

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN D'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 de l'Est de la baie d'Alger par la méthode
H/V-bruit de fond**

Préparé par :

**BOUKHROUF Mohammed
CHERIFI El Yazid**

Soutenu le 14/07 /12 devant le jury suivant :

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

Session : Juillet 2012

Sommaire

Introduction générale.....	6
Chapitre I : Généralités	3
I.1. Localisation et morphologie du secteur d'étude	4
I.2. Aperçu Géologique régional	5
I.2.1. Le primaire	5
I.2.2. Le Tertiaire.....	5
I.2.3. Le Quaternaire.....	5
I.3. Aperçu Hydrogéologique.....	8
I.4. Aperçu sismo-tectonique	9
Conclusion.....	11
Chapitre II :	12
Caractérisation géologique et géotechnique du site d'étude	12
Introduction	13
II.1. Géologie de surface du site d'étude.....	13
II.2. Lithologie du sous-sol du site d'étude	14
II.2.1. Formations quaternaires.....	14
II.2.2. Formations astiennes.....	15
II.2.3. Marnes grises du Plaisancien.....	15
II.3. Caractéristiques géotechniques des couches lithologiques du sous-sol	17
II.3.1. Le long de la coupe A-A'	17
II.3.2. Le long de la coupe BB'	17
II.3.3. Le long de la coupe CC'	19
II.4. Caractéristiques géophysiques	20
Conclusion.....	21

III.1. Aperçu historique sur l'étude du bruit de fond	23
III.2. Origine du bruit de fond.....	23
III.2.1. Selon la nature des sources.....	23
III.2.2. Selon la gamme de fréquence de la source.....	24
III.3. Nature du bruit de fond	24
III.4. Aperçu historique sur la méthode H/V-bruit de fond.....	24
III.5. Définition de la méthode H/V-bruit de fond	24
III.6. Origine du pic H/V	25
III.6.1. L'origine anthropique du pic H/V	25
III.6.2. Des pics 'peu clair' en basses fréquences.....	25
III.6.3. Deux pics H/V	25
III.7. Notions d'effets de site.....	25
III.8. Acquisition des enregistrements H/V-bruit de fond.....	26
III.9. Traitement des données	28
III.9. Résultats et interprétation.....	29
III.9.1. Courbes H/V plates (type1)	30
III.9.2. Courbes H/V exhibant un pic en dessous de 1,2 Hz (type2).....	31
III.9.3. Courbe H/V exhibant un pic entre 3 et 7 Hz (type3).....	31
III.9.4. Courbe H/V exhibant un pic entre 7,1 et 10 Hz (type4).....	32
III.9.5. Courbe H/V exhibant un pic supérieure à 10 Hz (type(5)).....	32
III.9.6.Enregistrements des fréquences des bâtiments.....	32
Conclusion.....	34
Conclusion Générale	35
Références bibliographiques	37

Liste des figures

Figure 1: <i>Situation du site d'étude, a : Baie d'Alger, b : zone d'étude.</i>	4
Figure 2: <i>Carte géologique d'Alger et ses environs (JICA, 2006).</i>	7
Figure 3: <i>La carte des réseaux hydrographiques d'Alger (JICA, 2006).</i>	8
Figure 4: <i>Carte du niveau piézométrique de la nappe souterraine dans la région d'Alger (altitude en mètre). (JICA, 2006).</i>	8
Figure 5: <i>Carte sismo-tectonique du nord d'Algérie. Mécanismes au foyer des principaux séismes ayant secoués l'Algérie et structures actives du nord algérien (Carte inédite établit par le laboratoire sismo-tectonique du CRAAG, Djellit et al., 2006).</i>	9
Figure 6 : <i>Cadre tectonique de la région d'Alger (Meghraoui, 1988). En trait noir, les failles connues, notamment celles du Sahel, du sud de la Mitidja et celle de Thénia. En trait rouge, les failles en mer, mise en évidence par la campagne Maradja (Déverchère et al., 2005). L'étoile noire indique l'épicentre du séisme du 21 mai 2003. (HELLEL, 2010)</i>	10
Figure 7: <i>Classification sismique des wilayas d'Algérie (CGS, 2003)</i>	11
Figure 8: <i>Lithostratigraphie du site d'étude, extraite de la carte géologique d'Alger au 1/50000 (JICA, 2006).</i>	13
Figure 9: <i>Localisation des sondages carottés, des coupes et des enregistrements H/V.</i>	14
Figure 10 : <i>Photo montrant des carottes de marnes grises du Plaisancien, sondage 10 (JICA, 2006).</i>	15
Figure 11 : <i>Coupes lithologiques coorelatives A-A'(NO-SE), B-B'(SO-NE) et C-C'(OSO-ENE).</i>	16
Figure 12: <i>Les types d'effets de sites (SISMOVALP, 2007)</i>	26
Figure 13: <i>Photo montrant l'appareillage utilisé pour l'enregistrement du bruit de fond.</i>	26
Figure 14: <i>Localisation des enregistrements H/V bruit de fond</i>	27

Figure 15: <i>Fiche technique des enregistrements H/V</i>	28
Figure 16: <i>Interface du logiciel Geopsy</i>	29
Figure 17: <i>Localisation spatiale des fréquences.</i>	30
Figure 18: <i>Courbe H/V plate</i>	31
Figure 19: <i>Courbe exhibant un pic H/V en dessous de 1,2Hertz</i>	31
Figure 20: <i>Courbes exhibant un pic entre 3 et 7 Hertz</i>	32
Figure 21: <i>Courbe exhibant un pic entre 7,1 et 10 Hertz</i>	32
Figure 22: <i>Courbe exhibant un pic supérieure à 10 Hertz</i>	33

Liste des tableaux

Tableau 1: <i>Paramètres d'identifications du sous-sol de la coupe B-B', LNHC (Laboratoire National d'Habitat et de Construction- Alger), (2005-2010) ; JICA, (2006).</i>	18
Tableau 2: <i>Paramètres d'identifications du sous-sol de la coupe C- C', LNHC (Laboratoire National d'Habitat et de Construction- Alger), (2005-2010); JICA, (2006)</i>	19
Tableau 3: <i>Vitesses des ondes sismiques et épaisseur des couches.</i>	20
Tableau 4: <i>Fréquence de résonances des bâtiments</i>	33

Introduction générale

Les tremblements de terre, un des risques naturels les plus meurtriers et à fort coût économique.

Après les derniers séismes, comme souvent cités, Caracas (Venezuela) 1967, Mexico 1985, Loma prieta (San Francisco) 1989, Kobe (Japon) 1995, Izmit (Turquie) 1999, Francisco (Inde) 2001, Francisco (Iran) 2003, Yogyakarta (Indonésie) 2006, Niigata (Japon) 2004 et 2007, d'importants dégâts dus en partie aux effets de site ont été constatés. Une meilleure estimation a priori des effets de site apparaît alors comme un des éléments essentiels pour mieux prévenir les risques sismiques. De gros efforts ont été faits dans cet objectif depuis le séisme de Caracas en 1967, à la fois pour intégrer cette prise en compte de manière simple dans la réglementation parasismique, et pour élaborer des méthodes plus sophistiquées pour les études ponctuelles [*Cadet, 2007*].

L'évaluation des effets de site et les études de l'aléa sismique font parties des moyens qui permettent de définir le risque sismique dans une zone donnée et le réduire.

La prospection géophysique et l'étude géotechnique du sol de la zone d'étude (Est de la Baie d'Alger) sont utilisées dans le but d'identifier les fréquences du sol et leurs réponses. A cet effet, nous avons réalisé, durant cinq jours, 80 enregistrements H/V-bruit de fond, et 05 mesures de fréquence dans des bâtiments.

Les fréquences de résonances du sol obtenues sont ensuite comparées à celles de ces bâtiments pour vérifier s'il y a un risque de résonance, pouvant être dommageable, en cas de séisme.

Enfin, nous concluons notre travail avec certaines recommandations constructives qui tiennent compte des conditions du sol afin de bien aménager les espaces.

Chapitre I : Généralités

I.1. Localisation et morphologie du secteur d'étude

Notre zone d'étude est localisée dans la partie est de la baie d'Alger (figure 1). Elle est limitée :

- au Nord par la mer Méditerranée ;
- au Sud par Bab Ezzouar et El-Hamiz ;
- à l'Est par Oued El-Hamiz ;
- à l'Ouest par les Pins Maritimes.

Les coordonnées du site sont : X : 514684 à 521758 ; Y : 4065123 à 4070009

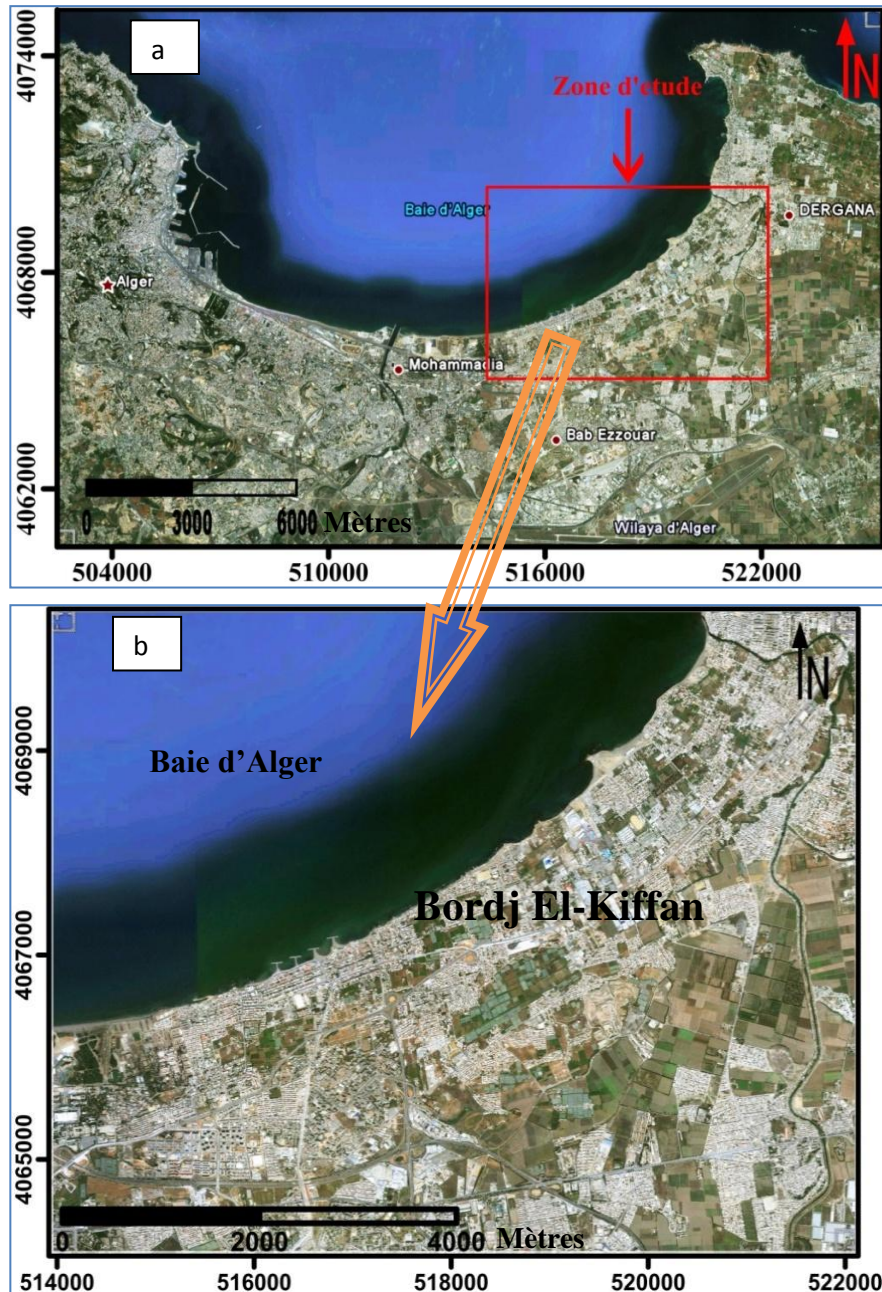


Figure 1: Situation du site d'étude, a : Baie d'Alger, b : zone d'étude sur fond d'une image satellitaire Google Earth [2009].

Du point de vue morphologique, le site d'étude est plat (plaine littorale), son altitude est faible, variant de 1 à 40 mètres environ.

I.2. Aperçu Géologique régional

La région d'Alger peut être présentée comme un dôme métamorphique primaire bordé par des assises sédimentaires d'âge Tertiaire et Quaternaire (figure2) [Charakdji et Djenidi, 2006].

