)</i>	16
Figure 9: <i>Localisation des sondages carottés, sur fond d'une image satellitaire Google Earth (2012)</i>	17
Figure 10: <i>Coupe lithologique corrélative AA', BB' (Bougherara, 2011) (modifiées)</i>	18
Figure 11: <i>Coupe lithologique corrélative CC</i>	19
Figure 12: <i>Photo montrant des carottes de marnes grises et l'argile sableuse (TREVI, 2012)</i>	20
Figure 13: <i>Fuseau granulométrique des argiles sableuses</i>	22
Figure 14: <i>Classification des argiles sableuses dans le diagramme de Casagrande</i>	23
Figure 15: <i>Courbe intrinsèque des argiles sableuses</i>	24
Figure 16: <i>Fuseau granulométrique des marnes</i>	26
Figure 17: <i>Classification des marnes dans le diagramme de Casagrande</i>	27

Figure 18: <i>Courbe intrinsèque des marnes</i>	28
Figure 19: <i>Schéma explicatif des effets de site ; (a) Effet de site topographique ; (b) Effet de site lithologique</i>	33
Figure 20: <i>Appareillage utilisé pour l'enregistrement du bruit de fond</i>	35
Figure 21: <i>Fiche d'enregistrements H/V</i>	37
Figure 22: <i>Localisation des enregistrements H/V sur fond d'une image satellitaire Google Earth (2012)</i>	38
Figure 23: <i>Interface du logiciel geopsy.</i>	40
Figure 24: <i>(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]</i>	41
Figure 25: <i>Distribution spatiale des courbes H/V, Les chiffres correspondent aux fréquences des pics H/V sur fond d'une image satellitaire Google Earth (2012)</i>	42
Figure 26: <i>Exemples de courbes H/V plates</i>	43
Figure 27: <i>Exemples de courbes H/V exhibant un bombement</i>	43
Figure 28: <i>Exemples de courbes H/V exhibant un pic</i>	44
Figure 29: <i>Carte de distribution des fréquences propres du sol à Alger centre sur fond d'une image satellitaire Google Earth (2012)</i>	45

Liste des tableaux

Tableau 1: <i>Principaux séismes de la région algéroise (CGS, 1998, in JICA 2006)</i>	11
Tableau 2: <i>Caractéristiques géotechniques des argiles sableuses de l’Astien</i>	25
Tableau 3: <i>Caractéristiques géotechniques des marnes du Plaisancien</i>	29

Introduction générale

Introduction générale

Le 19 septembre 1985, un séisme de magnitude 8.1 s'est produit à Michoacán, au niveau de la zone de subduction du Mexique. Les dégâts sont très inégalement répartis et les plus importants n'ont pas été enregistrés dans la zone épacentrale. La ville de Mexico, située à environ 400 km de l'épicentre, a connu d'importants dommages et des milliers de morts. Autant de dégâts, si loin de l'épicentre, sont dus à une forte amplification des ondes sismiques dans le bassin sédimentaire de la ville de Mexico, connue sous le nom de l'effet de site.

On appelle 'effets de site' les phénomènes conduisant à la modification des caractéristiques spectrales, spatiales et temporelles du signal sismique en fonction des conditions géologiques et topographiques locales [Bourdeau, 2005].

Notre site d'étude est situé dans une zone de forte sismicité, il est important d'évaluer les effets de site qui font parties des moyens permettant de définir le risque sismique dans une zone donnée afin de le réduire.

Le but de ce travail est d'évaluer les effets de site dans la zone d'Alger centre, en mesurant les fréquences de résonance du sol. A cet effet, nous avons utilisé 40 enregistrements H/V.

Ce mémoire est organisé comme suit :

- Le premier chapitre comprendra le cadre général de notre zone d'étude (situation géographique, géologie régionale et sismicité).
- Le deuxième chapitre consiste à synthétiser la géologie locale et la lithologie du sous-sol de la zone d'étude et à caractériser les couches du point de vue géotechnique et géophysique. Cette étape s'est faite sur la base de données diverses (géologique, géotechnique, géophysique) puisées dans différents documents (cartes, mémoires, rapports de sol...).
- Dans le troisième chapitre nous avons évalué les fréquences de résonance du sol à partir de l'acquisition et le traitement d'enregistrements de bruit de fond (vibrations ambiantes). Ces fréquences sont corrélées à la lithologie.

Introduction générale

Enfin, on termine le travail par une conclusion et des recommandations.

Chapitre I

Généralités

I. Situation géographique

La commune d'Alger-Centre est délimitée à l'Est par le port d'Alger, à l'Ouest par les communes d'Oued Koriche et d'El-Biar, au Nord par la commune de la Casbah, au Sud par celles de Sidi M'Hamed et de Belouizdad (Figure1).

Notre zone d'étude est comprise entre la place du 1^{er} Mai et la Grande Poste, située dans la partie occidentale de la baie d'Alger.

Les coordonnées de la zone d'étude sont : X : 504230 à 505570 ; Y : 4068240 à 4070410

Du point de vue morphologique, la partie Est de notre secteur d'étude est relativement plate en revanche la partie Ouest est plus élevée pouvant atteindre 120m.

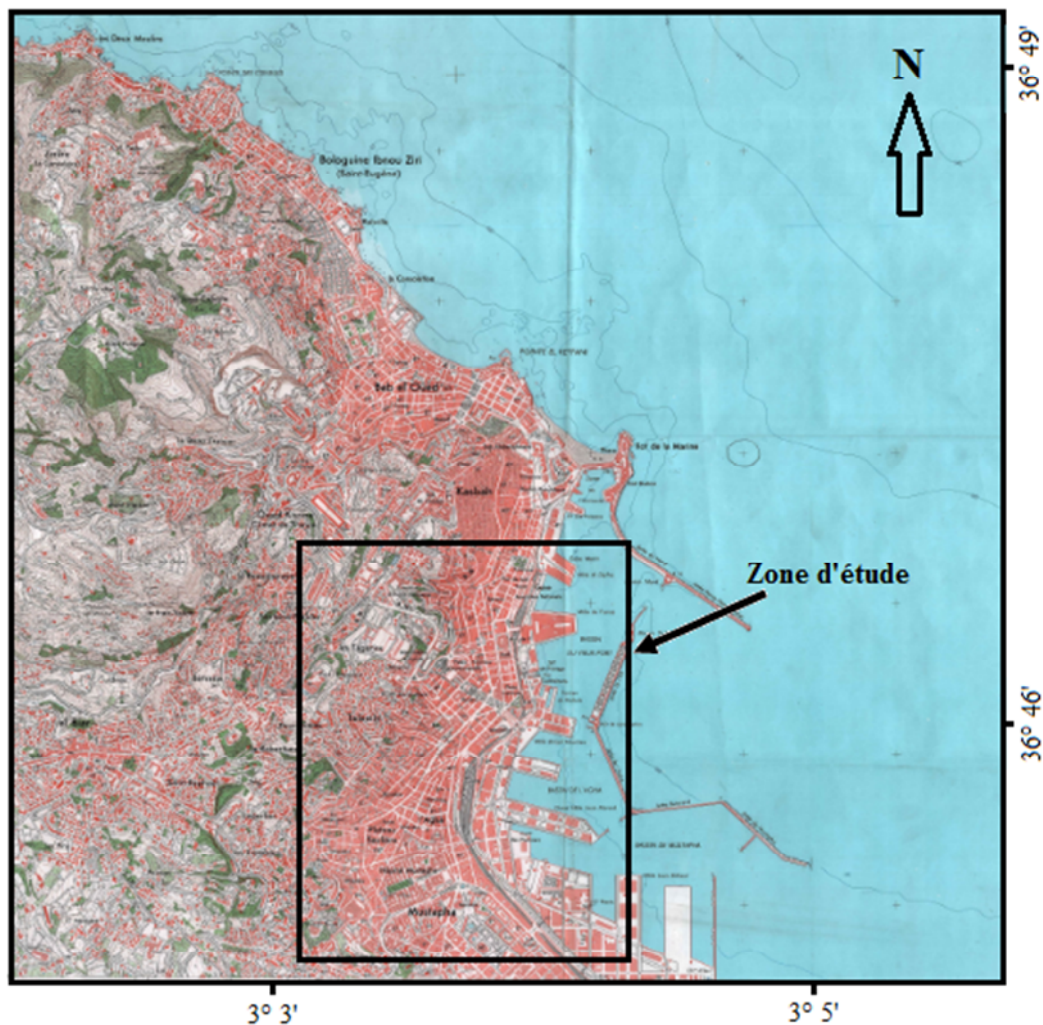


Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude, extraite de la carte topographique d'Alger au 1/10 000.

II. Aperçu sur la géologie régionale

Le contexte géologique de la région d'Alger est très complexe, du fait qu'il existe un passage brusque des terrains métamorphiques anciens d'âge Primaire vers des terrains sédimentaires d'âge Tertiaire (Figure 2) [Benallal et Ourabia, 1988].

II.1. Le Primaire

Il est représenté par les roches métamorphiques du massif d'Alger, qui affleurent depuis Baïnem jusqu'à l'Agha, ainsi que trois pointements isolés par le Néogène, à l'Ouest au niveau de Ain-Benian et de Sidi Fredj et à l'Est près de Tamenfoust.

D'après A. Saadallah (1981), les terrains anciens sont très tectonisés, constitués de roches cristalloylliennes qui sont essentiellement formées de gneiss, de schistes, de micaschistes et de marbres.

II.2. Le Secondaire

Les terrains secondaires sont absents dans tout l'Algérois.

II.3. Le Tertiaire

D'après plusieurs études (e.g. Aymé, 1964 et Benallal, Ourabia 1988), il a été observé une lacune stratigraphique qui est de l'Eocène et l'Oligocène. Le Tertiaire est alors représenté par les formations post-nappe du Mio-Pliocène qui recouvrent en discordance les faciès métamorphiques.

II.3.1. Le Miocène

Discordant sur le socle métamorphique, il est représenté par des grès littoraux, reposant sur un banc de conglomérat de base, d'une épaisseur allant de 0.5 à 6 m. Ce dernier est constitué d'éléments détritiques, provenant de l'érosion du massif d'Alger. Il affleure au niveau du ravin du climat de France, du Télémy et du Frais vallon.

II.3.2. Le Pliocène

Il est représenté par deux étages: le Plaisancien et l'Astien

- **Le Pliocène inférieur (Plaisancien)**

Il est formé essentiellement par des marnes bleues pouvant atteindre 1000 mètres [Glangeaud et al, 1952 in JICA, 2006]. Le Plaisancien forme le substratum subsident du bassin de la Mitidja [Benallal et Ourabia, 1988].

- **Le Pliocène supérieur (Astien)**

Il est bien développé dans la partie Sud du Sahel et apparaît très peu sur la bordure Sud de la plaine de la Mitidja [Ikhlef et Mokrani, 2006]. Epais de 100 à 150 mètres, l'Astien est séparé du Plaisancien par un niveau à glauconies dont l'épaisseur peut atteindre 4 mètres mais qui peut se réduire à quelques centimètres [Hamga et Sayad, 2006]. Il se présente sous forme de marnes jaunâtres, de calcaires sableux, parfois riches en bivalves et de molasses [Glangeaud et al, 1952 in JICA, 2006].

II.4. 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. Il y a eu d'abord le dépôt de formations continentales détritiques, représentées par des sols rouges grésos-carbonnatés, et une formation de marnes et cailloutis, qui est une série laguno-fluviale, comblant en partie le synclinorium Mitidjien. Cette formation est d'âge Sicilien [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 formées. Ces terrasses correspondent à quatre périodes du Quaternaire, le Calabrien, le Sicilien, le Tyrrhénien et le Versilien [Djediati, 1996 in JICA 2006]. 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].

Chapitre I

Généralités

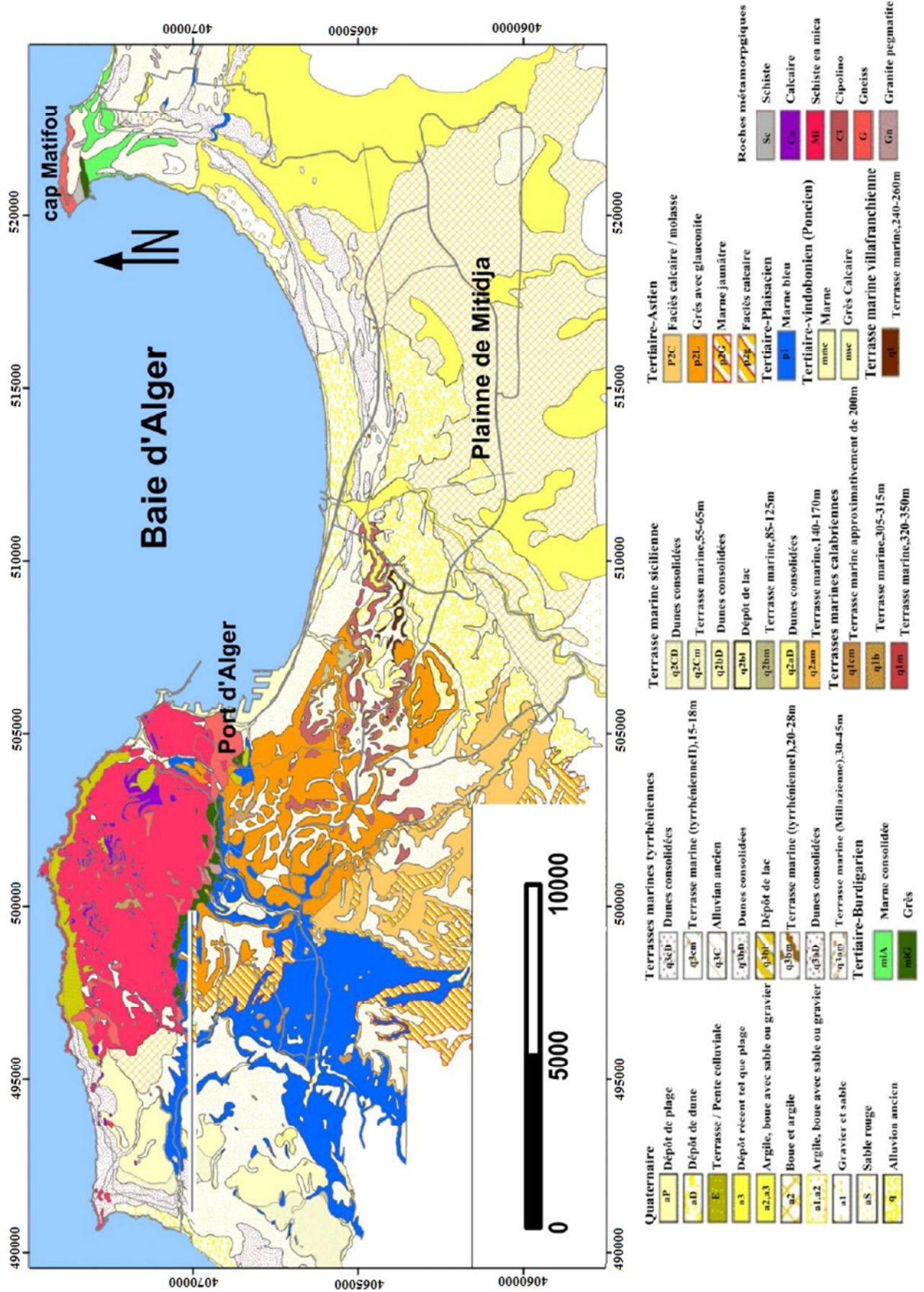


Figure 2: Carte géologique d'Alger et ses environs [JICA, 2006].

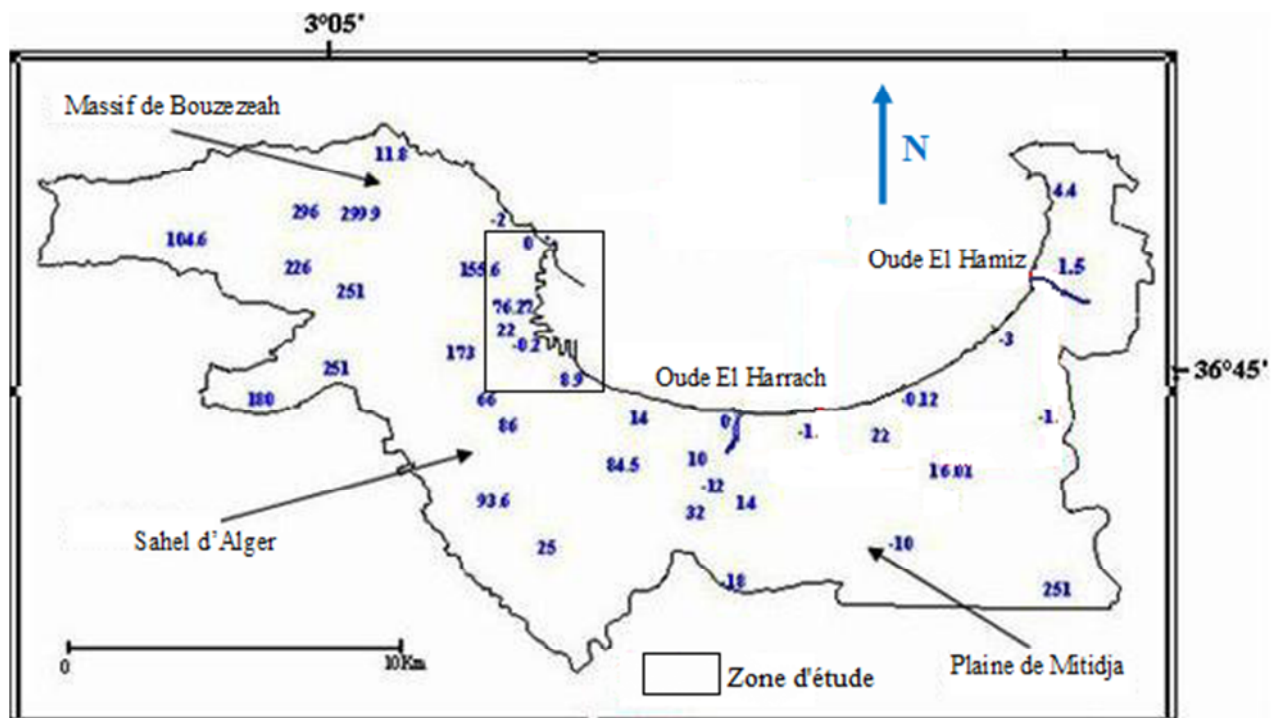
III. Aperçu hydrogéologique

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] (Figure 3).



Figure 3: Réseau hydrographique d'Alger [JICA, 2006].

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 au Nord et 89 mètres au Sud (figure 4).



IV. Aperçu sismotectonique

IV.1. Aperçu sur la sismicité historique de l'Algérois

La région d'Alger est une zone active de forte sismicité, du fait de sa position géographique à la limite des deux plaques tectoniques, qui sont en continuel rapprochement, l'Afrique et l'Eurasie.

Le territoire Algérois a été le site de plusieurs événements sismique dans le passé. Durant ces trois derniers siècles, il a subit des tremblements de terre les plus dévastateurs. 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

IV.2. Tectonique régionale et failles actives

L'Algérie du Nord est caractérisée par une sismicité (figure 5) qui est causée par l'affrontement des plaques Africaine et Eurasienne. La vitesse de convergence entre les deux plaques est de 6mm/an dans la région d'Alger. Cette sismicité se matérialise généralement par des séismes modérés à faibles, quoi que parfois des séismes violents se produisent, à l'exemple de celui d'El-Asnam du 10/10/1980, et de Boumerdes du 21/05/2003 [Beldjoudi, 2011].

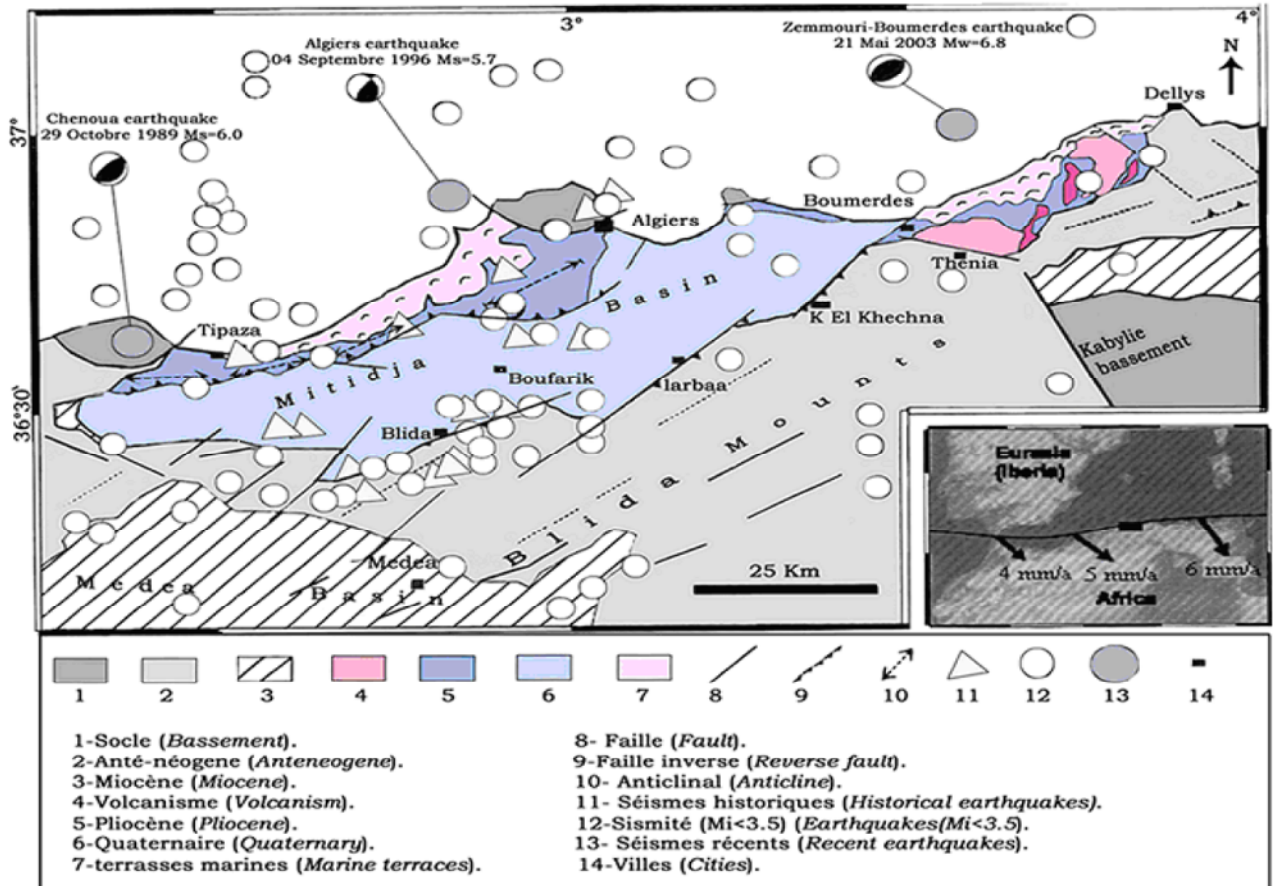


Figure 5: Carte sismotectonique de la région d'Alger (CRAAG, 1994) [in Cheikh Lounis.2011].

Les principales failles actives dans l'Algérois sont (Figure 6) :

- 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. [Géomatrix, 2006].
- 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 NW - SE et une longueur maximale de 73 Km. La région de Thénia n'a connu qu'un seul séisme important (Ms = 5,2), le 16 septembre 1987. [Géomatrix, 2006].

- La faille offshore de Zemmouri : Elle fut méconnue jusqu'à sa mise en évidence par les deux campagnes Maradja (2003 et 2005). Sa structure serait celle d'un pli-faille. Le taux de déplacement de cette faille est de 0,2 mm/an, et sa direction est NE-SW. La faille pourrait émerger à environ 15 kilomètres en mer. [Semmane, 2005].

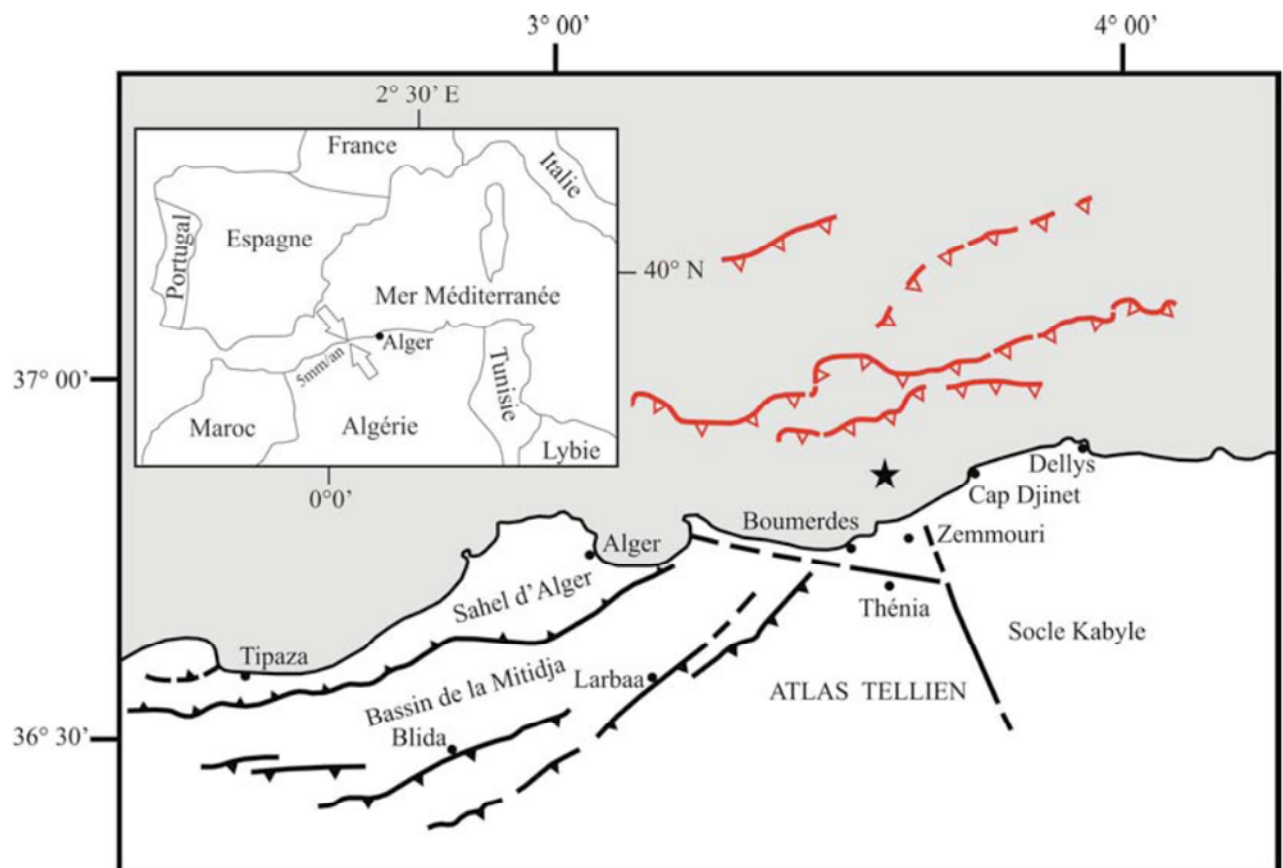


Figure 6: Cadre tectonique de la région d'Alger [Meghraoui, 1988]. [in Hellel.2010].

IV.3. Classification des zones sismiques

Le territoire Algérien est divisé en quatre zones, dont la sismicité est croissante (figure 7) :

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

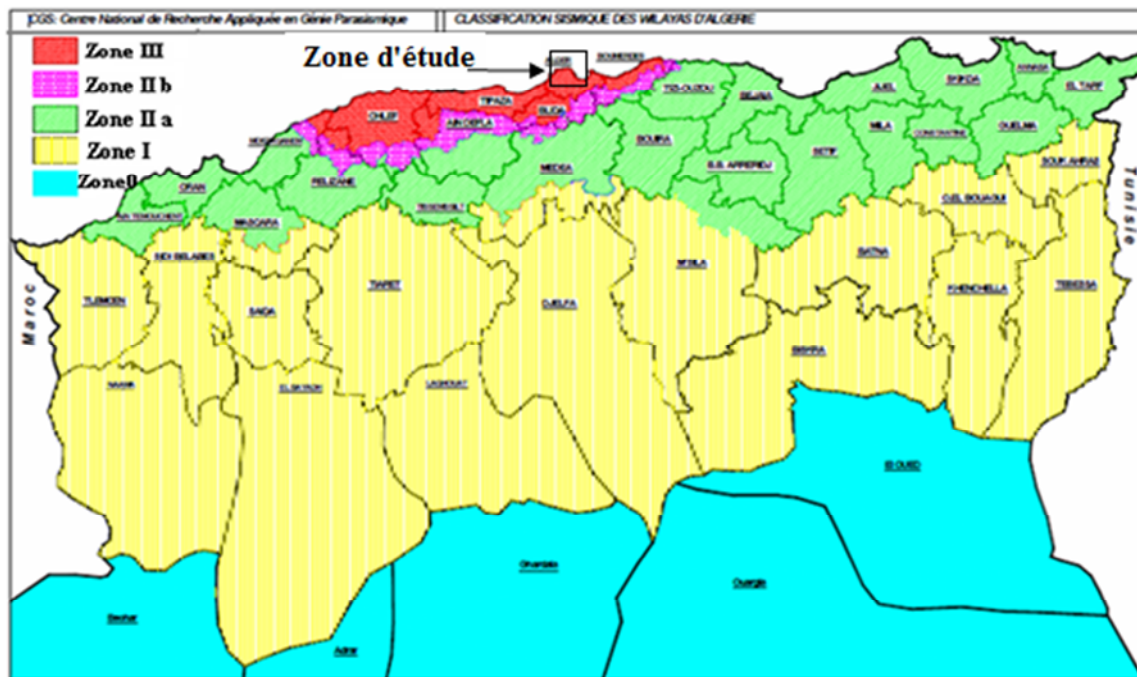


Figure 7: Classification en zones sismiques des Wilayas d'Algérie (CGS, 2003).