I.2.1. Le primaire

Il correspond à des terrains métamorphiques (gneiss, schistes, micaschistes et calcaires cristallins). Il affleure dans le massif d'Alger, à Sidi Feruch à l'Ouest et à Bordj El Bahri à l'Est en passant par Bouzaréah [Benallal et Ourabia, 1989].

I.2.2. Le Tertiaire

Il est marqué par une lacune de l'Eocène et de l'Oligocène et recouvre en discordance le socle métamorphique. Il est représenté par plusieurs formations géologiques d'âge Mio-Pliocène.

I.2.2.1. Le Miocène

Il est matérialisé par des grès et conglomérats très cimentés, il affleure dans le ravin de l'oued Koraich et dans la région de Ain Taya, à la base des falaises littorales [Benallal et Ourabia, 1989].

I.2.2.2. 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, 1989].

I.2.2.3. 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 [Sayad et Hamga, 2006]. Il se présente sous forme de marnes jaunâtres, de calcaires sableux, parfois riches en bivalves et de molasse [Glangeaud et al, 1952 in JICA, 2006].

I.2.3. 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 grés-carbonnatés, et

CHAPITRE I : Généralités

une formation de marne 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

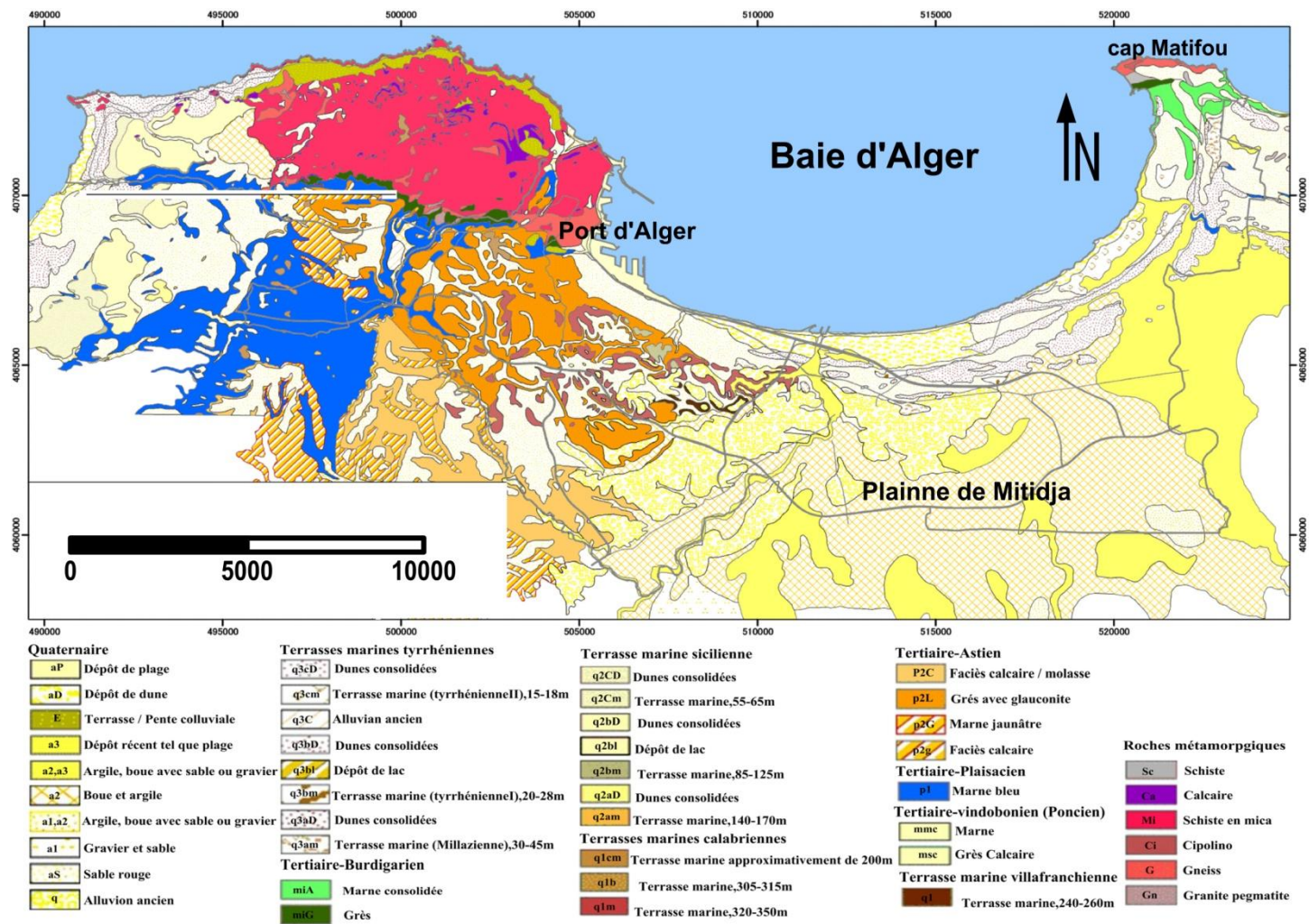


Figure 2: Carte géologique d'Alger et ses environs [JICA, 2006].

I.3. Aperçu Hydrogéologique

La baie d'Alger est disséquée par oued El-Harrach et oued El-Hamiz qui prennent leur source dans l'Atlas Blidéen (figure 3).

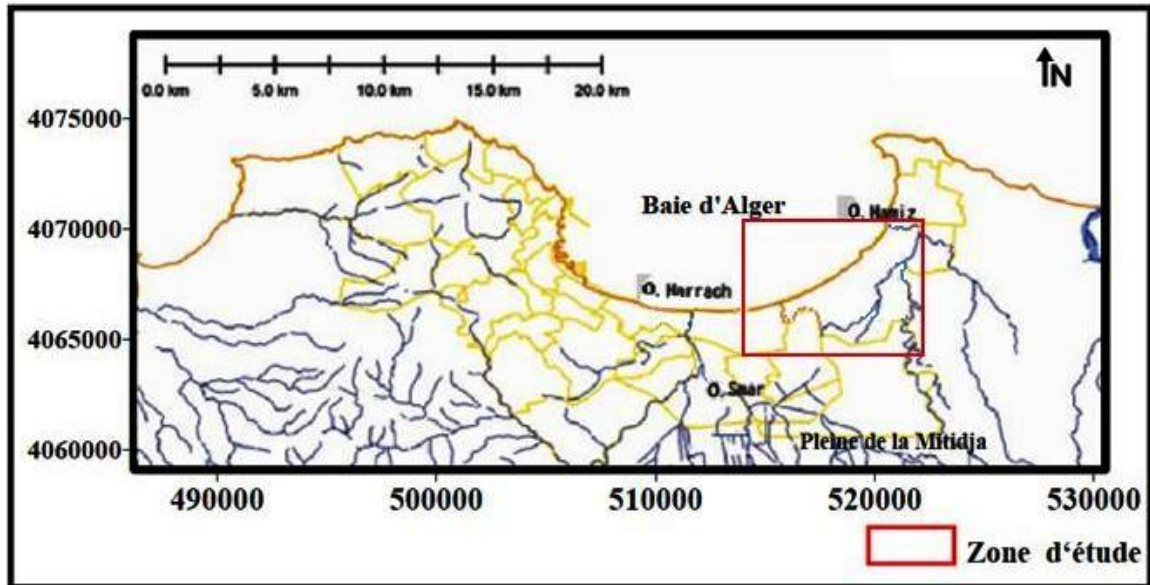


Figure 3: La carte du réseau hydrographique d'Alger [JICA, 2006].

La plaine de la Mitidja dispose de deux couches aquifères séparées par les argiles imperméables d'El-Harrach qui s'étendent sur toute la zone. La couche aquifère la plus profonde est la formation astienne. La deuxième est la couche tyrrhénienne (figure 4) [JICA, 2006].

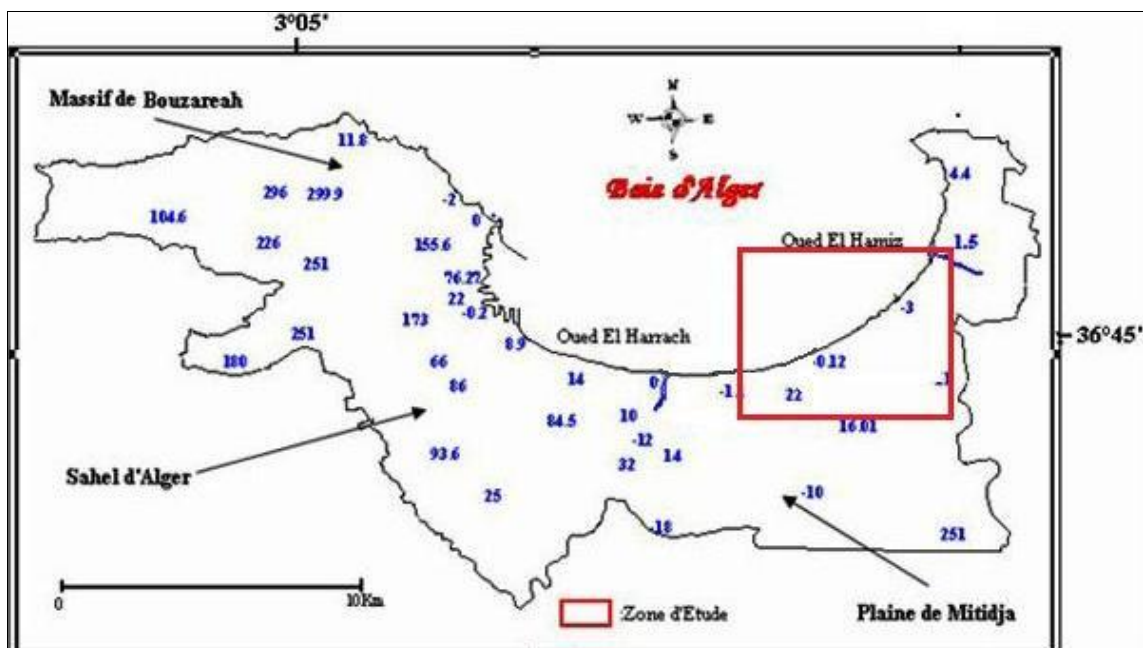


Figure 4: Carte du niveau piézométrique de la nappe souterraine dans la région d'Alger (altitude en mètre) [JICA, 2006].

I.4. Aperçu sismo-tectonique

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, quoiqu'il arrive 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].

Historiquement, la région d'Alger est depuis longtemps connue pour être le siège de séismes récurrents de forte magnitude ($M > 6$) [Domzing, 2006].

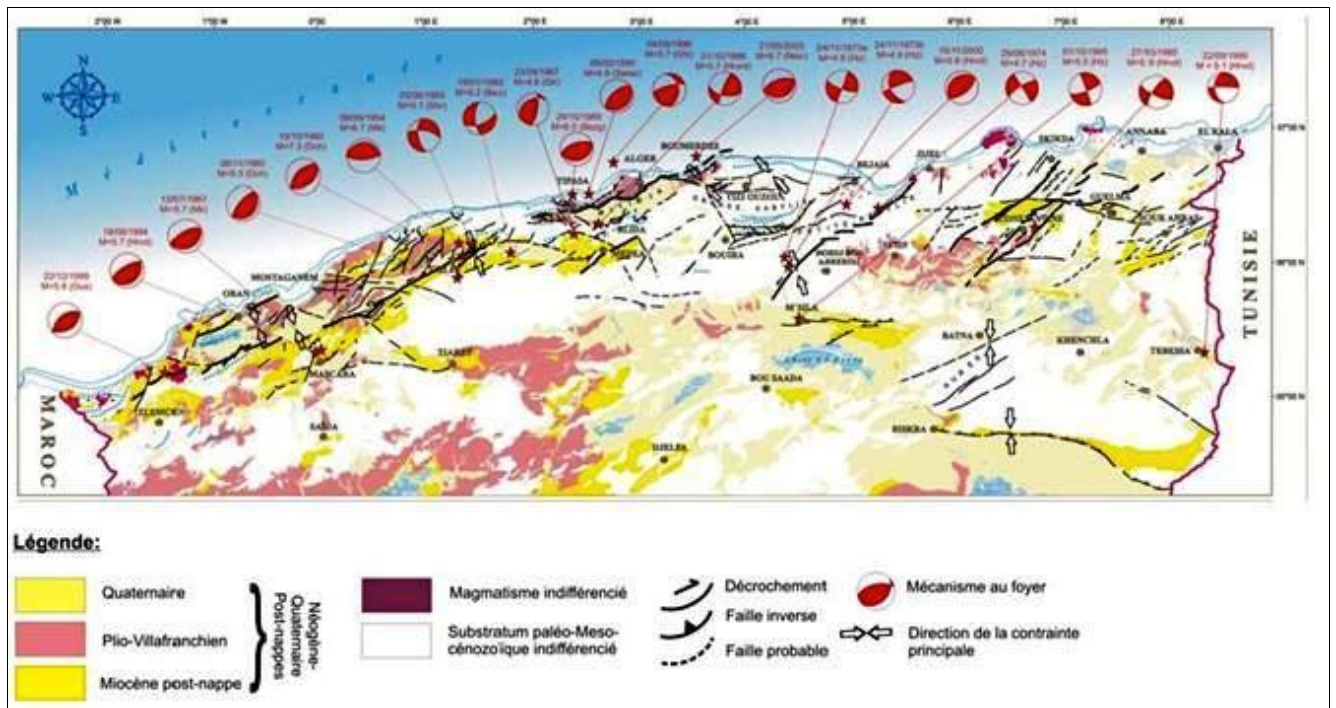


Figure 5: Carte sismo-tectonique du nord d'Algérie. Mécanismes au foyer des principaux séismes ayant secoué l'Algérie et structures actives du nord algérien (Carte inédite établie par le laboratoire sismo-tectonique du CRAAG, [Djellit et al., 2006].