Notre zone d'étude est située dans la région algéroise qui est classée dans la zone III de forte sismicité, elle est caractérisée par une forte activité sismo-tectonique due à l'existence de plusieurs failles actives de différents types.

Pour aboutir à un meilleur aménagement de 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
Caractéristiques géologiques
et géotechniques

Chapitre II

Caractéristiques géologiques et géotechniques

Pour qu'on puisse interpréter les résultats des enregistrements de vibrations ambiantes de notre zone d'étude il est nécessaire de connaître la géologie de surface et la lithologie du sous-sol ainsi que les propriétés géotechniques des couches.

I. La géologie de surface

La carte d'Alger au 1/50000 révèle des terrains métamorphiques principalement (Figure 8) schistes à séricite, micaschiste et cipolins.

On peut trouver aussi des terrains sédimentaires tels que les sables argileux.

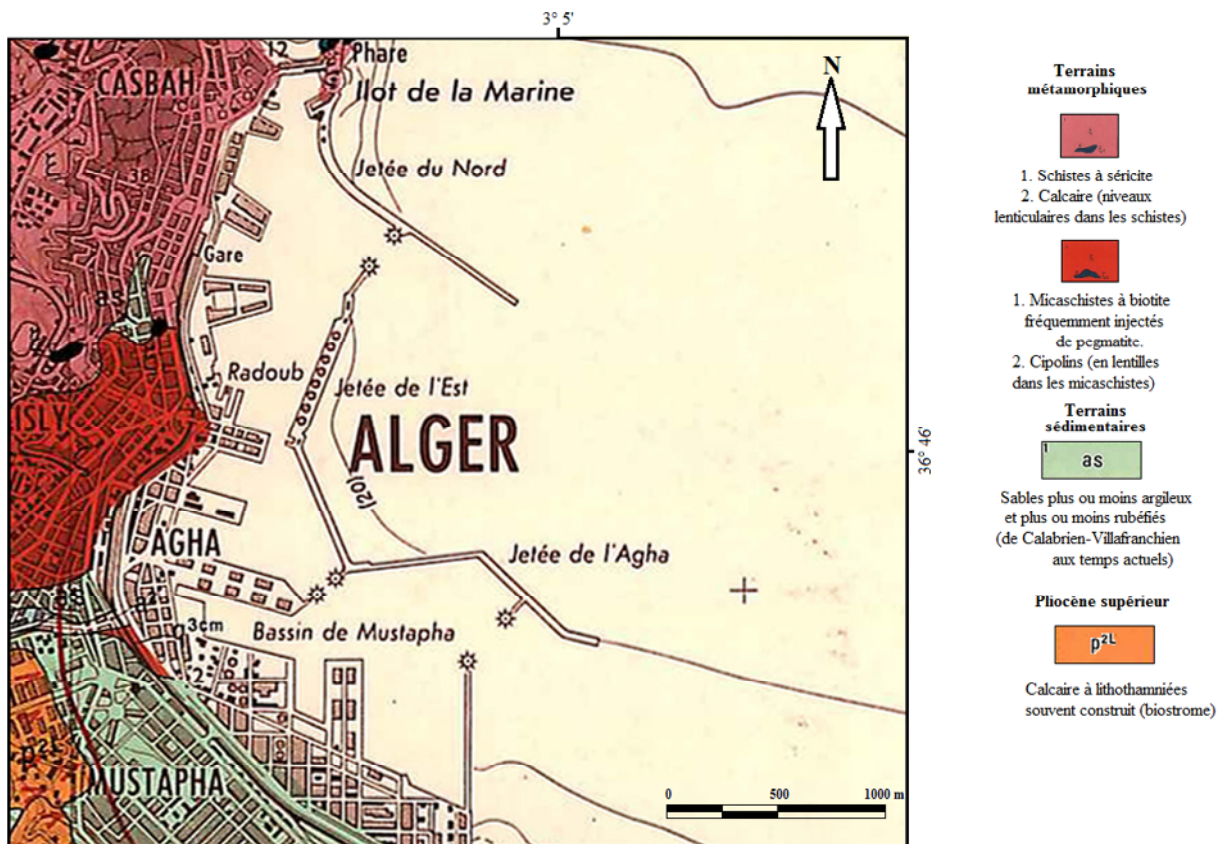


Figure 8: Lithostratigraphie du site d'étude, extraite de la carte géologique d'Alger (le service de la carte Géologique de l'Algérie, 1964).

Chapitre II

Caractéristiques géologiques et géotechniques

II. Lithologie du secteur d'étude

À partir des logs de sondages carottés réalisés dans le cadre de plusieurs projets tels que le collecteur intercommunal d'Alger et le métro d'Alger (figure 9), nous avons réalisé des coupes lithologiques corrélatives (figure 10, 11) pour déduire les unités lithologiques qui constituent notre zone d'étude.

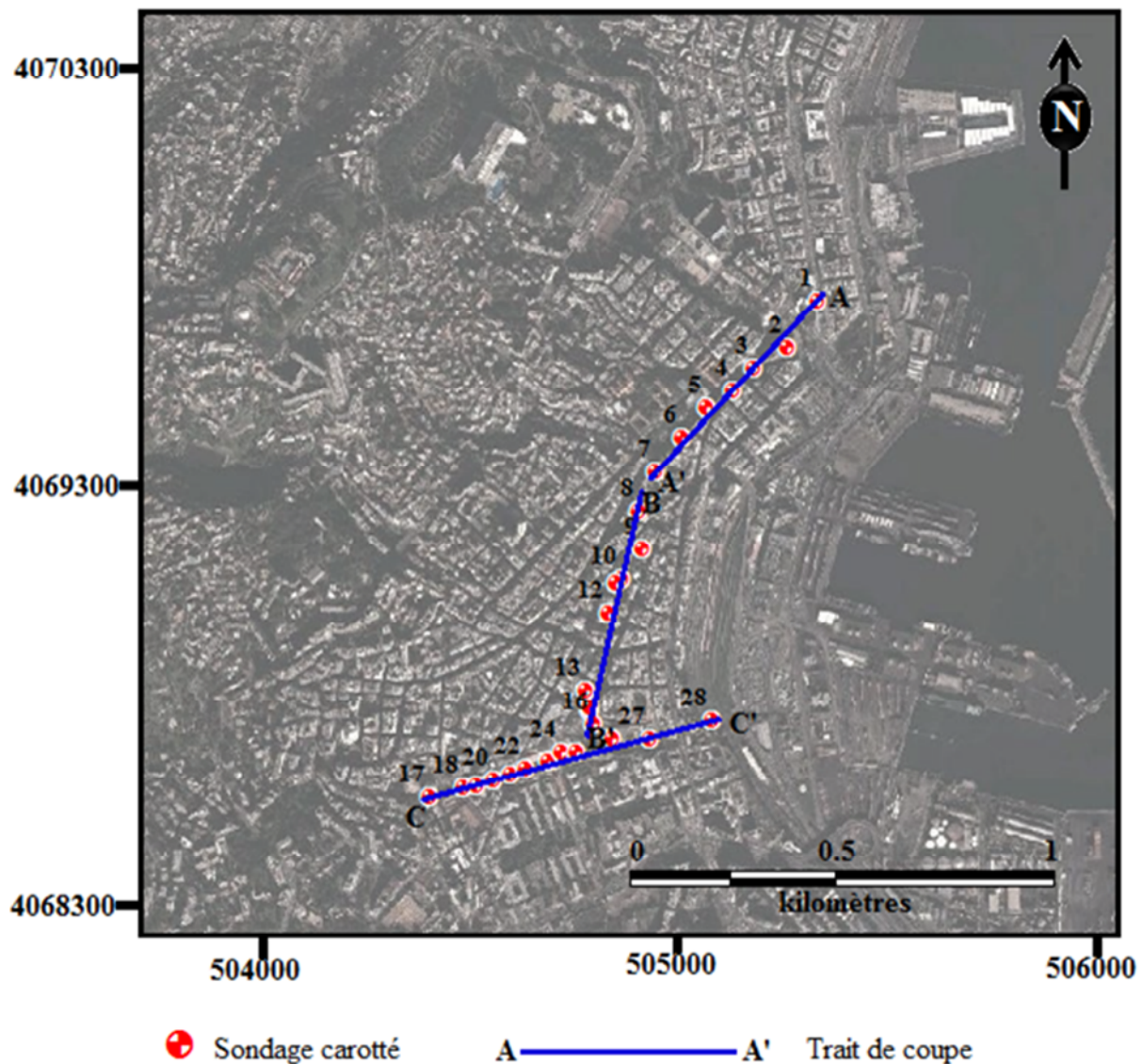


Figure 9: Localisation des sondages carottés, sur fond d'une image satellitaire Google Earth (2012).

Chapitre II

Caractéristiques géologiques et géotechniques

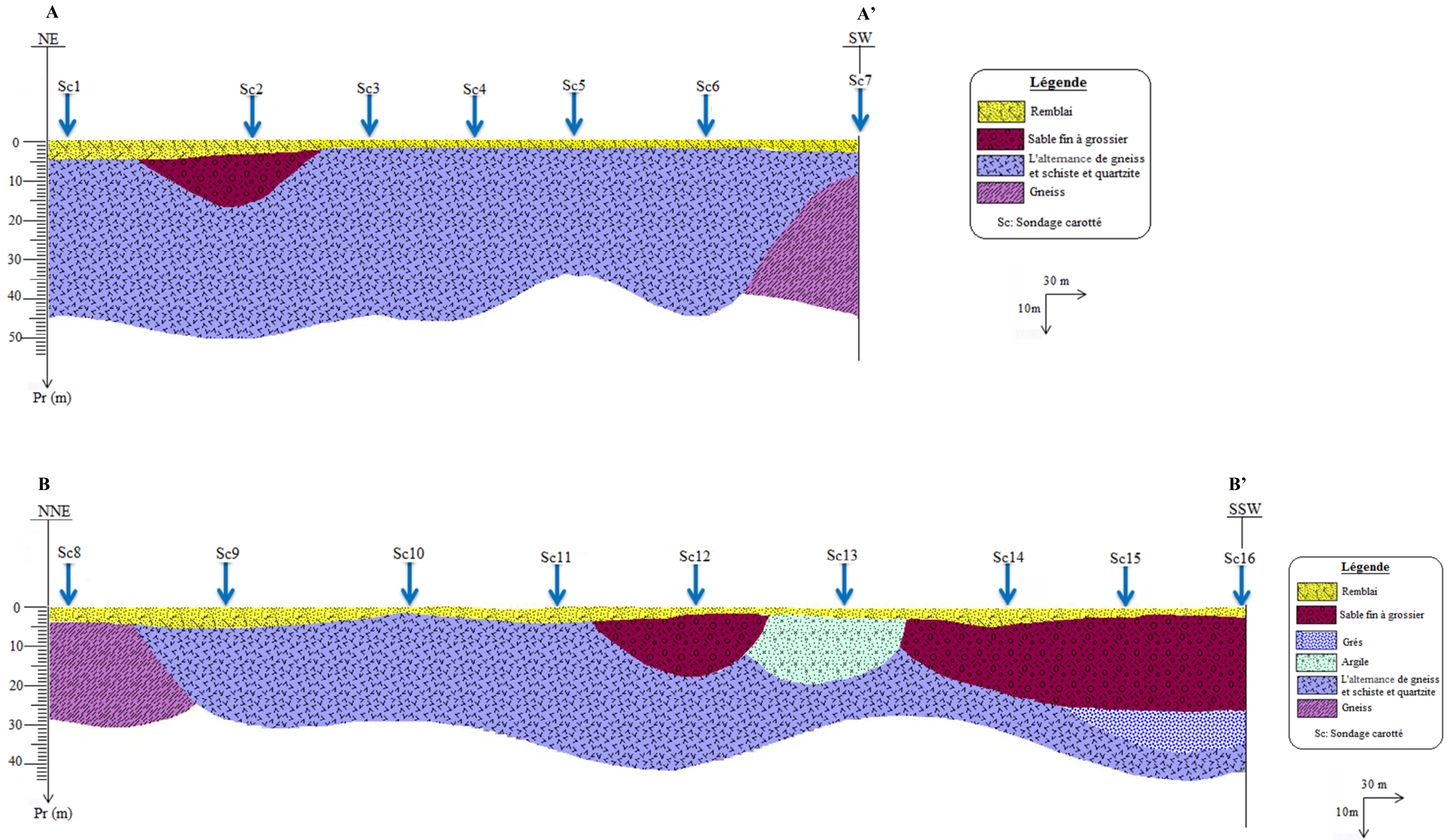


Figure 10: Coupe lithologique corrélative AA', BB' (Bougherara, 2011) (modifiées).

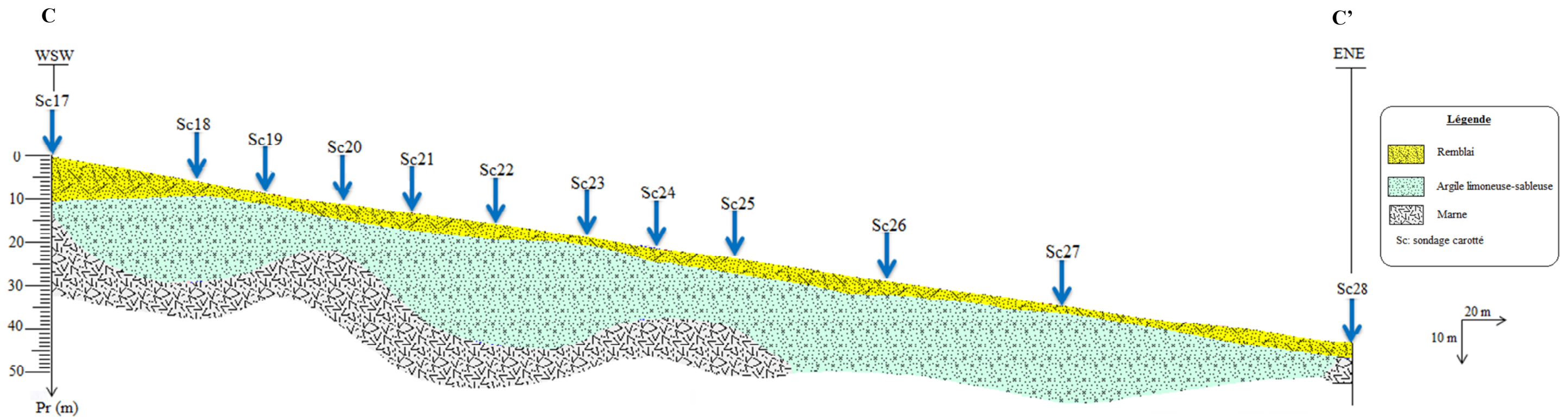


Figure 11: Coupe lithologique corrélative CC'.

II.1. Les roches métamorphiques du primaire

Située dans le massif d'Alger (coupe AA', coupe BB' figure 10), il s'agit du socle, constitué très souvent d'alternances de schistes gris bleu à gris vert fracturés et de gneiss gris bleu souvent fracturés et très altérés. Le socle est peu profond dans le secteur d'étude.

II.2. Les marnes du Plaisancien

Ces marnes sont grises on les trouve le long de la coupe CC' (figure 11), Le toit le plus bas a été atteint à 30 m (coupe CC', SC15, et SC 20 figure 11), son épaisseur reste toutefois inconnue. Elles sont moyennement compactes et parfois friables et plastiques (figure12).