Cette sismicité est caractérisée par des séismes superficiels, elle est localisée dans les 20 premiers kilomètres, et généralement marquée par des séismes faibles à modérés. Toutefois, Des séismes forts se sont produits dans l'Atlas Tellien, nous pouvons citer le séisme de Boumerdes (Zemmouri) du 21 mai 2003 ($M_w = 6.8$). Les structures actives sont représentées généralement par des failles inverses et/ou de coulissement, et sont principalement orientées NE-SW [Ouyed et al., 1983 ; Meghraoui, 1988 ; Bounif et al., 2004, Delouis et al., 2004 ; Yelles et al., 2004 in Beldjoudi, 2011].

CHAPITRE I : Généralités

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 N75° 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 anticlinale du Sahel : La faille anticlinale du Sahel correspond à une faille en chevauchement aveugle, localisée le long de la marge septentrionale de l'anticlinal du Sahel. Sa longueur est d'environ 41 Km. [Géomatrix, 2006].
- La faille offshore de Zemmouri : Elle fut méconnue jusqu'à sa mise en évidence par les deux compagnes Maradja (2003 et 2005). Sa structure serait celle d'un pli-faille. Le taux de déplacement de cette faille est de 0,2mm par an, et sa direction est NE-SW. La faille pourrait émerger à environ 15 kilomètres en mer. [Semane, 2005].

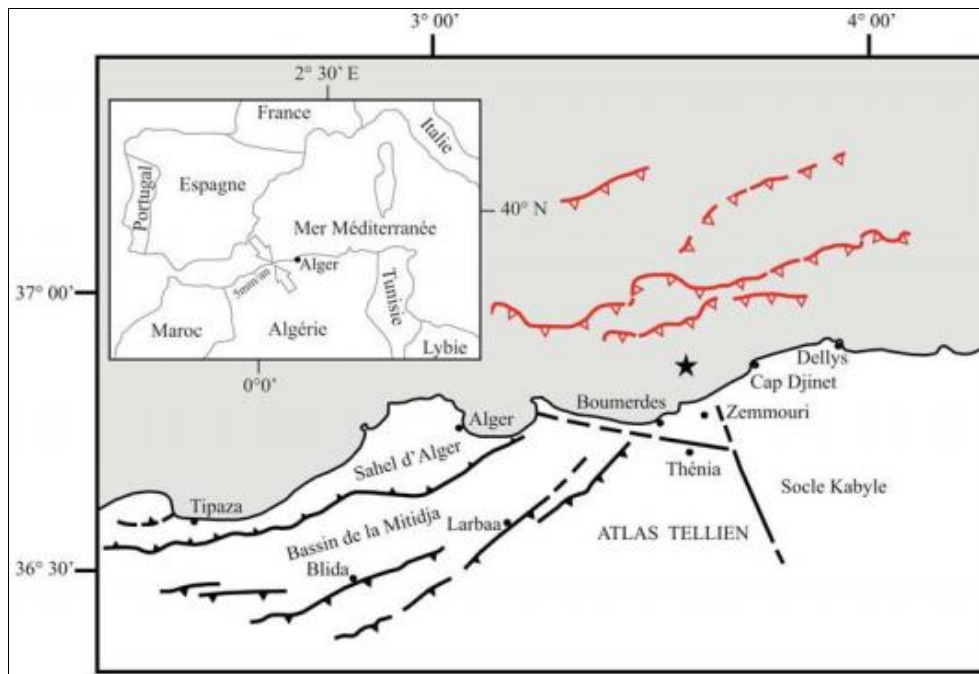


Figure 6 : Cadre tectonique de la région d'Alger [Meghraoui, 1988]. En trait noir, les failles connues, notamment celles du Sahel, du sud de la Mitidja et celle de Thénia. En trait rouge, les failles en mer, mise en évidence par la campagne Maradja [Déverchère et al., 2005]. L'étoile noire indique l'épicentre du séisme du 21 mai 2003. [in Hellel.2010].

CHAPITRE I : Généralités

Le territoire national est divisé en cinq (05) zones de sismicité croissante (figure7) qui sont : Zone 0 : sismicité négligeable (couleur bleue sur la figure 7) ; Zone I : sismicité faible Zones IIa et IIb : sismicité moyenne ; Zone III : sismicité élevée (couleur rouge sur la figure 7).

L'annexe I du « RPA 99, version 2003 » donne la classification sismique par wilaya et par commune lorsque la wilaya est partagée entre deux zones sismiques différentes ou plus. Les critères de classifications selon le « RPA 99, version 2003 » sont : Les zones sismiques, L'importance des ouvrages, les sites, les systèmes de contreventement et la régularité des ouvrages [Ben Soula, 2012].

Le Séisme du 21 mai 2003 a conduit à la reclassification de la région d'Alger, de Boumerdes et de Tipaza, qui sont passées de la zone II, (moyenne sismicité) à zone III (forte sismicité) [CGS, 2003].

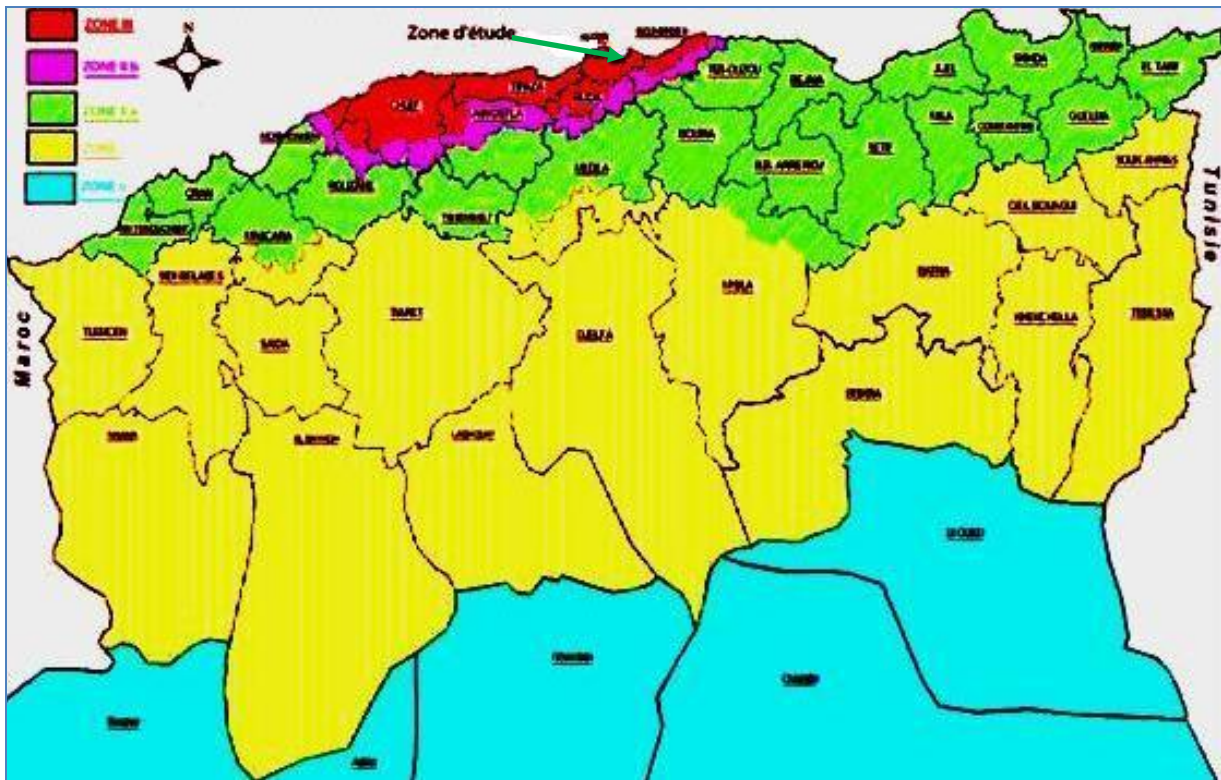


Figure 7: Classification sismique des wilayas d'Algérie [CGS, 2003].

Conclusion

Le risque sismique pour la région Algéroise est relativement élevé, marquée par l'existence de plusieurs failles actives, susceptibles d'engendrer des séismes de forte magnitude. Notre secteur d'étude étant situé en zone III, de forte de sismicité, la réduction du risque sismique se révèle donc primordiale. La détermination des fréquences de résonance du sol, rentre dans la réduction de ce risque. La mesure des fréquences de résonance du sol par l'utilisation de la méthode H/V-bruit de fond, est l'un des moyens que l'on peut utiliser.

Chapitre II :
Caractérisation géologique et
géotechnique du site d'étude

Introduction

La connaissance de la géologie de surface et de la lithologie du sous-sol du site est importante pour pouvoir interpréter les résultats de l'étude du bruit de fond. En effet, leur nature, leurs caractéristiques géotechniques et leurs épaisseurs va nous permettre de faire une corrélation avec les résultats des enregistrements H/V-bruit de fond.

II.1. Géologie de surface du site d'étude

D'après la carte géologique 1/50000 (JICA, 2006), notre zone d'étude est recouverte par des terrains quaternaires (figure 8), à savoir :

- Dépôt de plage (aP) ;
- Dunes actuelles (aD) au Nord-Est et au Nord-Ouest ;
- Alluvions anciennes (q) dans la partie Sud-Ouest ;
- Sable rouge (aS) ;
- Terrasses marines tyrrhéniennes (q3cD, q3cm) de l'Est à l'Ouest de notre site ;
- Boue et argile (a2) au Sud de la zone d'étude ;
- Dépôt récent tel que plage (a3) à l'Est du site d'étude à proximité d'oued El-hamiz.

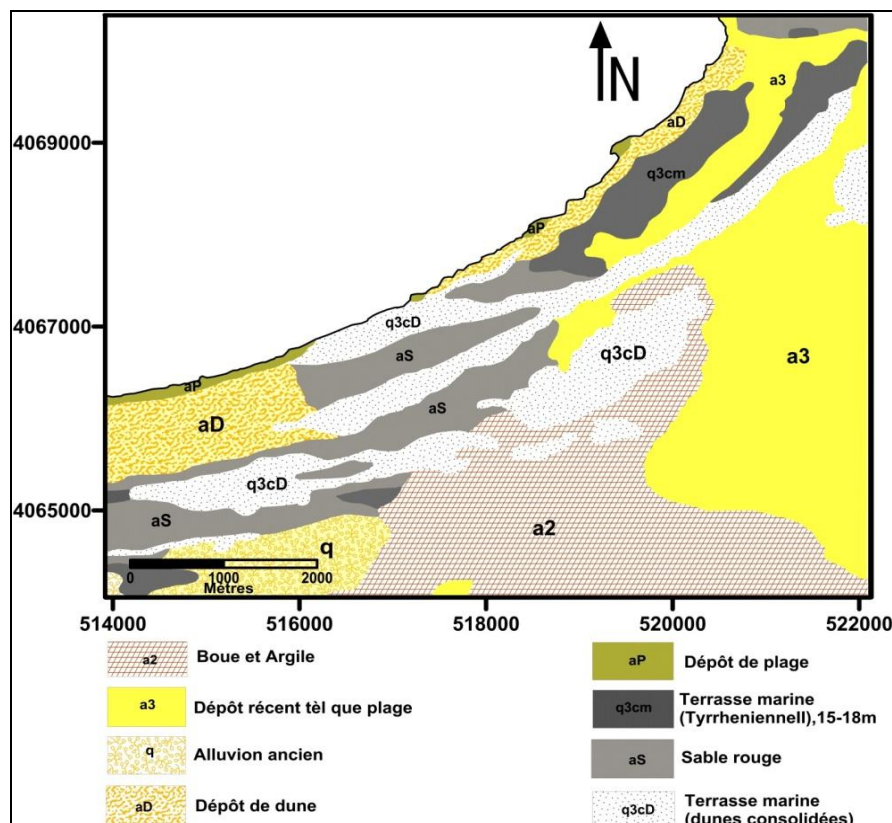


Figure 8: Lithostratigraphie du site d'étude, extraite de la carte géologique d'Alger au 1/50000 [JICA, 2006].

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

A partir des sondages carottés (figure 9) et en utilisant les résultats des essais pénétrométriques et pressiométriques réalisés dans le cadre de plusieurs projets (JICA, 2006 ; garde républicaine 2006 ; tramway 2007 ; chalets 2003,...etc.), on a pu tracer différentes coupes lithologiques à partir desquelles on a déduit les unités lithologiques principales qui constituent le sous-sol de notre secteur d'étude.

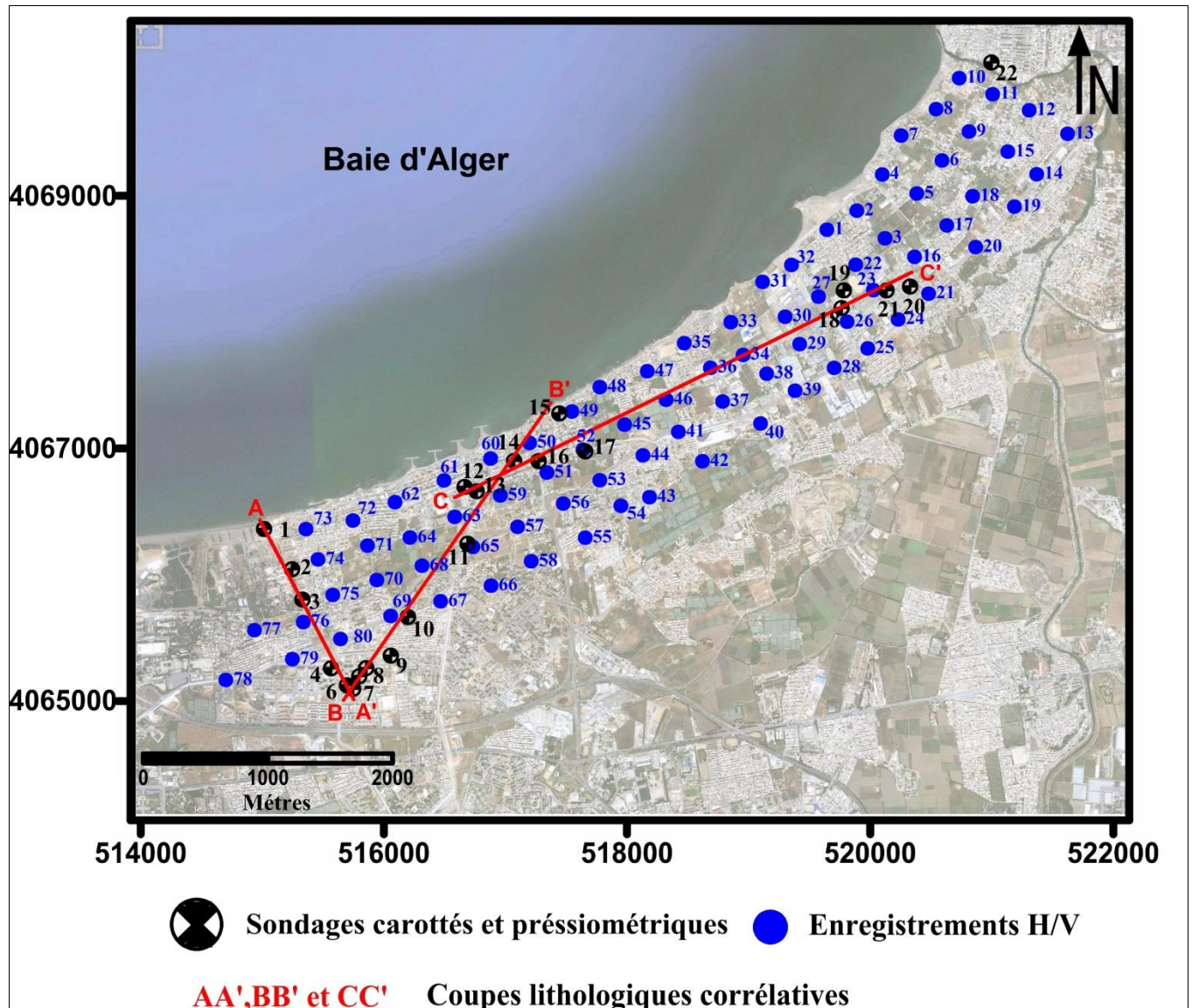


Figure 9: Localisation des sondages carottés, des coupes et des enregistrements H/V sur fond d'une image satellitaire Google Earth [2009].

II.2.1. Formations quaternaires

Elles sont très représentées dans notre zone d'étude où elles constituent la tranche superficielle. On y rencontre :

- un remblai, hétérogène (sable, fragment de brique, limon) d'une épaisseur variable beaucoup plus épais le long de la coupe BB' (figure 11).

- du sable fin, brunâtre, graveleux s'étale tout au long de la coupe AA' (figure 11) d'épaisseur variant de 10 à 12 mètres,
- des argiles : Parfois sableuses rougeâtres à brunâtres, à l'extrémité ENE de la coupe CC' (figure 11) où elles constituent une couche de 16 mètres d'épaisseur,

II.2.2. Formations astiennes

- du sable grésifié, rencontré le long de la coupe CC' (S20) d'une épaisseur variant entre 3 à 4 mètres.
- des grès calcaire le long de la coupe BB' et au début de CC' entre 15 et 20 mètres de profondeur ou il se fissure parfois en bloc constituant une couche très fine se posant sur la marne à l'extrémité Nord-Ouest (figure 11, coupe AA' entre 15 et 20 mètres de profondeur).

II.2.3. Marnes grises du Plaisancien

Cette formation constitue le substratum marneux ou marno-argileux gris à gris bleuâtre (figure 11), parfois sableuse compacte avec des débris de coquilles. Elle est assez compacte en profondeur ou elle constitue un socle solide, révélé pratiquement par tous les sondages dépassant 20m de profondeur. Ces marnes ont été recoupées sur 20 mètres d'épaisseur au niveau de Mohamadia et Bordj El Kiffan (sondages 9 et 13 de la figure 9 et 11).



Figure 10 : Photo montrant des carottes de marnes grises du Plaisancien, sondage 10 [JICA, 2006].

La nappe phréatique a été détectée entre 2 et 5 mètres de profondeur le long des coupes AA' et CC' et vers 18 mètres de profondeur le long de la coupe BB' (figure 11). En effet les grès quaternaires sont aquifères : les formations quaternaires (sableuses, sablo-gréseuses et gréseuses) sont perméable et recouvrent un substratum épais et imperméable (marnes de Plaisancien). Cette disposition structurelle et la forte pluviométrie de l'Algérois expliquent l'infiltration d'une partie des eaux de pluies et leur stockage dans les formations quaternaires.

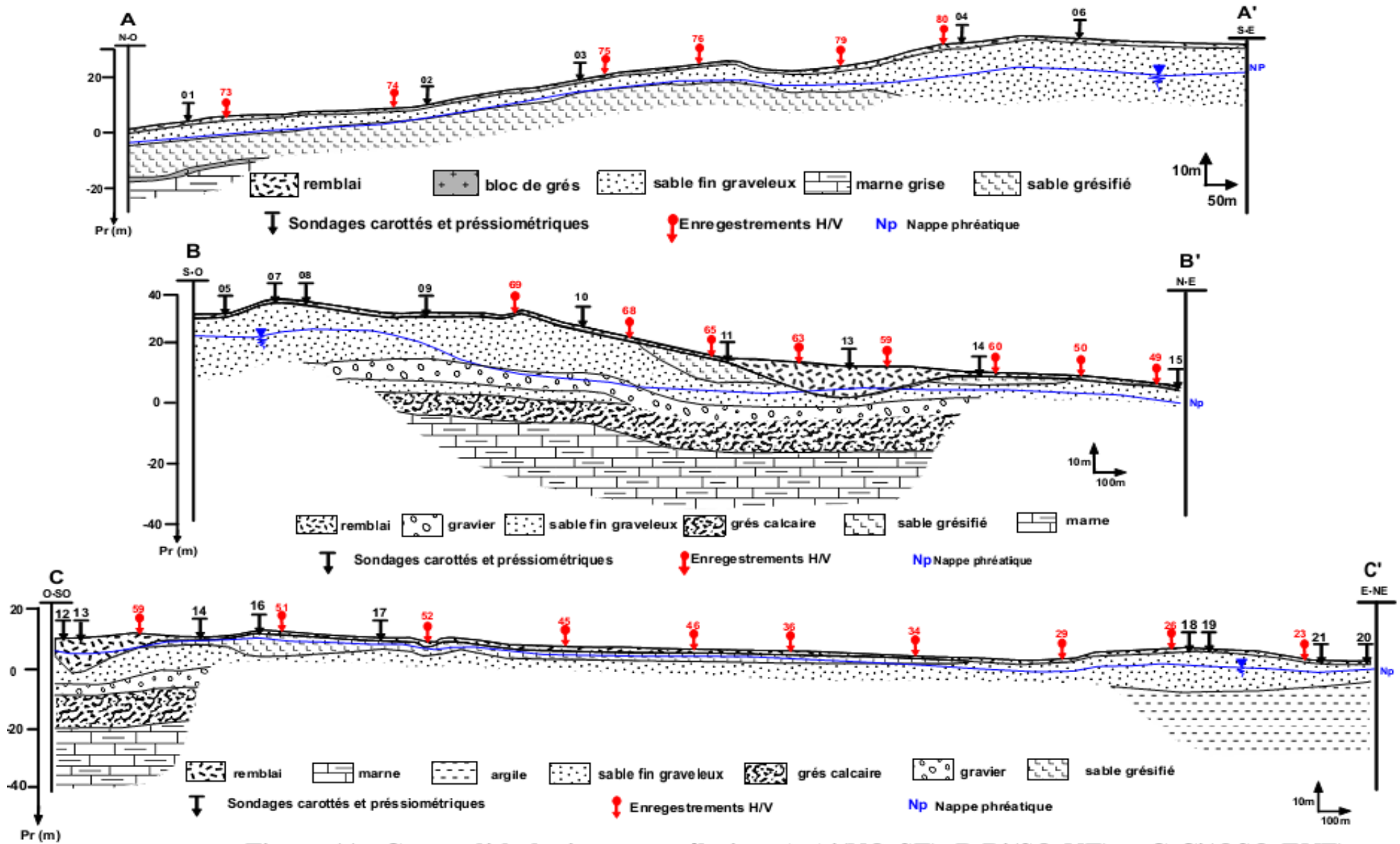


Figure 11 : Coupes lithologiques corrélatives A-A'(NO-SE), B-B'(SO-NE) et C-C'(OSO-ENE).

II.3. Caractéristiques géotechniques des couches lithologiques du sous-sol

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'analyse des paramètres physico-mécaniques de laboratoire, les résultats d'essais mécaniques in situ et les résultats d'investigations géophysiques, qu'on a récoltées auprès du Laboratoire de l'Habitat et de la Construction du Centre (unités de Oued Smar et de Rouiba) ainsi que celles réalisées par JICA. Pour cette analyse, nous avons regroupé les différentes couches en trois unités : unité des sables fins argilo-limoneux, unité des grès et sable grésifié et unité des marnes. Les données récoltées n'ont, malheureusement, intéressé que la première unité.

Les paramètres mécaniques sont déterminés à partir des essais de cisaillement consolidés non drainés qui ont pour but de déterminer la variation de la cohésion non drainée C_u et l'angle de frottement non drainé ϕ_u , en mesurant la pression interstitielle au moment de la rupture.

II.3.1. Le long de la coupe A-A'

II.3.1.1. Paramètres d'identification

Il s'agit d'un sol fin (plus de 80% de fraction fine, sauf dans le cas du quartier des Bananiers où la fraction fine ne dépasse pas 26%). La teneur en eau est de 21 à 23 %, caractérisant un sol détrompé (nappe phréatique à seulement 2 mètres de profondeur au niveau des sondages 1, 2 et 3 et un degré de saturation important, avoisinant les 100%). Les limites d'Atterberg ainsi que l'indice de consistance I_c révèlent un sol très plastique dans l'ensemble ($0 < I_c < 1$). La masse volumique varie de 1,7 à 2 t/m³, indiquant un sol moyennement dense.

II.3.1.2. Caractéristiques mécaniques de laboratoire

Les valeurs obtenues de l'essai œdométrique (C_c de 11% en moyenne) révèlent un sol moyennement compressible, selon la classification de Terzagui.