II.3. Les formations astiennes

Représentées par des argiles sablo-limoneuses parfois friables, jaunâtres à marrons recoupées entre 3 et 10 mètres de profondeur avec intercalation de couches de grès décimétriques de couleur jaune à marron. Ces argiles sont recoupées entre 10 et 30 mètres de profondeur.

II.4. Les Formations quaternaires

Le socle et les formations tertiaires sont recouverts par une couche de 2 à 10 mètres d'épaisseur de limons sableux, d'argiles sableuses, de cailloutis, de débris de gneiss et de micashistes (figure 10, 11).



Figure12 : Photo montrant des carottes de marnes grises et d'argile sableuse

(TREVI, 2012).

III. Caractéristiques géotechniques des formations lithologiques

Les coupes lithologiques corrélatives (figure 10,11) révèlent trois unités :

- Unité I : les argiles sableuses de l'Astien
- Unité II: les marnes du Plaisancien
- Unité III : le socle

Pour chaque unité, une synthèse des caractéristiques physico-mécaniques de laboratoire et in situ est établie. Pour chaque paramètre géotechnique, une valeur moyenne ainsi que des valeurs extrêmes sont données et commentées. Les paramètres géotechniques traités sont :

- Les paramètres physico-mécaniques de laboratoire
 - Analyse granulométrique ;
 - Limites d'Atterberg ;
 - Densité;
 - Teneur en eau ;
 - Cisaillement rectiligne type non consolidé non drainé (UU) ;
 - Essais oedométriques ;
- Les paramètres mécaniques in situ
 - Résultats d'essais pressiométriques.

III.1. Les argiles sableuses de l'Astien

Les principales caractéristiques géotechniques des argiles sableuses de l'Astien sont résumées dans le tableau 2.

III.1.1. Caractéristiques physiques

L'analyse du fuseau granulométrique des argiles sableuses (Figure 13) montre une proportion supérieure à 80 % de passants au tamis de diamètre 2 mm. Le taux pondéral des éléments passants au tamis de 80µm varie de 50 à 72 %. Selon le LCPC, le sol est classé dans la catégorie des sols fins.

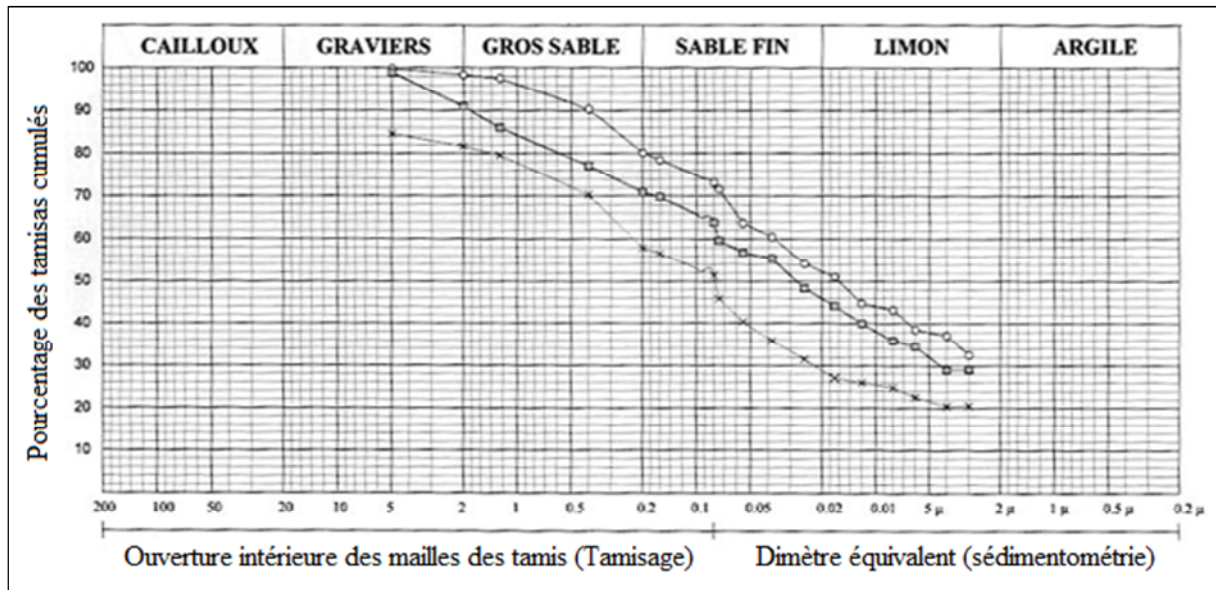


Figure 13: *Fuseau granulométrique des argiles sableuses.*

Cette unité présente une valeur moyenne de densité d'ordre 1.69 avec des valeurs maximale et minimale de 1.78 et 1.56 respectivement, ces valeurs indiquent un sol moyennement dense.

La formation étudiée montre une valeur moyenne de teneur en eau de l'ordre de 20.1% avec des valeurs extrêmes de 16.29 % et 21.46 %.

Ces argiles sableuses sont caractérisées par des valeurs de limite de liquidité variant entre 33.58 % et 41.69 % avec une moyenne de l'ordre de 35.98 %. Pour la limite de plasticité, elle varie entre 16.83 % et 21.45 % avec une moyenne d'ordre 19.18 %. D'après le diagramme de Casagrande, les trois points (W_L , I_p) se situent au dessus de la ligne (A) dans la zone des argiles de moyenne plasticité (Figure 14). 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 I_c est de 0.94 ce qui indique un sol ferme d'après Atterberg.

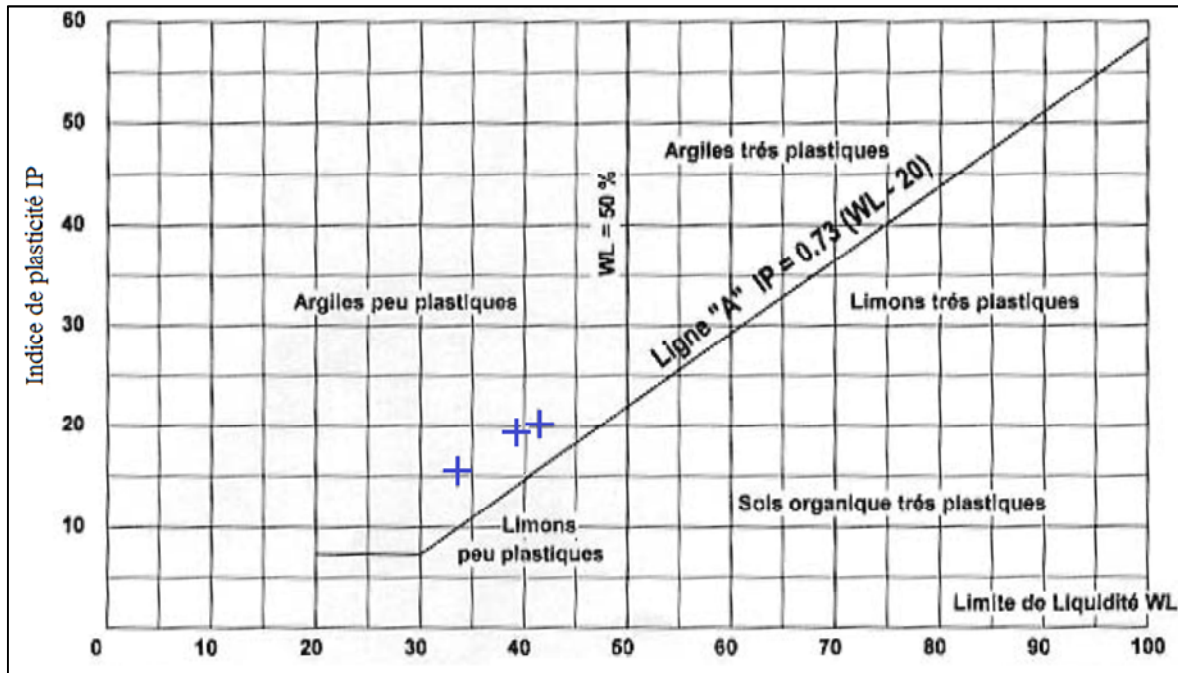


Figure 14: Classification des argiles sableuses dans le diagramme de Casagrande.

III.1.2. Caractéristiques mécaniques

Les résultats des essais oedométriques montrent une valeur moyenne du coefficient de tassement (**Ct**) de l'ordre de 15.1 % et un coefficient de gonflement (**Cg**) de l'ordre de 2.97 % et une pression de consolidation (**Pc**) de l'ordre de 3.41 bars ce qui indique un sol peu gonflant et de moyenne compressibilité.

Les essais de résistance au cisaillement rectiligne (figure 15) type non consolidé non drainé (**UU**) donnent une cohésion variante entre 0.42 bars et 0.55 bars et l'angle de frottement varie entre 15.08° et 21.95°.

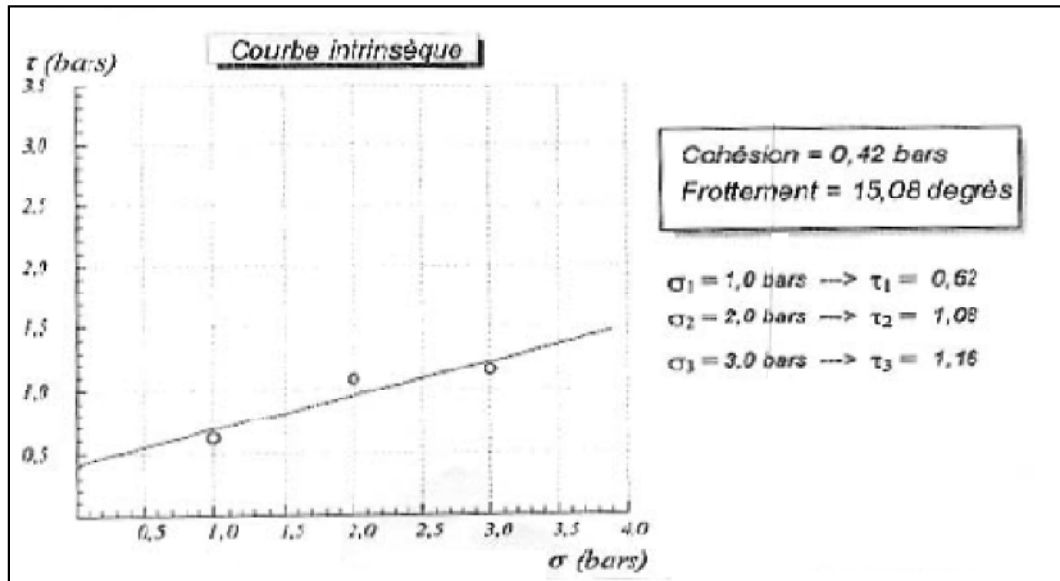


Figure 15: Exemple de courbe intrinsèque des argiles sableuses.

III.1.3. Caractéristiques mécaniques in situ

La pression limite P_l varie de 4 à 20 bars, le module de déformation E varie de 10 à 131 bars et le rapport pressiométrique E/P_l varie de 2 à 8 bars. Ceci révèle un sol sous consolidé.

Caractéristiques géologiques et géotechniques

Tableau 2: *Caractéristiques géotechniques des argiles sableuses de l'Astien.*

Paramètre	Désignation	Nombre échantillon	Valeur			Interprétation
			Min	Max	Moy	
Densité	-	4	1.56	1.78	1.69	
Teneur en eau naturelle	w (%)	12	16.29	21.46	20.1	
Granulométrie	< 80µm	4	51.93	73.08	63.88	Sol fin
Limites d'Atterberg	Wl %	12	33.58	41.69	35.98	Moyennement plastique à très Plastique
	Wp %	12	16.83	21.45	19.18	
	Ip %	12	12.14	20.24	16.80	
Indice de consistance	Ic	12	1.42	0.99	0.94	Ferme à très ferme
Compressibilité à l'oedomètre	Pc (bars)	2	2.72	4.18	3.41	Moyennement compressible
	Cc (%)	2	13.99	16.21	15.1	Peu gonflant
	Cg (%)	2	2.59	3.36	2.97	
Cisaillement rectiligne de type UU	C (bars)	2	0.42	0.55	0.32	-
	θ (°)	2	15.08	21.95	18.15	-
L'essai préssiométrique	Pl (bars)	7	4	20.07	10.41	-
	E (bars)	7	10.63	131.17	48.59	-
	Pf (bars)	7	3.16	12.61	7.76	-
	E/Pl	7	2.56	8.34	4.69	Peu consolidé

III.2. Les marnes grises du Plaisancien

Les principales caractéristiques géotechniques des marnes plaisanciennes sont résumées dans le tableau 3.

III.2.1. Caractéristiques physiques

Les résultats de l'analyse granulométrique de la formation marneuse (figure 16) ont montré un pourcentage de passants à 80µm supérieur à 90 %, selon la classification LCPC, il s'agit d'un sol fin.

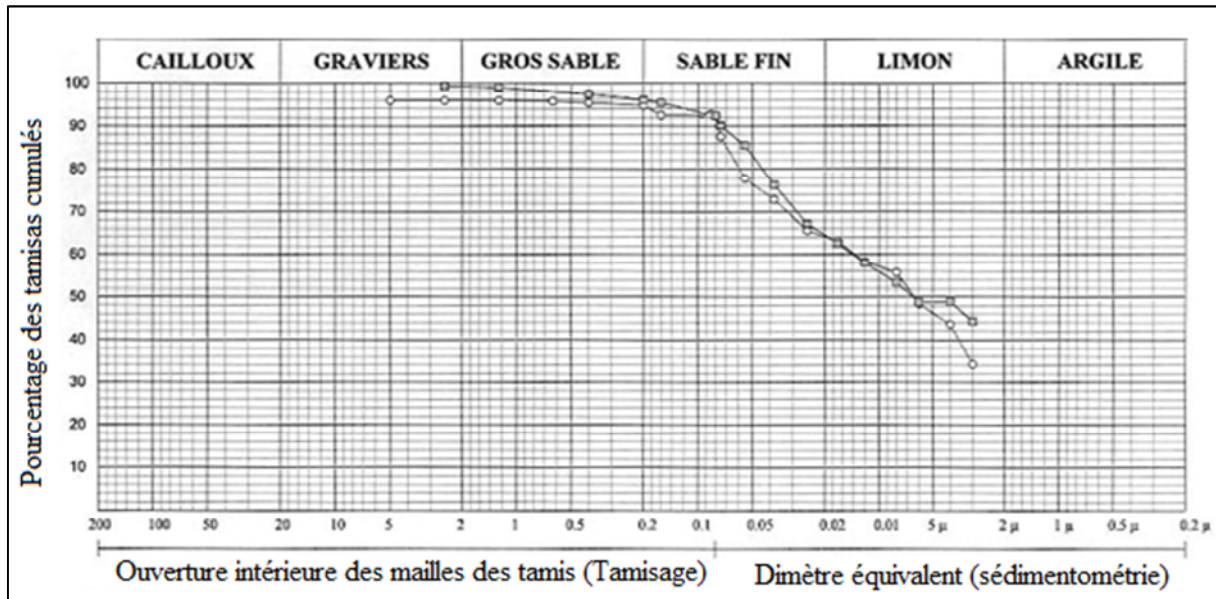


Figure 16: Fuseau granulométrique des marnes du Plaisancien.