L'essai au cisaillement CU (consolidé non drainé) a révélé un angle de frottement qui varie entre 24,90 et 39,75° et une cohésion de 2,23 bars (présence d'éléments grenus).

II.3.1.3. Caractéristiques mécaniques in situ

Le sol présente de bonnes valeurs de résistance dynamique où R_p (résistance à la pointe) moyenne oscille autour de 40 bars avec un refus obtenu entre 3 et 3,8 mètres et des valeurs N_{spt} qui sont souvent supérieures à 35 coups ce qui dénote un sol de bonne compacité. Néanmoins, on remarque la présence d'une couche de sable fin lâche d'une épaisseur variant de 1,5 à 4 mètres (au niveau du sondage carotté 1, figure 9 et 11).

II.3.2. Le long de la coupe BB'

II.3.2.1. Paramètres d'identification

Le sol est peu dense à dense (avec une masse volumique qui varie de 1,6 à 2 t/m³). La courbe granulométrique étendue révèle un sol fin avec passage de graviers. Les limites d'Atterberg montrent un sol plastique à solide ($I_c > 1$).

II.3.2.2. Caractéristiques mécaniques de laboratoire

Le sol est moyennement compressible avec des valeurs du coefficient de tassement de l'ordre de 13,21%. L'essai au cisaillement CU (consolidé non drainé) a révélé un angle de frottement de 39,75° et une cohésion de 4,47 bars (présence d'éléments grenus).

Tableau 1: Paramètres d'identification du sous-sol le long de la coupe B-B' (figure 11) [LHCC, 2000 à 2011; JICA, 2006].

Coupe BB'					
Sondages		Sc15	Sc13		
Granulométrie	≤80%	25	99,33	99	99,33
Limites d'Atterberg	Ic	-	1,13	1,4	1,3
	Ip	13	28,69	40,91	32,24
	Wp	11	30,31	38,09	31,70
	WI	24	59	79	64
Masse volumique	$\gamma_d(t/m^3)$	-	1,60	1,65	1,64
	$\gamma_h(t/m^3)$	-	2	2	1,97
	w(%)	-	26,53	21,41	21,87
	Sr(%)	-	100	89,99	88,26
Profondeur (m)		4-6	30,20-30,50	41,20-41,70	49-49,20

II .3.2.3. Caractéristiques mécaniques in situ

Les valeurs de résistance à la pénétration sont importantes dans les 2 premiers mètres où elles dépassent 50 bars et atteignent 200 bars par endroit (Sp10 de la figure 9) due à la présence d'un sable graveleux peu limoneux entre 1 et 4 mètres de profondeur. Les refus sont situés entre 2 et 3 mètres de profondeur et sont confirmés par des valeurs N_{spt}, souvent supérieures à 60 coups.

La pression limite Pl varie de 22,33 à 45 bars, le module de déformation E varie de 475 à 1158,33 bars et le rapport pressiométrique E/Pl varie de 21,25 à 25,74. Ceci révèle un sol de bonne compacité surtout au niveau du sondage Sp14 (figure 9), où vue la compacité du sol les essais n'ont même pas pu être continus.

II.3.3. Le long de la coupe CC'

II.3.3.1. Paramètres d'identification

L'analyse granulométrique révèle un sol fin où la part de la fraction fine est souvent supérieure à 60%. Il est également peu dense dans sa majorité. Les limites d'Atterberg caractérisent un sol très plastique avec un indice de consistance I_c compris entre 0 et 1.

II.3.3.2. Caractéristiques mécaniques de laboratoire

Les essais de compressibilité à l'oedomètre montrent un sol moyennement compressible (avec C_c moyenne de 14%). Les résultats des essais de cisaillement donnent un sol mou à moyennement résistant ($0.14 \leq C \leq 0.34$ bars; $14^\circ \leq \phi \leq 20$).

Tableau 2: Paramètres d'identifications du sous-sol le long de la coupe C- C'
[LNHC, 2000 à 2011; JICA, 2006].

Coupe CC'						
Sondages		Sp1	Sc18	SC19	Sc23	Sc20
Granulométrie	$\leq 80\%$	-	40	99	50	94
	Ic	2,08	0,89	0,69	1	0,54
Limites d'Atterberg	Ip	8	19	25,6	17	22
	Wp	12	16	21,9	20	23
	Wl	20	37	47,5	37	45
	$\gamma_d(t/m^3)$	2,18	1,63	1,57	1,68	1,37
Masse volumique	$\gamma_h(t/m^3)$	2,25	1,95	2	2	1,81
	w(%)	3,29	20	20,7	20	33,1
	sr(%)	37	82	-	87	92
	Profondeur (m)	1	1,5-2	17,30-17,90	1,3-3	1,5-2,30

II.3.3.3. Caractéristiques mécaniques in situ

Le sol se caractérise par une bonne résistance à la pointe R_p qui oscille entre 10 et 50 bars à 1mètre de profondeur et continue à augmenter avec la profondeur pour dépasser les 50 bars à 3 mètres. Dans certains endroits, elle dépasse les 200 bars à seulement 2 mètres de profondeur (sondage 16, figure 9 et 11).

La pression limite Pl varie de 25,725 à 45,705 bars, le module de déformation E varie de 478 à 2989,41 bars et le rapport pressiométrique E/Pl varie de 62,57 à 150,67 bars. Ceci révèle un sol de bonne compacité en particulier au niveau des sondages 14, 16 et 17 (figure 9 et 11).

II.4. Caractéristiques géophysiques

Les propriétés géophysiques traitées dans ce travail se résument aux vitesses des ondes sismiques dans le sol. Ces vitesses ont été obtenues à partir de trois down-hole réalisés par JICA en 2006 (tableau 3).

Le down-hole est une diagraphie sismique qui permet de déterminer les vitesses sismiques des ondes de compression V_p et des ondes de cisaillement V_s par l'analyse des signaux transmis par une source active à un capteur, à une profondeur donnée. Ce procédé permet, en particulier, de mettre en évidence des hétérogénéités dans un site sédimentaire.

Tableau 3: *Vitesses des ondes sismiques et épaisseur des couches.*

Down-Hole	Couches	Epaisseur (m)	V_p (m/s)	V_s (m/s)
DH ₁	1	0 - 8	770	500
	2	8 - 23	1200	690
	3	23 - 40	1800	530
DH ₂	1	0 - 5	670	290
	2	5 - 12	1900	390
	3	12 - 30	1900	510
	4	30 - 44	1900	400
	5	44 - 48	1900	540
DH ₃	1	1 - 8	1800	290
	2	8 - 16	1800	340
	3	16 - 27	2600	440

On remarque que d'une manière générale, les ondes sismiques augmentent avec la profondeur. Cela s'explique par l'augmentation de la compacité des terrains, même si parfois les ondes de cisaillement diminuent du fait de la présence d'eau dans laquelle elles ne se propagent pas.

Ces variations de vitesse mettent en évidence trois couches (deux interfaces où les ondes changent de propriétés : réflexion et réfraction de rayon incident) qui sont :

- un remblai qui couvre toute la zone d'étude, atteignant parfois 8 mètres d'épaisseur ;
- du sable recoupé entre 8 et 23 mètres de profondeur ;
- substratum marneux.

Conclusion

L'analyse des trois coupes lithologiques ainsi que les paramètres géotechniques ont révélés un sol assez homogène, composée essentiellement de sable fin graveleux (quaternaire) d'une bonne compacité parfois limoneux et argileux qui repose sur du sable grésifié Tyrrhénienne, le tous reposent sur un socle marneux d'âge Plaisancien.

En surface, un remblai d'épaisseur variable (1 à 12 mètres) recouvre systématiquement la formation sableuse qui baigne en partie dans une nappe d'eau dont le niveau oscille entre 2 et 9 mètres de profondeur.

Dans l'ensemble, ces sols sont de portance moyenne à bonne, les tassements ne seront pas à craindre, ils sont de type instantané étant donné qu'il s'agit principalement de sols grenus.

CHPITRE III :
Méthode HV-bruit de Fond

La méthode la plus directe pour décrire les effets de site consiste à comparer des enregistrements de séismes d'un site à l'autre. Mais, l'utilisation de cette méthode, en contexte de sismicité rare, est difficile. En revanche, les méthodes basées sur le bruit de fond sismique, et notamment la méthode H/V, utilisent les propriétés du bruit urbain pour estimer les caractéristiques physiques des sols à un coût défiant toute concurrence [Saad, 2006].

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, elle n'apparaît qu'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 (Centre National de Recherche Appliquée en Génie parasismique, Alger) et le LGIT (Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique, Grenoble) [Benidir et Fernane, 2010].

III.1. Aperçu historique sur l'étude du bruit de fond

En 1872, Bertelli constata une corrélation entre les microséismes et les perturbations de pression atmosphérique ; En 1924, Banerji observa des modifications du bruit associées à la mousson indienne puis dans les années 40, Bernard ainsi que Longuet-Higgins montrèrent la relation entre les périodes des microséismes et celles des vagues océaniques [Bonney-Claudet, 2004]. Dès les années 1950, des scientifiques japonais ont détecté dans les enregistrements de bruit de fond sismique des indices de caractérisation du comportement des sols soumis à séismes [Aki, 1957 et 1993 in Duval 2007].

III.2. Origine 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.

III.2.1. Selon la nature des sources

Selon la nature des sources du bruit, on distingue deux origines : naturelle et anthropique.

III.2.1.2 Une origine naturelle

- 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 racines des arbres ou les fondations d'un immeuble vibrant sous l'effet du vent.

III.2.1.2 Une origine anthropique

- Les machines d'une usine ;
- Le roulement des trains et des voitures ;
- Un homme qui marche.

III.2.2. Selon la gamme de fréquence de la source

On distingue :

- à basse fréquence ($F < 1\text{Hz}$) Les sources sont naturelles (océans, conditions météorologiques à grande échelle).
- pour les fréquences intermédiaires ($1\text{Hz} < F < 5\text{Hz}$) les sources sont : soit naturelles (conditions météorologiques locales) soit anthropiques (urbaines).
- à haute fréquence ($F > 5\text{Hz}$) les sources sont anthropique.

III.3. Nature du bruit de fond

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.4. Aperçu historique sur la méthode H/V-bruit de fond

La méthode des rapports spectraux H/V, ou méthode dite de 'Nakamura', est une des méthodes basées sur le bruit de fond les plus largement utilisées dans le monde pour la caractérisation des effets de site (définir la fréquence de résonance des sols) et pour le microzonage sismique. [Saad, 2006].

Cette technique a été proposée pour la première fois au Japon par Nogoshi et Igarashi (1970 et 1971) et utilisée plus tard par Nakamura (1989), qui l'a fait connaître au monde occidental.

Cette méthode consiste à obtenir une estimation de la fréquence de résonance d'un site en effectuant le rapport spectral des composantes horizontales de l'enregistrement de bruit de fond sismique sur la composante verticale (H/V). [Saad, 2006].

III.5. Définition de la méthode H/V-bruit de fond

La méthode des rapports spectraux H/V consiste à obtenir une estimation de la fréquence de résonance du sol d'un site à partir du rapport des amplitudes spectrales du bruit ambiant des composantes horizontales sur celle de sa composante verticale.

Cette fréquence de résonance f_0 traduit l'effet de site, elle se matérialise par un pic bien marqué sur la courbe H/V si le contraste de vitesse entre le sédiment et le rocher est suffisamment fort et inversement. [Bonnefoy-Claudet, 2004].

La fréquence de résonance est liée à la vitesse de cisaillement V_s et à l'épaisseur H de la couche sédimentaire par la relation 1D :

$$f_0 = v_s / 4H$$

III.6. Origine du pic H/V

III.6.1. L'origine anthropique du pic H/V

La courbe H/V exhibe généralement un pic pointu et étroit dans les environnements urbains. Dans la plupart des cas l'origine de ce pic est anthropique (généralement industrielle : générateur, turbine, ...etc.).

III.6.2. Des pics 'peu clair' en basses fréquences

Il existe quelques conditions où la courbe H/V exhibe un pic 'peu clair' en basse fréquence (inférieure à 1 Hz). Ce type de pics est imputé aux plusieurs origines :

- un site de basse fréquence avec :
 - un contraste d'impédance modéré entre les sédiments et le rocher.
 - un gradient de vitesse.
 - un niveau bas des vibrations ambiantes en basses fréquences.
- des mesures s'effectuent pendant des perturbations météorologiques qui augmentent les basses fréquences et change le rapport spectral H/V. par exemple, l'influence du vent qui souffle pendant le temps d'enregistrement (surtout à côté des bâtiments et des arbres).
- un mauvais couplage entre le capteur et le sol surtout dans des cas de : sol humide, des herbes, une horizontalité pas satisfaisante, ...etc.
- des sources des vibrations ambiantes en basses fréquences comme des machines, des gens qui marchent, au voisinage des points d'enregistrement.
- un capteur inadéquat avec une haute sensibilité aux basses fréquences.