Les essais effectués pour déterminer la densité de cette unité ont donné une valeur moyenne de 1,77, avec des valeurs maximale et minimale de l'ordre de 1.84 et 1.55 ce qui indique sol dense.

Les valeurs de la teneur en eau de ces marnes sont comprises entre 16.19 % et 21.59 % avec une moyenne de l'ordre de 20.42 %.

La limite de liquidité varie entre 39.46 % et 46.19 % avec une moyenne d'ordre 44.49 % et la limite de plasticité comprise entre 19.57 % et 21.59 % avec une moyenne d'ordre 20.11 %. L'indice de plasticité varie entre 19.35 % et 24.6 % avec une moyenne d'ordre 24.42 %.

Selon le diagramme de Casagrande (figure 17), ce sol se situe dans le domaine des argiles moyennement plastiques à très plastiques.

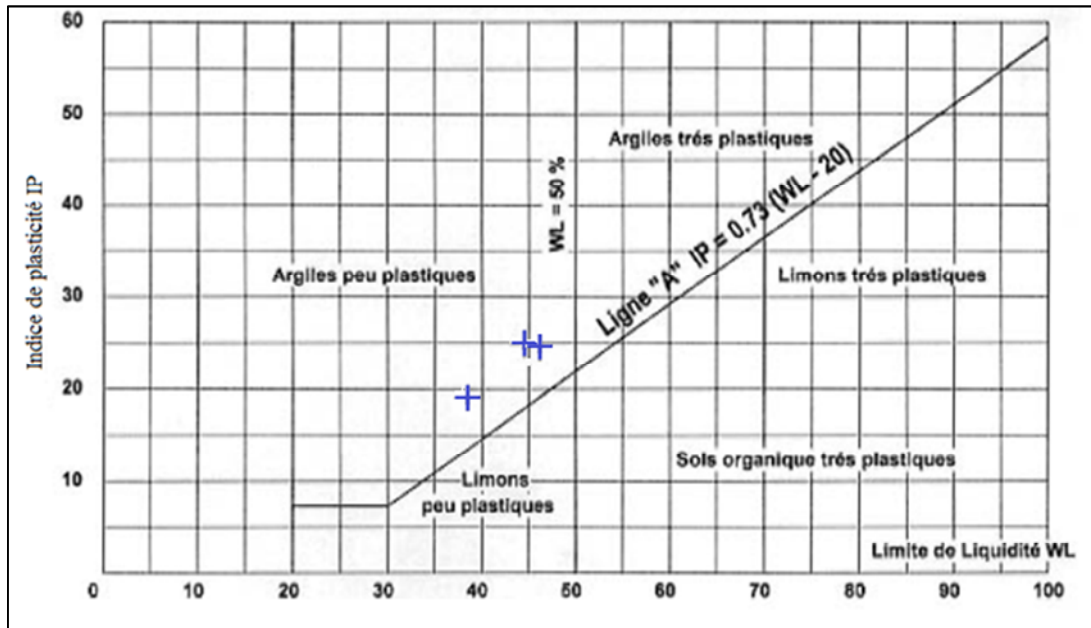


Figure 17: Classification des marnes dans le diagramme de Casagrande.

III.2.2. Caractéristiques mécaniques

La pression de consolidation est de l'ordre de 3.74 bars avec des valeurs maximale et minimale de 4.07 bars et 1.59 bars.

La valeur moyenne du coefficient de compressibilité (C_t) est de 13.03 bars et celle du coefficient de gonflement (C_g) est de 2,45 bars. Selon Terzaghi, ces résultats indiquent un sol moyennement compressible.

Les essais de cisaillement rectiligne (figure 18) type non consolidé non drainé (UU) donnent des résultats qui indiquent une cohésion variant entre 0.11 bars et 0.64 bars et un angle de frottement variant de 16.15° à 35.26° .

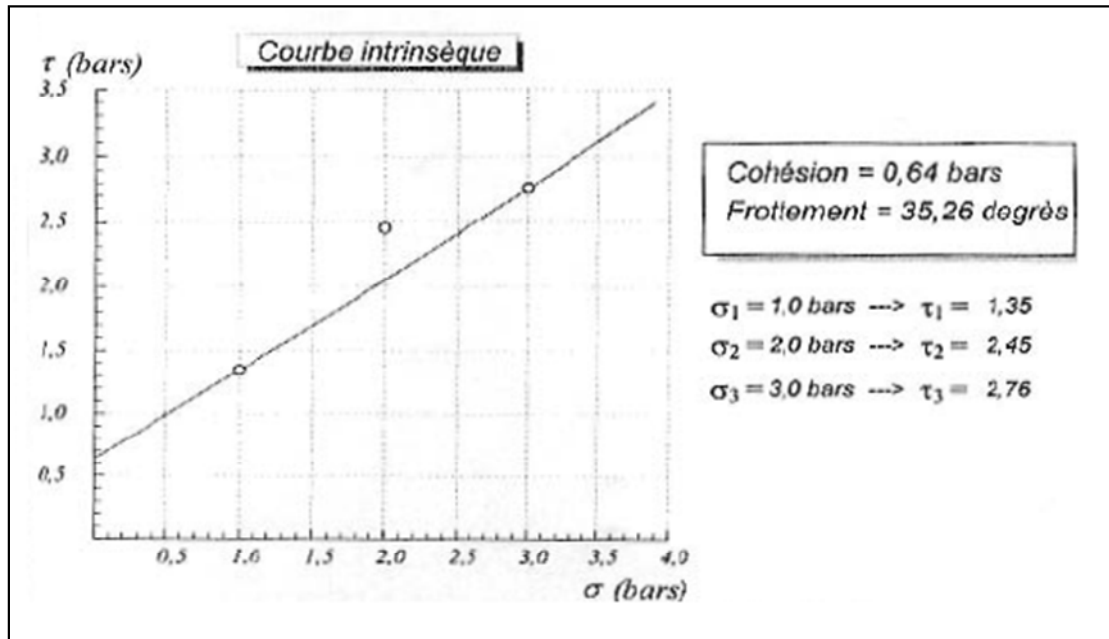


Figure 18: Exemple de courbe intrinsèque des marnes plaisanciennes.

III.2.3. Caractéristiques mécaniques in situ

La pression limite ((PI) varie de 2 à 40 bars avec une moyenne de 17.98 bars, le module de déformation (E) varie de 9 à 889 bars avec une moyenne de 320.48 bars et le rapport pressiométrique (E/PI) varie de 4 à 22 bars. Ceci révèle un sol consolidé.

Caractéristiques géologiques et géotechniques

Tableau 3: *Caractéristiques géotechniques des marnes du Plaisancien.*

Paramètre	Désignation	Nombre échantillons	Valeur			Interprétation
			Min	Max	Moy	
Densité	-	3	1.55	1.84	1.77	Sol dense
Teneur en eau naturelle	w (%)	9	16.19	21.69	20.42	
Granulométrie	< 80µm	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	
Indice de consistance	Ic	3	1	1	1	ferme
Compressibilité à l'oedomètre	Pc (bars)	3	1.59	4.07	3.74	Moyennement compressible
	Ct (%)	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	-
	$\theta(^{\circ})$	02	16.15	35.26	25.70	-
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

III.3. Socle cristallophyllien

Quelques essais physiques et mécaniques réalisés sur les formations du socle révèlent un poids volumique sec variant entre 2,59 et 2,63 t/m³ avec une moyenne de 2,62 t/m³. Ces valeurs indiquent un sol très dense. La teneur en eau varie entre 20 % et 80 %, avec une moyenne de 49 % obtenues surtout sur les premiers mètres de roches altérées.

Des essais ont donné une résistance à la variante de compression simple RC entre 41 bars et 1304 bars avec une moyenne de 709 bars ce qui est très élevé.

De par leur histoire géologique, les faciès métamorphiques présentent de bonnes caractéristiques géotechniques.

Caractéristiques géologiques et géotechniques

Dans cette partie on a décrit la lithologie de notre secteur d'étude à partir des sondages effectués et on a défini les unités lithologiques qui constituent le sous sol de cette zone. Nous les avons également analysé du point de vue géotechnique. Nous avons ainsi défini :

- **Une unité d'argile sableuse:** d'âge Astien, cette formation est souvent grésifiée, correspond à un sol fin, dense, compressible peu plastique, peu gonflant, sous consolidé.
- **Une unité des marnes:** d'âge Plaisncien, de couleur grise, ces marnes se présentent comme un sol fin, moyennement dense, consolidé, partiellement saturé, plastique, compressible et peu gonflant.
- **Une unité du socle:** constituée de roches métamorphiques, essentiellement, de schistes gris bleu à gris vert et de gneiss gris blanc à gris jaune. Il est compact et très dense.

Chapitre III

Méthode H/V- Bruit de Fond

L'estimation des effets de site locaux est considérée comme un outil de prévention et d'atténuation du risque sismique. L'une des méthodes les plus simples et les plus récentes utilisée pour l'étude des effets de site est la méthode H/V-bruit de fond ou vibrations ambiantes.

Cette technique a été proposée pour la première fois au Japon par Nogoshi et Igarashi (1971), puis diffusée par Nakamura (1989). Depuis, cette méthode connaît un succès grandissant surtout pour l'étude des effets de site et du microzonage sismique. En Algérie, cette méthode est utilisée après le séisme du 21 mai 2003 où des études sur les effets de site à Boumerdes et Zemmouri ont été menées conjointement par le CGS et le LGIT [Benidir et Fernane, 2010].

I. Définition des effets de site

Lors d'un tremblement de terre, des ondes sont émises dans le sous-sol et se réfléchissent aux différentes interfaces lorsqu'elles rencontrent une couche de propriétés différente. Si des roches sédimentaires meubles surmontent un terrain rigide, les ondes sont piégées dans les niveaux supérieurs. En effet, les contrastes de vitesse des ondes et de densité entre ces deux terrains sont tels que l'énergie ne passe que dans un sens, du rigide vers le mou. Ce piégeage est à l'origine d'amplifications des ondes et d'un prolongement des vibrations dans le bassin sédimentaire. Ces effets sont maxima à certaines fréquences qui dépendent de la vitesse des ondes dans les sédiments meubles et de leur épaisseur. En fait, le sol se comporte comme une grosse caisse de résonance, du coup les mouvements sont amplifiés à certaines fréquences (fréquence de résonance du sol) et durent plus longtemps. C'est ce qu'on désigne par effet de site.

On peut distinguer deux principaux types d'effets de sites (Figure 19):

- Les effets de sites lithologiques: la superposition d'un milieu "mou" (bassins sédimentaires, dépôts lacustres, anciens alluvions, etc.) sur un milieu plus compétent comme un socle rocheux aura tendance à piéger les ondes dans la partie

" molle", résultat du contraste d'impédance entre les sédiments et le socle sous-jacent.

- Les effets de sites topographiques : ils ont été souvent observés dans les zones vallonnées au sommet desquelles les bâtiments subissent plus de dégâts. Les phénomènes de réflexion et de diffraction d'ondes dans les topographies conduisent à des phénomènes d'amplification parfois très importante.

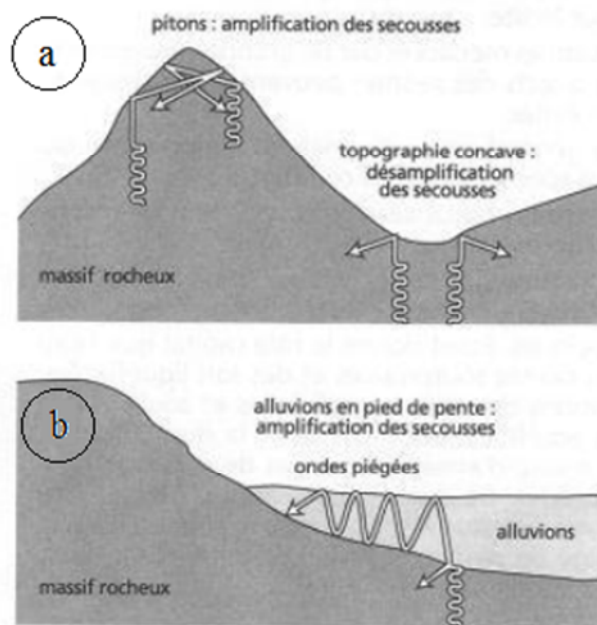


Figure 19: Schéma explicatif des effets de site ; (a) Effet de site topographique ; (b) Effet de site lithologique.

II. Origine et nature du bruit de fond

On entend par «origine du bruit de fond» tout ce qui est source de bruit, c'est à dire toute sollicitation, autre qu'un séisme, qui génère des vibrations dans le sol. Ces sollicitations sont diverses et variées naturelles ou anthropiques. Les sources naturelles peuvent être les marées, l'impact des vagues sur les rivages, l'écoulement de l'eau d'une rivière ou d'un torrent, la pluie ou le vent frappant le sol. Les sources anthropiques sont liées aux diverses

activités humaines, telles que les machines d'une usine, le roulement des trains et des voitures.

La classification de l'origine du bruit selon la gamme de fréquence de la source est comme telle [Bonnefoy-Claudet, 2004] :

- $F < 1$ Hz, les sources sont naturelles (océans, conditions météorologiques à grande échelle).
- $1\text{Hz} < F < 5\text{Hz}$, les sources sont naturelles (conditions météorologiques locales).
- $F > 5$ Hz, les sources sont anthropiques (activités humaines).

La nature des ondes qui composent le bruit de fond fait l'objet de controverses depuis longtemps. Une des hypothèses sur la nature du bruit de fond serait que les basses fréquences comprennent des ondes de Rayleigh et de Love, tandis que les fréquences supérieures soient en grande partie composées d'ondes de volume. Et jusqu'à présent, il est toujours difficile d'établir des conclusions univoques sur la composition du champ d'ondes constituant le bruit. [Saad, 2006].

III. La méthode H/V-bruit de fond

La méthode H/V ou technique de Nakamura (Nakamura, 1989) consiste à estimer la fréquence de résonance d'un site en effectuant le rapport entre la moyenne des composantes horizontales et la composante verticale des amplitudes spectrales du bruit enregistré. Ce rapport est obtenu sous forme d'une courbe qui lorsqu'elle présente un pic, celui-ci est centré sur la fréquence de résonance du sol F_0 .

Dans le cas d'une relation 1D, la fréquence F_0 est définie par la relation $F_0=V_s/4H$

où F_0 est la fréquence de résonance en Hertz

V_s est la vitesse des ondes S en m/s

H est l'épaisseur de la couche en mètre

L'origine du pic H/V ne fait pas encore l'unanimité. En effet, certains auteurs (e.g. Nakamura, 1989) considèrent que le pic H/V est dû aux ondes de cisaillement, alors que

d'autre (e.g. Bard, 1999 ; Kudo, 2002) considèrent qu'il est dû aux ondes de surface, principalement les ondes de Rayleigh.

Le faible coût et la rapidité d'exécution sont les atouts de la méthode H/V. Ces atouts expliquent, en partie, pourquoi cette méthode connaît un succès largement répandu.