III.6.3. Deux pics H/V

Parfois la courbe H/V exhibe deux pics clairs, ceci se produit généralement quand il existe deux contrastes d'impédances forts. Dans ce cas-là il existe deux fréquences f_0 et f_1 ($f_0 < f_1$), où f_0 est la fréquence fondamentale. [SESAME, 2004 in Saad, 2006].

III.7. Notions d'effets 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].

Deux types de structures sont susceptibles de donner lieu à des effets de site, il s'agit (figure 12) :

- des bassins sédimentaires (effet de site lithologique ou géologique) ;
- de la topographie (effet de site topographique) [Bourdeau, 2005].

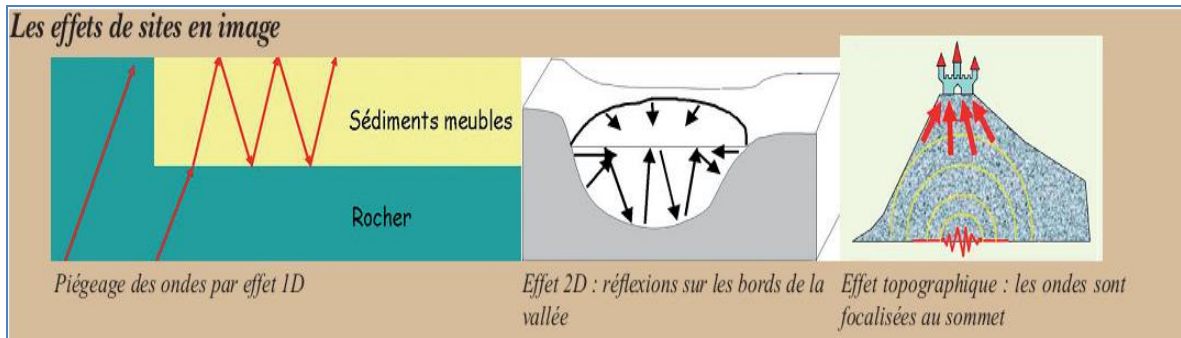


Figure 11: Les types d'effets de sites [SISMOVALP, 2007].

Deux approches principales sont utilisées pour quantifier les effets de site : les méthodes expérimentales et les méthodes numériques.

Les méthodes numériques qui basent leurs calculs sur une représentation précise de la vallée et sur les paramètres géophysiques et géotechniques du site étudié pour simuler correctement la propagation des ondes dans une vallée.

Les méthodes expérimentales se basent sur l'analyse des enregistrements des ondes générées par un séisme petit ou gros dans un site particulier, en comparant le signal enregistré sur le rocher à celui enregistré dans le bassin, ou en utilisant le bruit de fond [SISMOVALP, 2007] (Seismic hazard and alpine valley response analysis).

III.8. Acquisition des enregistrements H/V-bruit de fond

Les enregistrements H/V-bruit de fond ont été réalisés avec une station CityShark II (Figure 13), équipée d'une carte flash pour la récupération des données, un capteur Lennartz-5 secondes à trois composantes (une verticale et deux horizontales) et d'un GPS de type GARMIN pour l'obtention des coordonnées du point d'enregistrement.



Figure 12: Photo montrant l'appareillage utilisé pour l'enregistrement du bruit de fond.

Nous avons effectué 80 enregistrements H/V avec un maillage allant de 200 à 300 mètres de manière à couvrir toute la zone d'étude (figure 14). Par ailleurs, nous avons également réalisé 05 mesures de fréquence sur des bâtiments (figure 14), de façon à les comparer aux fréquences du sol .

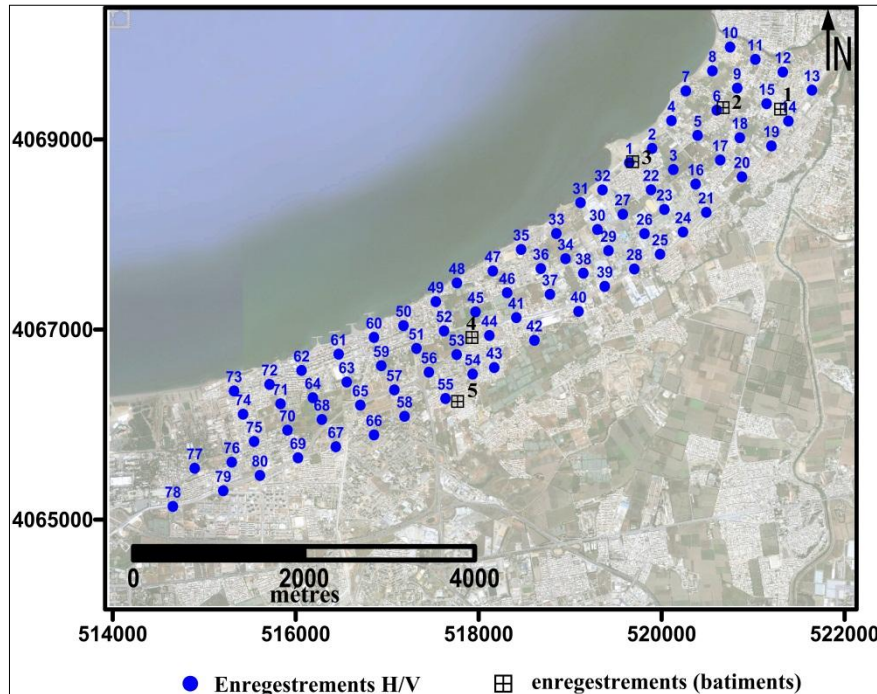


Figure 13: Localisation des enregistrements H/V-bruit de fond sur fond d'une image satellitaire Google Earth [2009].

L'acquisition des enregistrements consiste à orienter le capteur vers le Nord et le mettre à l'horizontale, le connecter à la station puis réaliser l'enregistrement. Au même temps, sur une fiche technique (figure 15), on note tous les paramètres d'acquisition : durée d'enregistrement (généralement 15 minutes) ; le gain avec une saturation limitée à 5% ; les conditions météorologiques ; le type de sol (qui est souvent de la terre compactée dans notre cas) ainsi que les coordonnées du point d'enregistrement.

Pour l'enregistrement des fréquences des bâtiments on a procédé de la même manière pendant une durée de 30 minutes pour chaque enregistrement en prenant le soin de noter le nombre d'étages, la forme du bâtiment ainsi que les coordonnées.

OPÉRATEUR		TYPE de GPS et n° Garmin	
LATITUDE		LONGITUDE	INCERTITUDE
TYPE de STATION CityShark II	N° de STATION	TYPE de CAPTEUR Lennartz 5-secondes	N° de CAPTEUR
NOM DU FICHIER		N° du POINT	
GAIN	FREQ. ÉCHANT. 200 Hz	DURÉE ENR. 15 minutes	
CONDITIONS	VENT <input type="checkbox"/> aucun <input type="checkbox"/> faible <input type="checkbox"/> moyen <input type="checkbox"/> fort		Mesure éventuelle : _____
CLIMATIQUES	PLUIE <input 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 (<input type="checkbox"/> compactée <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)		
DE SOL	<input type="checkbox"/> goudron <input type="checkbox"/> ciment <input type="checkbox"/> béton <input type="checkbox"/> pavés <input type="checkbox"/> autre _____ <input type="checkbox"/> sol sec <input type="checkbox"/> sol mouillé		
INTERFACE ARTIFICIEL SOL-CAPTEUR <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> oui, type _____			
URBANISATION <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> dispersée <input type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> autre, type _____			
TRANSITOIRES	aucun	peu	distance
	rien	moyen	
	beaucoup	très dense	
voitures			
camions			
piétons			
autres			
SOURCES DE BRUIT CONTINUES (usines, travaux, pompes, rivière ...)		<input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> oui, type _____	
STRUCTURES PROCHES SIGNIFICATIVES (description, hauteur, distance)		(arbres, poteaux, bâtiments, ponts, structures souterraines ...)	
OBSERVATIONS			

Figure 14: Fiche technique des enregistrements H/V

III.9. Traitement des données

Les enregistrements du sol ont été traités avec le logiciel libre geopsy (figure 16) (www.geopsy.org) développé dans le cadre des projets européens SESAME (2001-2004) et NERIES/JRA4 (2004-2010) (Voir Annexe).

L'algorithme de calcul du rapport spectral H/V est le suivant :

- sélectionner des fenêtres de temps, d'une durée d'au moins égale à 10 fois la période minimale que l'on souhaite analyser (25 à 50 seconde) ;
- calculer sur chaque fenêtre i , ainsi sélectionnée, les spectres de Fourier des signaux enregistrés sur les 3 composantes (2 horizontales H_1 et H_2 , et une verticale V) ;
- lisser ces spectres avec la procédure de la fenêtre glissante de largeur adaptée à la fréquence d'analyse [Konno et Ohmachi, 1998] ;
- calculer ensuite le rapport $(H/V)_i$ pour chaque fenêtre sélectionnée i , $H/V_i = \frac{S_h}{S_v}$;

- calculer le rapport H/V moyen correspondant à l'ensemble de l'enregistrement en prenant la moyenne géométrique des rapports $(H/V)_i$ obtenus sur chaque fenêtre individuelle. L'écart-type sur les courbes H/V ainsi que la fréquence propre (F_0) sont aussi calculés par la même occasion.

Les courbes des rapports H/V ont été obtenues en sélectionnant des fenêtres stationnaires de 25 à 50 secondes. Les paramètres STA (short time average) et LTA (long time average) de l'anti-trigger ont été fixés, respectivement, à 1 et 30 secondes. Le lissage des spectres de chaque composante sur chaque fenêtre a été fait selon la procédure de Konno et Ohmachi, (1998), avec un paramètre de lissage de 40.

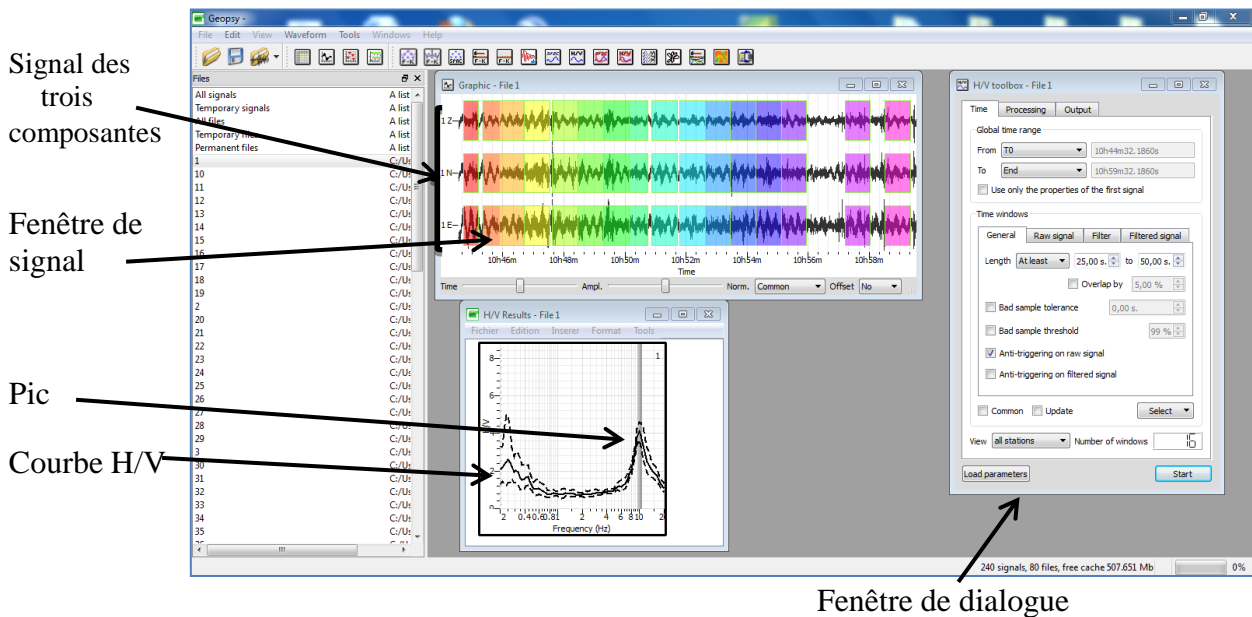


Figure 15: Interface du logiciel Geopsy.

Quant aux enregistrements dans les bâtiments, les fréquences ont été déterminées en utilisant l'énergie spectrale.

III.9. Résultats et interprétation

Dans les études des effets de site, la gamme de fréquence prise en considération se situe entre 0,2 et 20 Hz. Les courbes H/V étant peu cohérentes à très basses fréquences, nous avons donc choisi de les présenter à partir de 0,5 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 décrets aléatoires par le programme geopsy.

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

L'analyse et la comparaison des rapports spectraux H/V mettent en évidence cinq types de courbes suivant leurs fréquences (F_0) (figure 17):

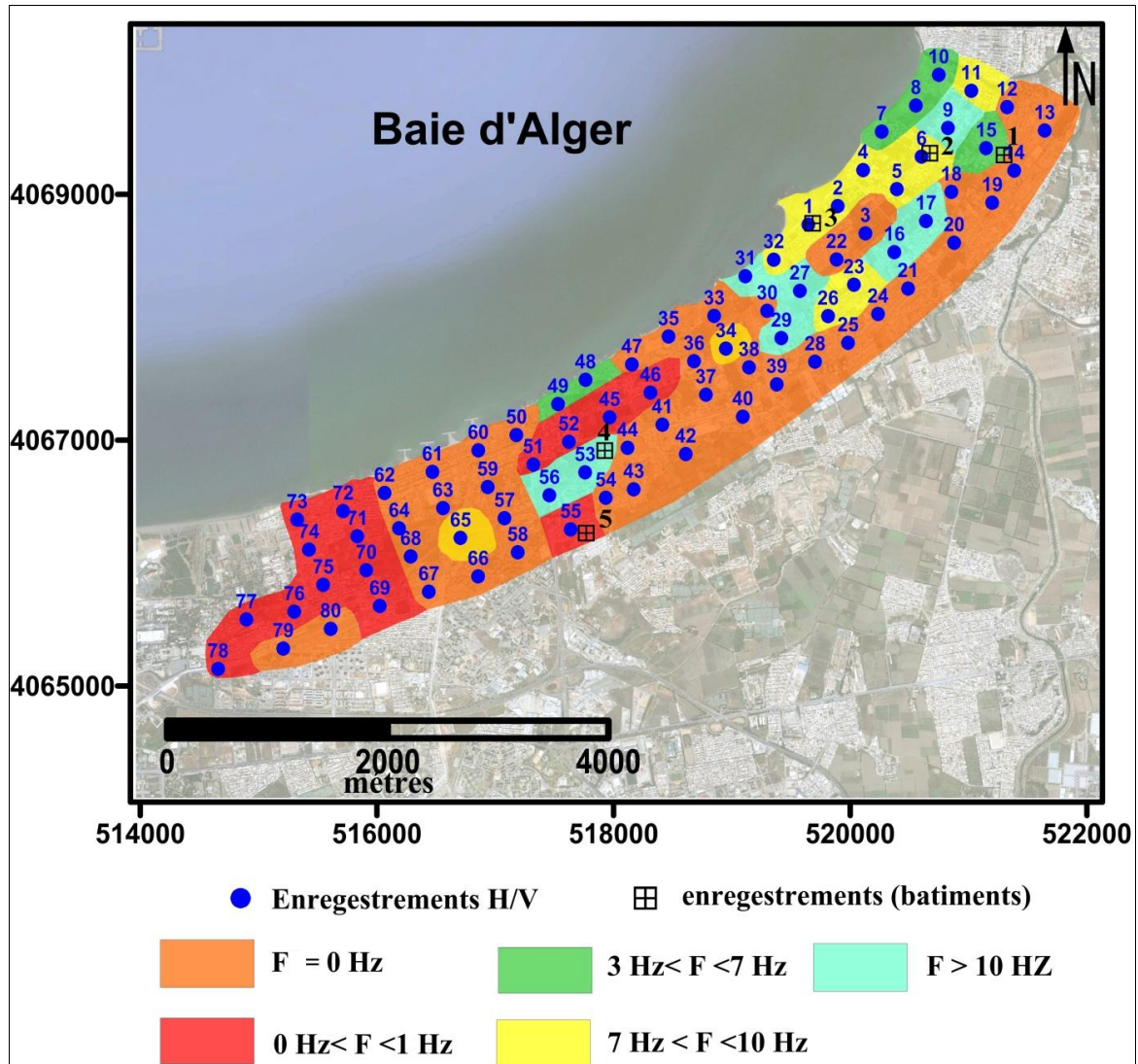


Figure 16: Localisation spatiale des fréquences sur fond d'une image satellitaire Google Earth [2009].

III.9.1. Courbes H/V plates (type1) (figure 18)

Une moitié des rapports spectraux H/V sont plates, ce qui témoigne soit d'une absence de contraste d'impédance net dans les premières dizaines de mètres de profondeur, soit de terrains très fermes s'approchant d'un substratum rocheux, ce qui est confirmé par les caractéristiques géotechniques sur les 50 premiers mètres de sol. Ainsi que par les vitesses V_s obtenue grâce au down-hole DH_1 (tableau 3) ou il n'existe pas de contraste de vitesse des ondes S important entre les sédiments et le substratum avec une vitesse assez élevée (autour de 600 m/s).

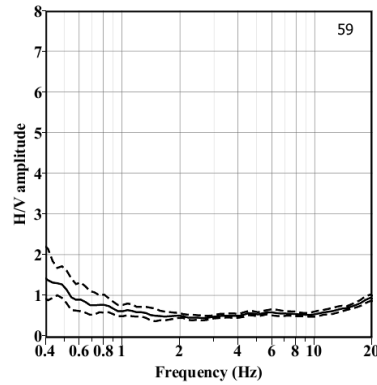
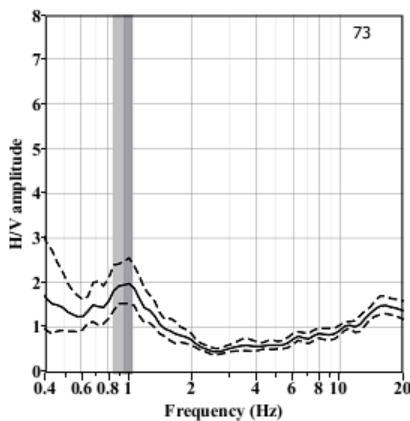


Figure 17: Courbe H/V plate.

III.9.2. Courbes H/V exhibant un pic en dessous de 1.2 Hz (type2) (figure 19)

Ces courbes ont été obtenues essentiellement dans la partie Ouest du secteur d'étude (figure 17). Les courbes montrent des pics à basse fréquence (entre 0,7 et 1 Hz) peu clairs qui peuvent correspondre à des zones de faibles caractéristiques mécaniques et/ou d'assez grande épaisseur, correspondant principalement aux alluvions (argiles et sables essentiellement) confirmé par les caractéristiques géotechniques (figure 11 coupe AA') (une couche de sable fin de 20 mètres d'épaisseur).



Amortissement naturel →

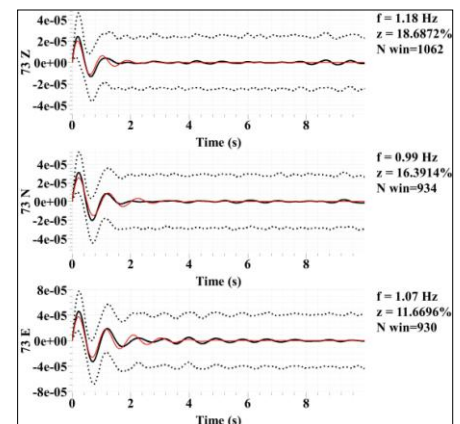


Figure 18: Courbe exhibant un pic H/V en dessous de 1.2 Hz.

III.9.3. Courbe H/V exhibant un pic entre 3 et 7 Hz (type3) (figure 20)

Ces courbes obtenues principalement dans la partie Nord-Est, avec des pics peu clairs et d'une faible amplitude pouvant traduire la réponse d'une épaisse couche de sédiment reposant sur le substratum. Nous n'avons, malheureusement, pas trouvé de sondage dans cette zone pour confirmer cette interprétation.

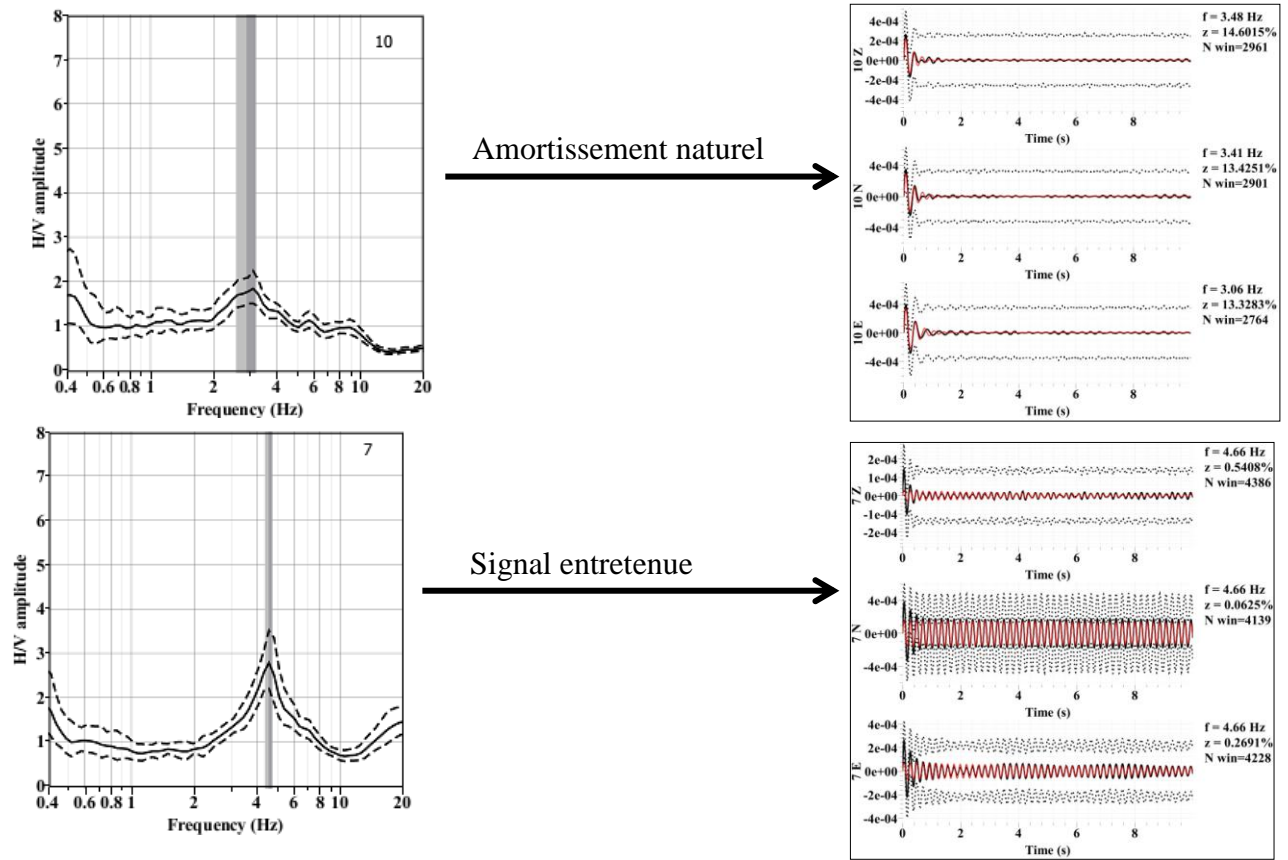


Figure 19: Courbes exhibant un pic entre 3 et 7 Hz.

III.9.4. Courbe H/V exhibant un pic entre 7,1 et 10 Hz (type4) (figure 21)

Ces courbes montrent des pics de moyennes fréquences. Cette typologie est associée à des sites composés d'une couche de matériau meuble surmontant un autre matériau rigide présentant un contraste de vitesse des ondes S marqué. La vitesse moyenne des ondes S est de 356 m/s, En utilisant la relation $f_0 = Vs/4 H$, l'épaisseur H trouvée varie de 11 à 13 mètres correspondant à l'épaisseur de la couche du sable fin reposant sur du gravier.

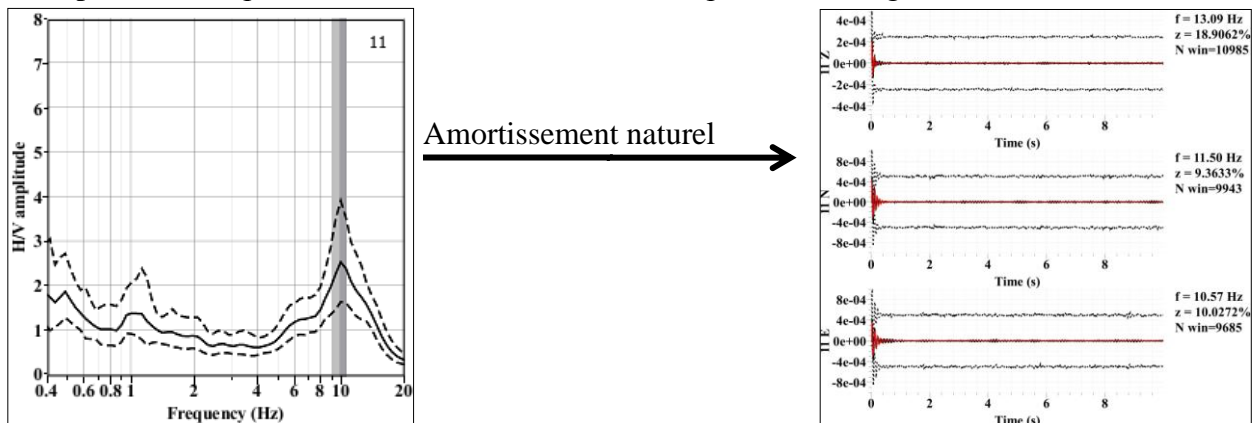


Figure 20: Courbe exhibant un pic entre 7,1 et 10 Hz.