Mais cette méthode ne donne accès qu'à f_0 car elle est peu fiable pour l'amplitude. De plus elle est sensible aux conditions de mesure (vent, pluie, présence de bruits parasites...).

IV. Acquisition des enregistrements H/V-bruit de fond

Cette campagne de mesure a nécessité le matériel suivant (Figure20):

- station d'acquisition CityShark II.
- capteur Lennartz 5-secondes à 3 composantes (une verticale et deux horizontales).
- carte flash pour la récupération des données.
- câble de connexion, pour relier la station au capteur.
- un GPS de type GARMIN pour l'obtention des coordonnées du point d'enregistrement.

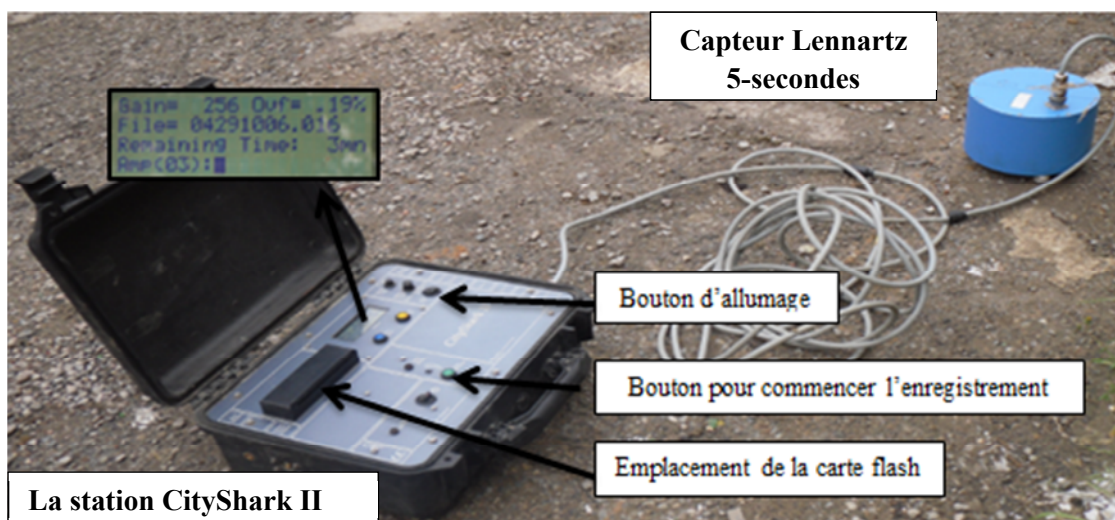


Figure 20: Appareillage utilisé pour l'enregistrement du bruit de fond.

L'acquisition consiste à poser le capteur sur le sol, de l'orienter vers le Nord puis de le connecter à la station. Ce capteur est mis à l'horizontale grâce à 3 molettes de pied, et un niveau à bulle intégré.

On règle ensuite sur la station les différents paramètres comme la durée d'enregistrement, le gain, la fréquence d'échantillonnage et le pourcentage de saturation du signal toléré. La durée d'enregistrement choisie fut de 15 minutes, ce qui est généralement suffisant pour avoir des résultats parfaitement exploitables.

Le gain doit être choisi avec minutie pour que la mesure soit réussie. Un gain trop fort peut entraîner une saturation de l'enregistrement. A l'inverse, si le gain est trop faible, il ne permet pas de distinguer les différentes vibrations.

Au cours de l'enregistrement, la station d'acquisition indique en continu le taux de saturation du signal enregistré en prenant en compte la durée totale de l'enregistrement. Ce taux doit être en principe inférieur à 5 %.

Le nom du fichier d'enregistrement est défini automatiquement en utilisant la date, l'heure suivit d'un nombre de 1 à n.

Sur une fiche d'enregistrement (Figure 21), on note la date, l'heure, le lieu, les coordonnées du point d'enregistrement, les paramètres d'acquisition : durée d'enregistrement, le gain, la fréquence d'échantillonnage, les conditions climatiques, le type de sol, etc.

Chapitre III

Méthode H/V- Bruit de Fond

DATE 21.04.2013		HEURE 12.30		LIEU Alger Centre																																				
OPÉRATEUR		TYPE de GPS et n° Garmin																																						
LATITUDE 4066549		LONGITUDE 0504422		INCERTITUDE 8 m																																				
TYPE de STATION CityShark II		N° de STATION		TYPE de CAPTEUR Lennartz 5-secondes																																				
NOM DU FICHIER 04271223_001		N° de POINT 01																																						
GAIN		FRÉQ ÉCOUT. 200 Hz		DURÉE ENR. 15 minutes																																				
CONDITIONS CLIMATIQUES		VENT <input type="checkbox"/> aucun <input checked="" 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 DE SOL		<input type="checkbox"/> terre (<input type="checkbox"/> compacte <input type="checkbox"/> meuble) <input type="checkbox"/> gravier <input type="checkbox"/> sable <input type="checkbox"/> rocher <input type="checkbox"/> herbe (<input type="checkbox"/> courte <input type="checkbox"/> haute)																																						
		<input checked="" type="checkbox"/> pavé <input type="checkbox"/> ciment <input type="checkbox"/> béton <input 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"/> non <input type="checkbox"/> dispersée <input checked="" type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> autre, type _____																																						
TRANSITOIRES		SOURCES DE BRUIT CONTINUES (trains, travaux, pompes, diable...)																																						
		<input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> oui, type _____																																						
		STRUCTURES PROCHES SIGNIFICATIVES (arbres, poteaux, bâtiments, ponts, structures souterraines...)																																						
		(description, hauteur, distance)																																						
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>aucun</th> <th>peu</th> <th>moyen</th> <th>beaucoup</th> <th>très dense</th> <th>distance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>voitures</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>camions</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>piétons</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>					aucun	peu	moyen	beaucoup	très dense	distance	voitures			X				camions	X						piétons		X					autres						
	aucun	peu	moyen	beaucoup	très dense	distance																																		
voitures			X																																					
camions	X																																							
piétons		X																																						
autres																																								
OBSERVATIONS																																								

Figure 21: Fiche d'enregistrements H/V.

La campagne d'acquisition a duré 2 jours et 28 enregistrements en été acquis. Malheureusement, après dépouillement nous n'avant retenu que 12 enregistrements sur les 28 à cause d'une défaillance du capteur.

Pour palier à ce manque de données, nous avons intégré les données de 28 enregistrements d'une précédente campagne ayant eu lieu en 2012 (figure22).

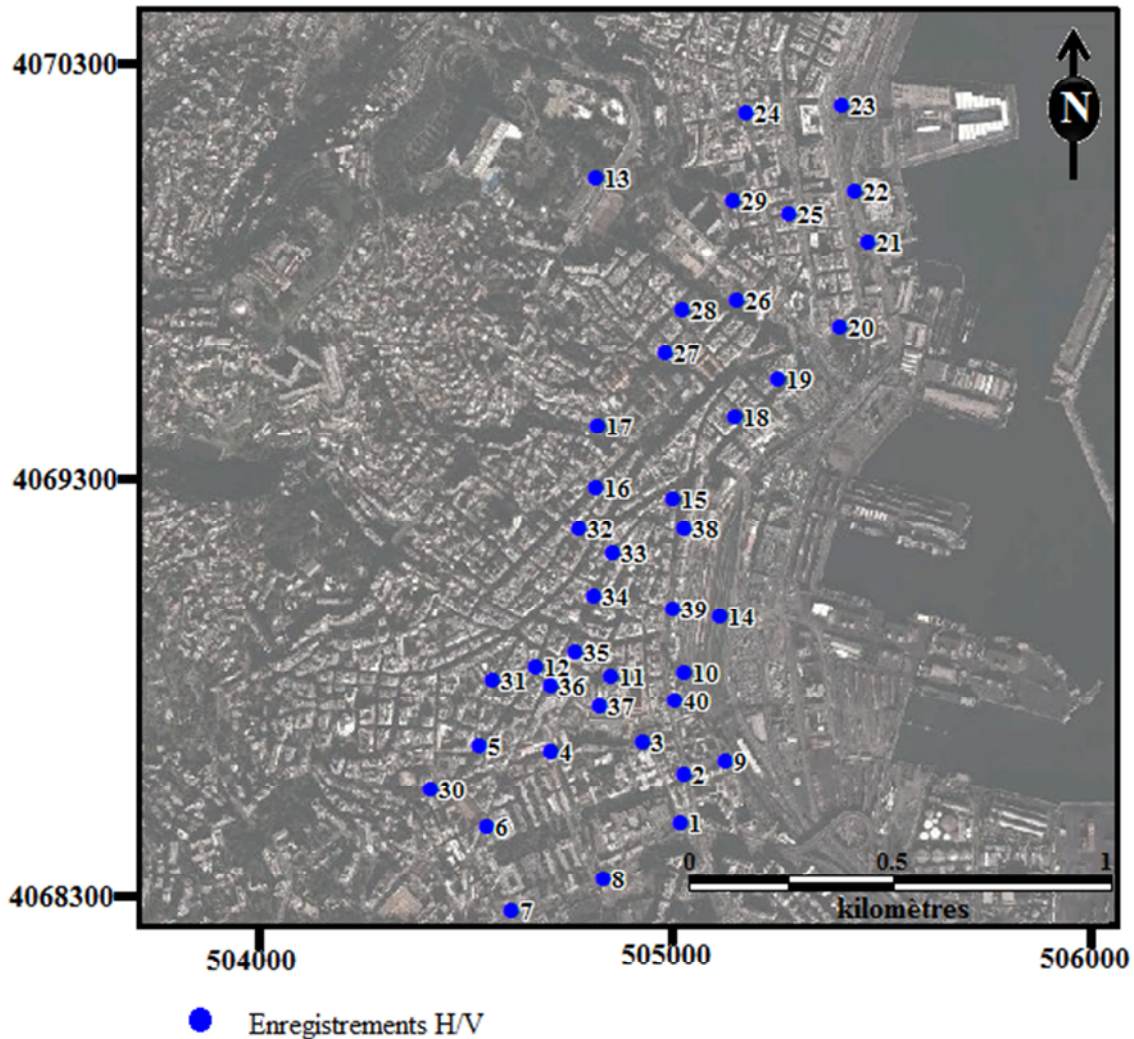


Figure 22: Localisation des enregistrements H/V sur fond d'une image satellitaire Google Earth (2012).

V. Traitement des données

Les rapports spectraux ont été calculés à l'aide du logiciel Geopsy (www.geopsy.org) développé dans le cadre des projets européens SESAME. Le programme Geopsy (Figure23) est un logiciel simple d'utilisation, possédant une interface graphique et permettant de visualiser et d'effectuer le traitement des signaux.

Pour calcul du rapport spectral H/V, le programme procède de la façon qui suit:

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); suivant les recommandations de SESAME (2005), les courbes H/V ont été obtenues avec des fenêtres stables de 25 à 50 secondes, en utilisant une LTA de 30.
3. secondes et STA de 1 seconde, les rapports LTA/STA minimal et maximal étant, respectivement, de 0.5 et 2 ;
4. 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) ;
5. Lissage des spectres (pour chacune des N_i fenêtres) suivant, par exemple, la technique de Konno et Ohmachi (1998), avec un paramètre de lissage b égal à 40 ;
6. Calcul de la moyenne quadratique des spectres horizontaux lissés $S_h(N_i)$ (composantes nord-sud et est-ouest) pour chaque fenêtre :

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

7. Calcul des rapports spectraux $H/V(N_i)$ pour chaque fenêtre:

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

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

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

9. Détermination visuelle de la fréquence f_0 du ou des pic(s) de la courbe H/V.

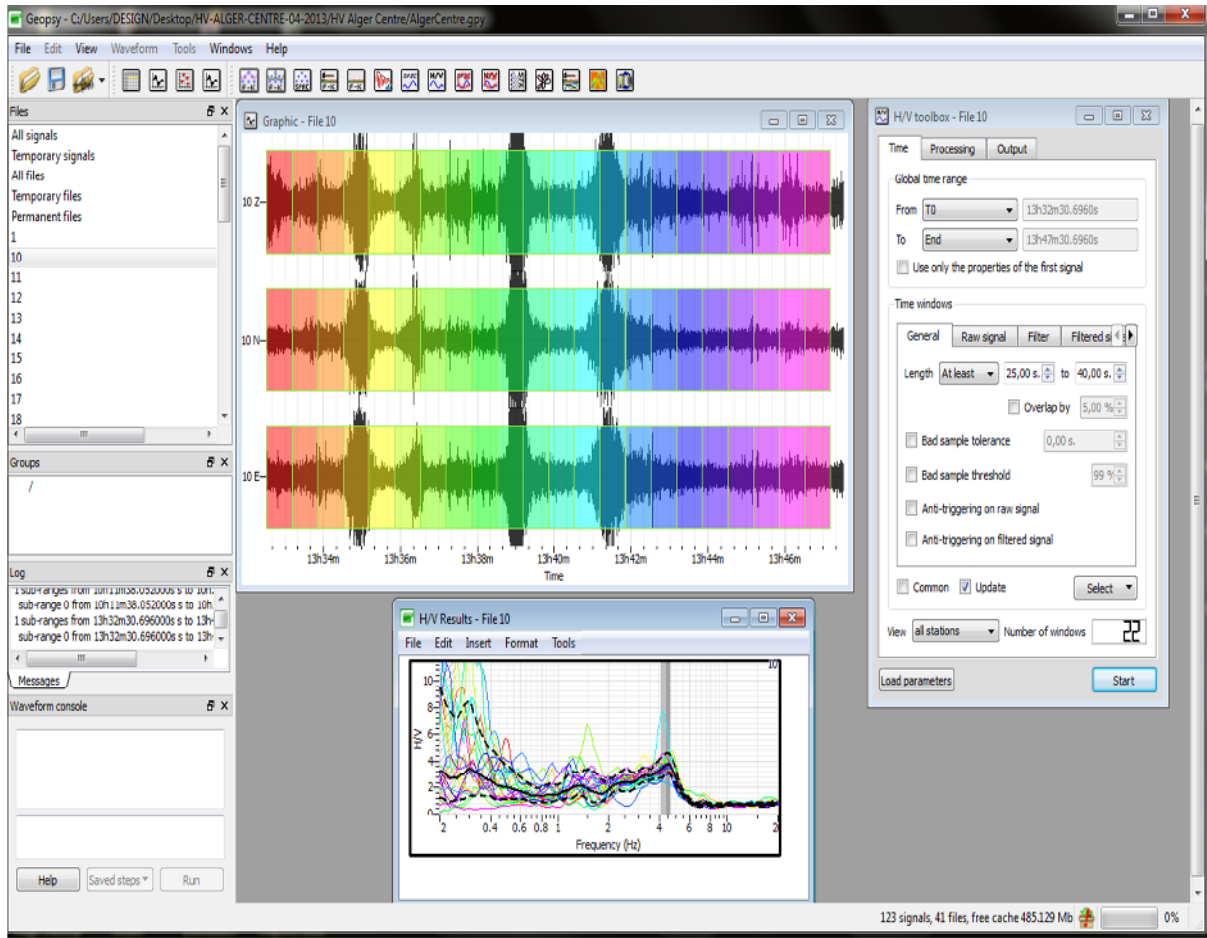


Figure 23: Interface du logiciel geopsy.

VI. Résultats et interprétation

En général, la fréquence de résonance d'un site est définie comme étant la fréquence donnée par le premier pic sur le spectre H/V [Lachet et al.1996 in Guéguen 1998].

Nous sommes intéressés à la fréquence comprise entre 0,5 et 20 Hz.

Nous avons pris le soin de vérifier si les pics obtenus n'étaient pas entretenus (pic d'origine industrielle), en calculant l'amortissement par la méthode des décroissements aléatoires intégré dans le programme geopsy (Figure 24).

L'amortissement représente la perte d'énergie du mouvement de la structure au cours du temps [Dunand, 2005].

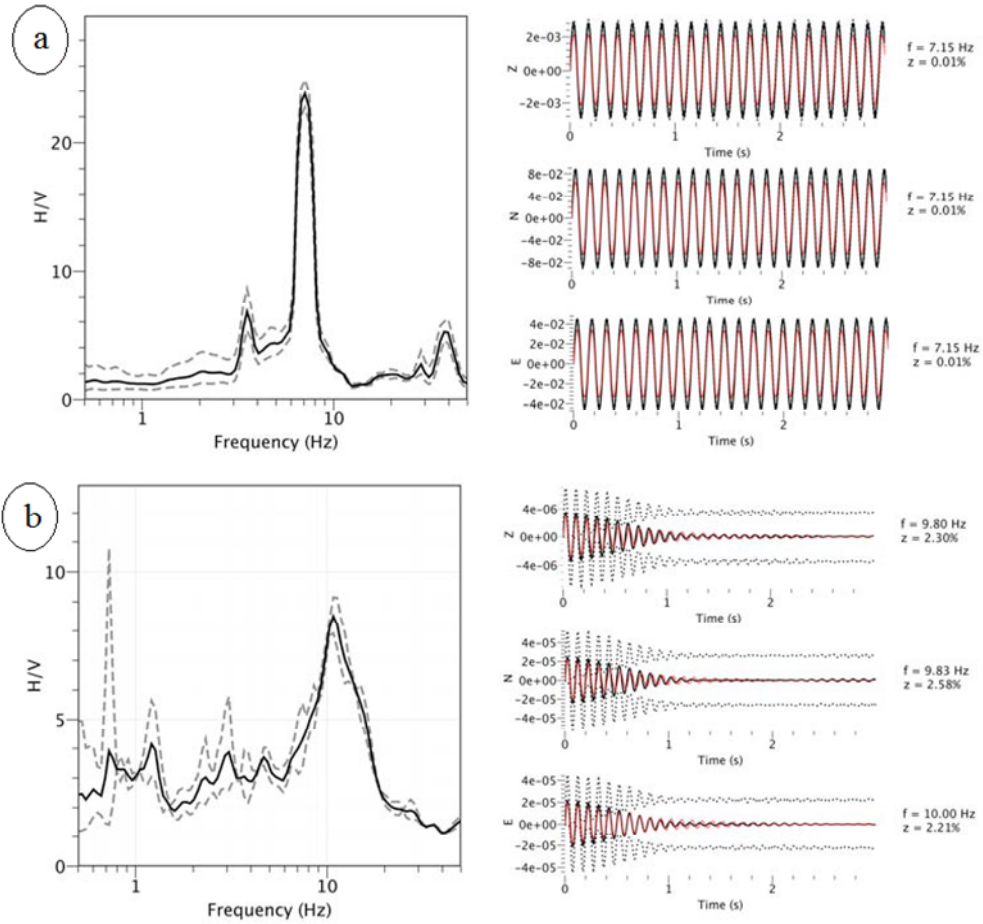


Figure 24: (a) pic H/V d'origine industrielle à gauche et son amortissement à droite ; (b) pic H/V d'origine naturelle à gauche et son amortissement à droite. [in Hellel.2010].

VI.1.1. Courbes H/V plates

Les courbes plates (Figure 26) sont localisées dans la partie Nord de notre zone d'étude. Ces courbes peuvent s'expliquer par un faible contraste de vitesse entre le substratum et les couches sédimentaires.

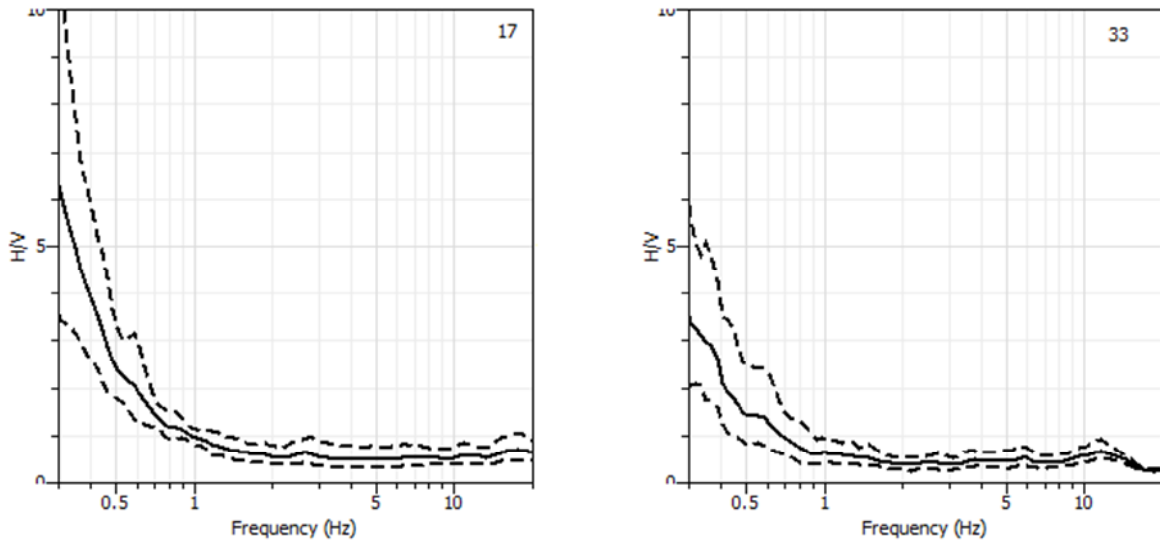


Figure 26: Exemples de courbes H/V plates.

VI.1.2. Courbes H/V qui présentent un bombement

Ces courbes H/V exhibent un bombement (figure 27), de faible amplitude, variant entre 1.0 et 2.0, se qui dénoterai un contraste de vitesse faible à moyen.

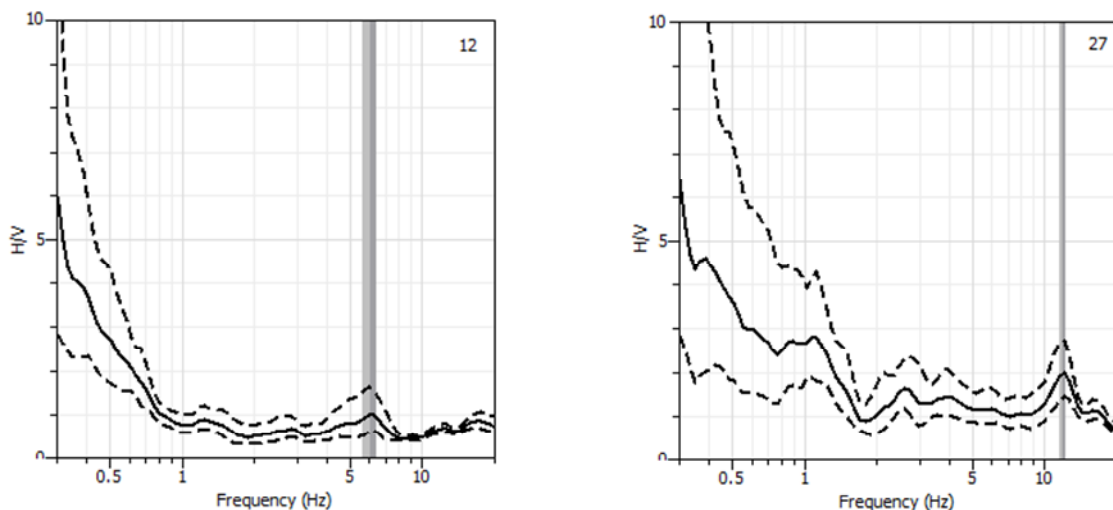


Figure 27: Exemples de courbes H/V exhibant un bombement.

VI.1.3. Courbes H/V qui exhibant un pic

Ces courbes présentent un pic net, avec une amplitude supérieure à 2.0 qui varie entre 2.4 et 9.3 (figure 28). Le pic traduit la présence d'une seule interface. La forte amplitude du pic s'explique par un fort contraste de vitesse entre le sédiment et le substratum au droit des enregistrements H/V.

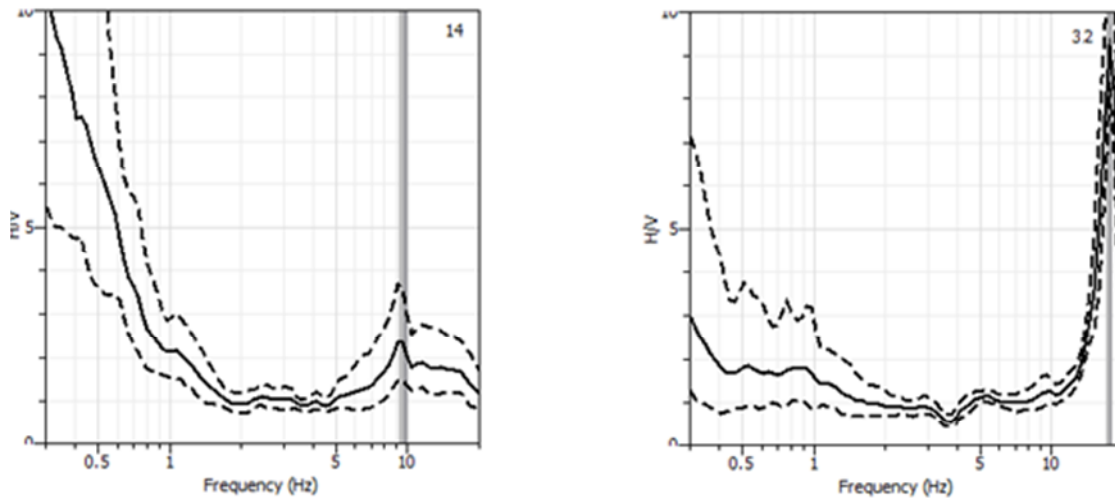


Figure 28: Exemples de courbes H/V exhibant un pic.

VI.2. Classement des courbes H/V selon la fréquence de résonance

L'analyse des courbes H/V selon la fréquence de résonance du sol a permis de distinguer trois zones différentes (Figure 29) qui sont comme suit :

- **Zone I** : courbes H/V plate ;
- **Zone II** : avec une fréquence allant de 1,3 à 4Hz ;
- **Zone III** : avec une fréquence de 4 à 7 Hz;
- **Zone IV** : avec une fréquence supérieure à 7 Hz.

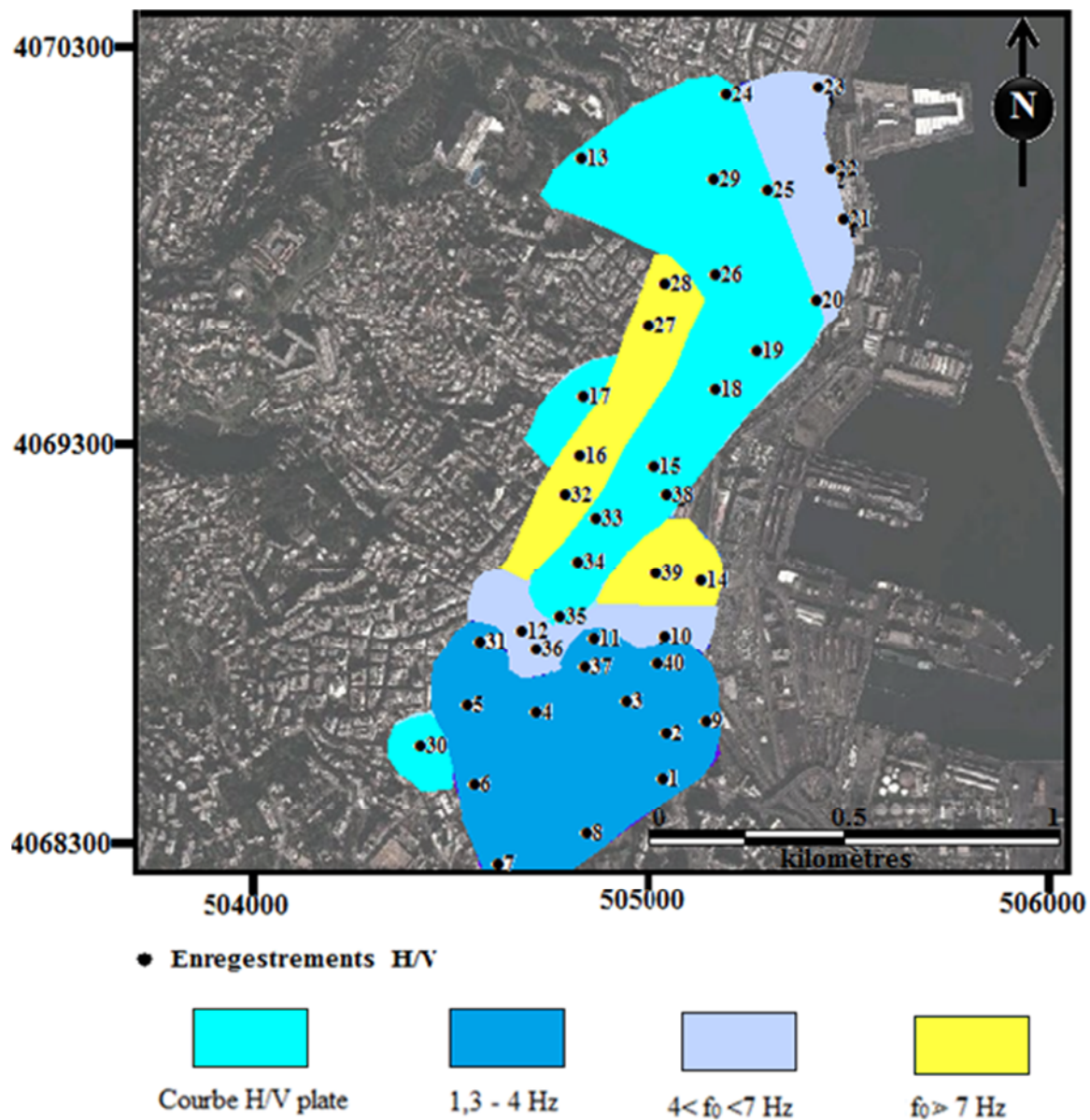


Figure 29: Carte de distribution des fréquences propres du sol à Alger centre sur fond d'une image satellitaire Google Earth (2012).

VI.3. Corrélation des fréquences propres du sol avec la lithologie

La corrélation des fréquences propres du sol avec la lithologie du secteur d'étude nous a permis de diviser notre secteur d'étude en deux zones distinctes:

Méthode H/V- Bruit de Fond

- Une zone occupant les 2/3 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 (> 4 Hz).
- Une zone occupant le 1/3 Sud où la série sédimentaire, constituée d'argile et de marne, et de grès est plus épaisse. Ceci s'explique par la présence de courbe exhibent des pics à faible fréquence (1 - 4 Hz).

Conclusion générale

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 sol à Alger centre.

Du point de vue géologique et géotechnique, nous avons pu définir plusieurs formations du sous-sol :

- **Les argiles sableuses** : cette unité partiellement saturé, moyennement plastique, compressible et peu gonflé sous consolidé. Ces argiles sableuses parfois grésifiées avec une couleur jaune, marron.
- **Les marnes** : pour les marnes sont détrempe, un peu gonflé de moyenne compressibilité et de moyennes plasticités, consolidé. On les trouve souvent gris bleu à gris vert.
- **Les roches métamorphiques** : représentées par les schistes de couleur gris bleu à gris vert fracturé et gneiss de couleur gris blanc à gris jaune très altéré.

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 site d'étude. Elle révèle une zone de basses fréquences, entre 1,3 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 de 7 Hz au centre de secteur d'étude.

Les courbes H/V plates obtenues dans une bonne partie de notre secteur d'étude au Nord montrent que le risque d'effet de site en cas de séisme est faible. Néanmoins, le risque est plus important vers la partie Sud où les courbes exhibent des pics entre 1.3 et 7 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 vis-à-vis des effets des actions sismiques par une conception et un dimensionnement appropriés.

Conclusion générale

Pour préciser ce travail, certains aspects doivent être étudiés avec plus de détail. Pour cela, nous recommandons:

- De densifier les enregistrements H/V dans certaines parties, mal couvertes, du site d'étude ;
- Etendre, l'étude H/V-bruit de fond pour toute la commune d'Alger centre;
- Des mesures de vitesses des ondes de cisaillement dans le sol.

Références
bibliographiques

Références bibliographiques

Aymé, A. (1964) Carte géologique au 1/50000 Alger. N°21. Publ. ser. Carte. Géol. Algérie, Alger.

Bard, P-Y. (1999) Dense array measurements of ambient vibration in the Grenoble basin to study local site effects. EOS, Transactions, AGU, 80-46, F707.

Beldjoudi, H. (2011) Etude de la sismicité du nord Algérien, Thèse de Doctorat, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, Tlemcen, 141 p.

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

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 (ex.ISMAL).57P.

Bonnefoy-Claudet, S. (2004) Nature du bruit de fond sismique : implications pour les études des effets de site. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier – Grenoble I, Grenoble, 241P.

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

Bourdeau, C. (2005) Effets de site et mouvement de versant en zones sismiques: Apport de la modélisation numérique, Thèse de Doctorat, Ecole des Mines de Paris, Paris, 266 p.

Charakdji, F., Djenidi, R., Ifaidi, F. (2006) Etat du littoral de l'Est Algérois Bordj El Kiffan et Bordj El Bahri (Causes et conséquences de l'érosion). Mémoire d'ingénieur, Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, Alger, 59 p.

Cheikh Lounis, G. (2011) Analyse et cartographie des risques naturels dans l'algérois. Thèse de doctorat, USTHB-Alger.188P.

Dunand, F. (2005) Pertinence du bruit de fond sismique pour la caractérisation dynamique et l'aide au Diagnostic sismique des structures de génie Civil. P26.

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

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, n° 25, 142 p.

Guéguen, P., Chatelain, J.L., Guillier, B., Yepes, H., Egred, J. (1998) Site effect and damage distribution in Pujili (Ecuador) after the 28 March 1996 earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 17, P.329_334.

Hamga, M., Sayad, R. (2006) Application de la méthode de fond au glissement de terrain de Telemy-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. 170P.

Ikhlef, A., Mokrani, S. (2006) Etude géologique, géophysique et géotechnique du Projet « City Center » Pins Maritimes (Alger). Mémoire d'ingénieur, USTHB-Alger.95P.

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

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.

Konno, K., Ohmachi, T. (1998) Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 88-1:228-241.

Kudo, K. (2002) S-Wave velocity structure at EURO-SESITES, Volvi, Greece determined by the spatial auto-correlation method applied for array records of microtremors. Proceedings of the mini-Symposium on site Effects Evaluation for Strong Motion Prediction. Tokyo, Japan.

Nakamura, Y. (1989) A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quarterly Report Railway Tech. Res. Inst.*, 30-1, 25-30.

Nogoshi, M., Igarashi, T. (1971) On the amplitude characteristics of microtremor (part 2) (in Japanese with English abstract). *Journal of Seismological Society of Japan*, 24, 26-40.

Saad, A. (2006) Aléa et scénario de risque sismique dans la vallée de la Tinée, Master Recherche Génie Civil, Ecole polytechnique universitaire de Lille, Lille, 78 p.

Saadallah, A. (1981) Le massif cristallophyllien d'El Djazair (Algérie), évolution d'un charriage à vergence Nord dans les Interniez des Maghrébides. Thèse 3emecycle. I.S.T-U.S.T.H.B.

Semmane, F. (2005) Caractérisation de la source sismique à partir des données en champ proche. Application aux séismes de Tottori (Japon) et Boumerdes (Algérie). Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble I. 178P.

Annexes

Annexe 1: Tableau relatif aux paramètres géotechnique

Paramètre	Unité	Symbole
Densité	-	D
Teneur en eau	%	w
Passant à 80	%	< 80 μm
Limite de liquidité	%	Wl
Limite de plasticité	%	Wp
Indice de plasticité	%	Ip
Indice de consistance	-	Ic
Coefficient de tassement	%	Ct
Coefficient de gonflement	%	(Cg)
Pression de consolidation	Bars	(Pc)
Cohésion	Bars	C
Angle de frottement	(°)	θ
Pression limite	Bars	Pl
Module de déformation	Bars	E
Pression de fluage	Bars	Pf
Rapport préssiométrique	-	E/Pl

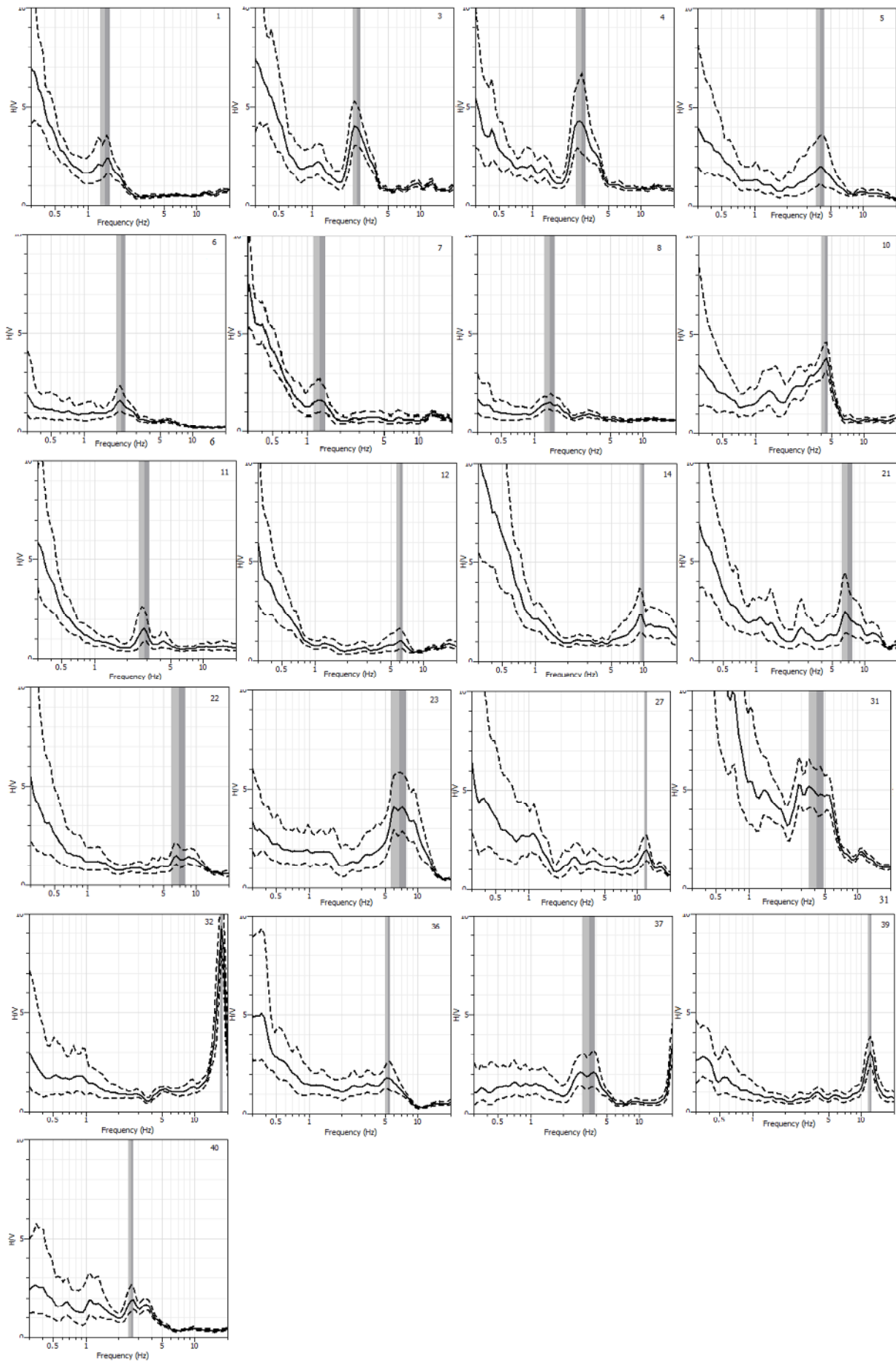
Annexe 2: Tableau des enregistrements H/V (compagne 2013)

N° de point	Nom du fichier	X (m)	Y (m)
1	04271223.001	504422	4068549
2	04271302.002	504559	4068581
3	04271324.003	504609	4068581
4	04271346.004	504568	4068805
5	04271412.005	504540	4068971
6	04271435.006	504675	4068964
7	04271515.007	504714	4068993
8	04271525.008	504728	4069081
9	04271617.009	504772	4069159
10	04271644.010	504852	4069100
11	04271710.011	504826	4069026
12	04271740.012	504808	4068996
13	04271802.013	504781	4068920
14	04271827.014	504764	4068864
15	04271847.015	504707	4068768
16	04291006.016	504795	4068463
17	04291029.017	504812	4068567
18	04291122.018	504851	4068661
19	04291159.019	504825	4068737
20	04291233.020	504867	4068922
21	04291302.021	504903	4069014
22	04291330.022	504932	4069089
23	04291355.023	505022	4069155
24	04291423.024	504997	4068964
25	04291447.025	504997	4068964
26	04291510.026	504969	4068910
27	04291536.027	505004	4068744
28	04291557.028	550310	4068657

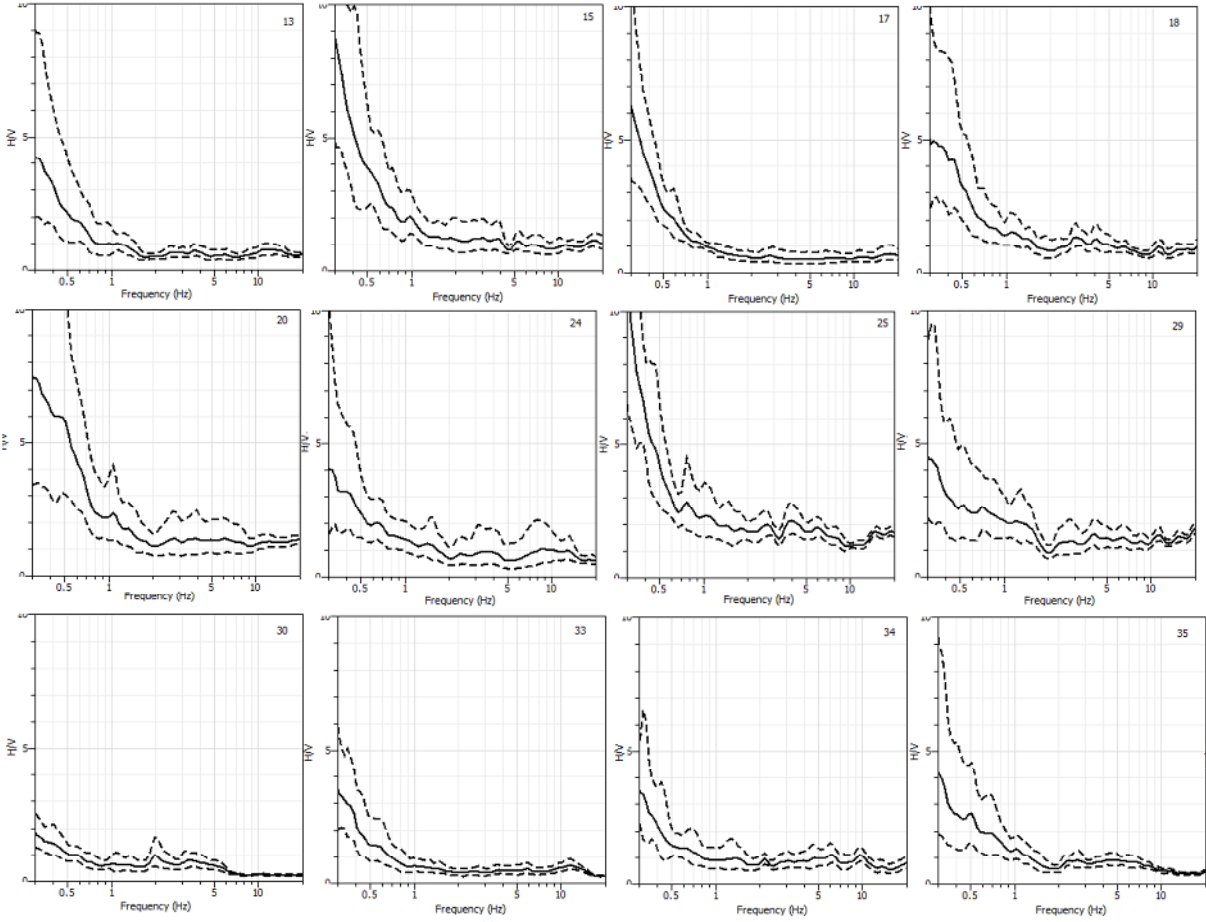
Annexe 3: Tableau des enregistrements H/V (compagne 2012)

N° de point	X (m)	Y (m)
1	505020	4068458
2	505029	4068570
3	504929	4068651
4	504708	4068629
5	504538	4068649
6	504555	4068468
7	504617	4068257
8	504835	4068328
9	505127	4068601
10	505023	4068810
11	504850	4068808
12	504670	4068830
13	504806	4069990
14	505111	4068943
15	504994	4069227
16	504810	4069258
17	504815	4069404
18	505142	4069416
19	505242	4069506
20	505388	4069627
21	505454	4069824
22	505421	4069948
23	505391	4070151
24	505163	4070137
25	505266	4069897
26	505141	4069692
27	504976	4069574
28	505013	4069672
29	505131	4069928

Annexe 4: Les courbes H/V exhibant un pic



Annexe 5: Les courbes H/V plates



Annexe 6 : Les courbes H/V n'ont pas pu être interprétées.