III.9.5. courbe H/v exhibant un pique supérieur à 10 Hertz (type5) (figure 22)

Les pics H/V supérieure à 10 Hz, traduisent une fine couche qui correspond au remblai décrit par les coupes lithologiques (figure 11), La vitesse moyenne des ondes S est de 290 m/s (tableau3, DH₃). En utilisant la relation $f_0 = V_s/4H$, l'épaisseur H trouvée varie de 4,8 à 6mètres, ce qui est en accord avec les données de sondages (figure11 coupe CC').

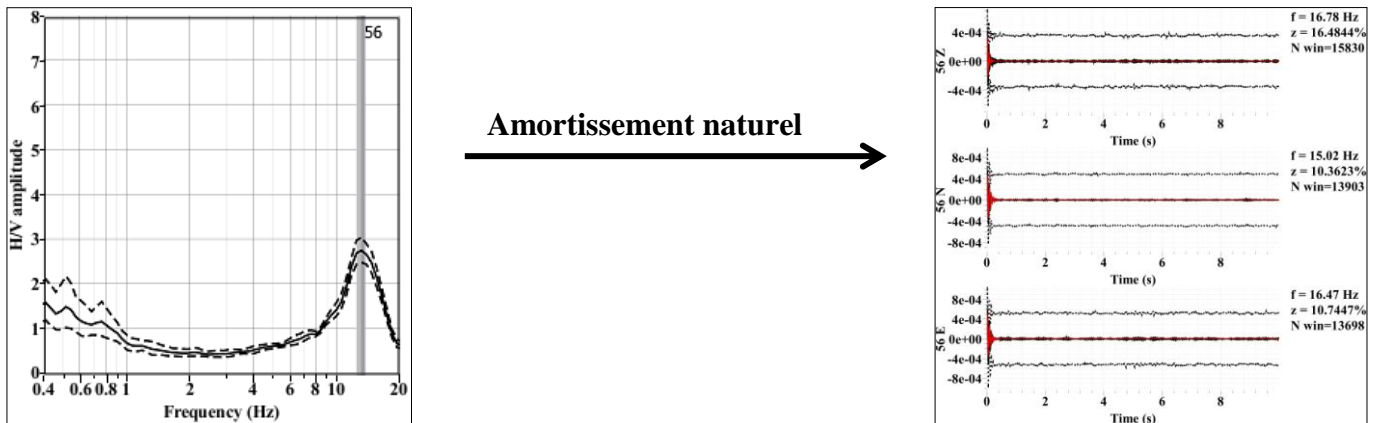


Figure 21: Courbe exhibant un pic supérieur à 10 Hz.

III.9.6. Enregistrements des fréquences des bâtiments

Les résultats de traitement des enregistrements des fréquences dans les bâtiments en calculant l'énergie spectrale (voir Annexe) sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4: Fréquence de résonance des bâtiments

N°	X	Y	étages	F ₀
1	521302	4069295	3	7,5
2	520687	4069310	2	6
3	519720	4068731	3	6
4	517847	4066167	4	4,4
5	518000	4066851	4	6

On remarque que la fréquence des deux premiers bâtiments (1 et 2) est très proche de celle des sols (figure 17) notamment celle du bâtiment 1 qui a une f_0 de 7,5 Hz alors que le sol sur lequel est construit est de 7 Hz, ce qui risque fortement d'entrer en résonance avec ce dernier. En revanche, le bâtiment 5 est construit sur un sol compact avec une fréquence de résonance très éloignée de celle du sol.

Conclusion

Ces courbes montrent d'une part qu'il n'y a pas de pic net qui nous donne des valeurs précises de la fréquence de résonance et que d'autre part, ils ont des formes variables sur l'ensemble des stations. Ce qui nous permis d'affirmer que le risque d'effet de site en cas de séisme est faible dans une bonne partie de notre secteur d'étude (au Sud et l'Ouest) (courbe H/V plate ou ne montrant pas un pic net). Néanmoins, le risque est beaucoup plus important vers la partie Nord-Est où les courbes exhibent des pics entre 3 et 20 Hz.

Ces pics sont dus au contraste entre le sable, le remblai de surface et le substratum mis en évidence par les sondages ainsi que les essais géophysiques (down-hole).

De plus, nous avons montré un risque potentiel, en cas de séisme, d'un phénomène de résonance sol/bâtiment dans le secteur Est du fait que les fréquences du sol et celles de certains bâtiments sont proches (au niveau du bâtiment 1, 2 et 3).

Conclusion Générale

Le but de ce travail est d'étudier un aspect, souvent négligé, qui est celui de la résonance sol/bâtiment au niveau de la partie Est de la plaine littorale de la baie d'Alger, pour cela nous avons effectué une analyse géologique et géotechnique, ainsi que des enregistrements H/V-bruit de fond.

En effet, l'analyse de diverses données (géologie, sismo-tectonique, hydrogéologie et géotechnique) a montré que le site d'étude, de sismicité élevée, est constitué de formations d'âge Quaternaire (sable fin graveleux parfois limoneux argileux), de compacité assez variable, allant de moyenne à bonne, reposant sur des formations d'âge Tertiaire (sable grésifié, grés calcaire et marnes) de compacité souvent élevée.

La méthode H/V-bruit de fond a permis d'identifier les fréquences de résonance du sol et de quelques bâtiment, de les corrélés entre eux et avec la lithologie et la compacité des couches du sous-sol.

D'une manière générale sur l'ensemble des rapports H/V obtenus les amplitudes sont particulièrement faibles et les pics peu marqués ; c'est pourquoi nous ne pouvons pas présumer de contrastes mécaniques importants entre les formations en présence, due à la grande compacité de recouvrement qui est proche de celle de substratum.

Par ailleurs, dans le secteur Nord-Est, les courbes H/V exhibent des pics allant de 3 à 20 Hz (dues au contraste d'impédance entre les couches de surfaces et le substratum marneux) mais surtout on a pu mettre en évidence le risque de résonances sol/bâtiment (au niveau du bâtiment 1, 2 et 3).

Enfin, cette étude doit être complétée par :

- une densification des enregistrements H/V ;
- des études géotechniques plus approfondies notamment au niveau du secteur Nord-Est où les données sont très rares ;
- des mesures de la vitesse d'ondes de cisaillement(V_s) ;
- plus d'enregistrements sur les bâtiments.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Aki, K. (1957). Space and time spectra of stationary stochastic waves with special reference to microtremors, Bulletin Earthquake Research Institute, Tokyo Univ, 456 p.

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

Banerji, S. K. (1924). Microseisms associated with the incidence of the south-west monsoon. Nature, 114-2868, 576.

Bard, M., Cotton, F. (2007). Fiche de synthèse et de vulgarisation réalisée dans le cadre du programme de recherche Sismoalp (Interreg 3B Espace Alpin), Université Joseph Fourier, Grenoble, 2 p.

Beaurez, N. (2006). Evaluation des effets de site au niveau de terrain actif dans les argiles litées du Mas d'Avignonet (Trièves, Alpes Française). Rapport M2R STUE. Grenoble, 38 p.

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

Ben Soula, M. (2012). Principes de base pour la conception parasismique des bâtiments, <http://bensoulamoh.wordpress.com/>.

Benallal, K., Ourabia, K. (1989). Monographie géologique et géotechnique de la région d'Alger. Office des publications universitaires, Alger, 109 p.

Benidir, N. et 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, ENSSMAL, Alger, 31 p.

Bernard, Pierre. (1941). Etude sur l'agitation micro-séismique et ses variations. Annales de l'Institut de Physique du Globe de Paris, Paris, 77 p.

Bertelli, T. (1872). Osservazioni sui piccolo movimenti dei pendoli in relazione ad alcuni fenomeni meteorologiche. Boll. Meteorol. Osserv. Coll. Roma, 101 p.

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, 241 p.

Bounif, A., Dorbath, C., Ayadi, A., Meghraoui, M., Beldjoudi, H., Laouami, N., Frogneux, M., Slimani, A., Alasset, P. J., Kharroubi, A., Oussadou, F., Chikh, M., Harbi, A., Larbes, S. et Maouche, S. (2004). The 21 May 2003 Zemmouri (Algeria) Mw 6.8: Relocation and aftershock sequence analysis. Geo. Res. Lett., Vol. 31.

Références bibliographiques

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.

Cadet, H. (2007). Utilisation combinée des méthodes basées sur le bruit de fond dans le cadre du microzonage sismique. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier –Grenoble I, Grenoble, 299 p.

C.G.S. 2003. Règles para-sismiques-Algériennes RPA 99 / version 2003, 120 p.

Charakdji, F., Djenidi, R. et 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.

Delouis, B., Vallée, M., Meghraoui, M., Calais, E., Maouche, S., Lammali, K., Mahasas, A., Briole, P., Benhamouda, F. et Yelles-Chaouche, A.,K.(2004), Slip distribution of the 2003 Boumerdes-Zemmouri earthquake, Algeria, from teleseismic, GPS, and Coastal uplift data, 2004, Geoph. Res. Lett., Vol., 31.

Deverchère, J., et al. (2005). Active thrust faulting offshore Boumerdes, Algeria, and its relations to the 2003 Mw 6.9 earthquake, Geophys. Res. Lett., Vol., 32.

Djellit, H., Boudiaf, A., Bracène, R. et Yelles- Chaouche, A., K. (2006). La tectonique active de la région, nord algérienne, Comptes rendus des Géosciences, 338 p.

Domzing, A. (2006). Déformation active et récente, et structuration tectono-sédimentaire de la marge sous-marine algérienne, Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Bretagne Occidentale, 332 p.

Dunal, A.M. (2007). Des effets de site aux scénarios de crise sismique: méthodes et applications, Mémoire présenté en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 172 p.

Dunand, F. (2005). Pertinence du bruit de fond sismique pour la caractérisation dynamique et l'aide au diagnostic sismique des structures de génie civil, Thèse de Doctorat, Joseph Fourier, Grenoble, 146 p.

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 XIXème CGI. Alger 1952, Monographie Région, 1ère série Algérie, n° 25, 142 p.

Références bibliographiques

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, 170 P.

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

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.

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. 228-241.

LNHC. (Laboratoire National d'Habitat et de Construction- Alger), (2000-2011).

LNHC- Oued Smar, (2003). Etude Géotechnique, EAC N° 02 et N° 15 ALI Amrane, Bordj El kifan.

LNHC- Oued Smar, (2006). Etude Géotechnique, la garde républicaine, Lido

LNHC- Oued Smar, (2007). Etudes géotechniques, tramway d'Alger, Cinq Maisons-Bordj El kifan.

LNHC- Oued Smar, (2010). Etude Géotechnique, 3^{ème} Sureté Urbaine, Bordj El-kifan.

LNHC- Oued Smar, (2011). Etude Géotechnique, complexe sportif de proximité de BEZ, BebAzzouar.

LNHC- Oued Smar, [2009]. Etude Géotechnique, 02 classes + bloc sanitaire, école verte rive I, Bordj El kifan.

LNHC- Ruiba, (2000). Etude Géotechnique, 1500 logements, les bananiers.

LNHC- Ruiba, (2006). Etude Géotechnique, Masdjid Cheikh Hassen El Baghdadi, Bordj Elkifan.

Longuet-Higgins, M. S. (1950). A theory of the origin of microseisms. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 35 p.

MEGHRAOUI, M., (1988). Géologie des zones sismiques du nord de l'Algérie. Paléo-sismologie, tectonique active et synthèse sismo-tectonique. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris- Sud, 356 p.

Références bibliographiques

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

Nogoshi, M. et 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.

Ouyed, M., Yielding, G., Hatzfeld, D. et King, G.C.P. (1983).An Aftershock study of the El Asnam (Algeria) earthquake of 1980, October 10, Geophys. J. R. astr. Soc,639 p.

Philippe, G. (2006). Reconnaissance géotechnique des stations du RAP (Réseau Accélérométrique Permanent), 24 p.

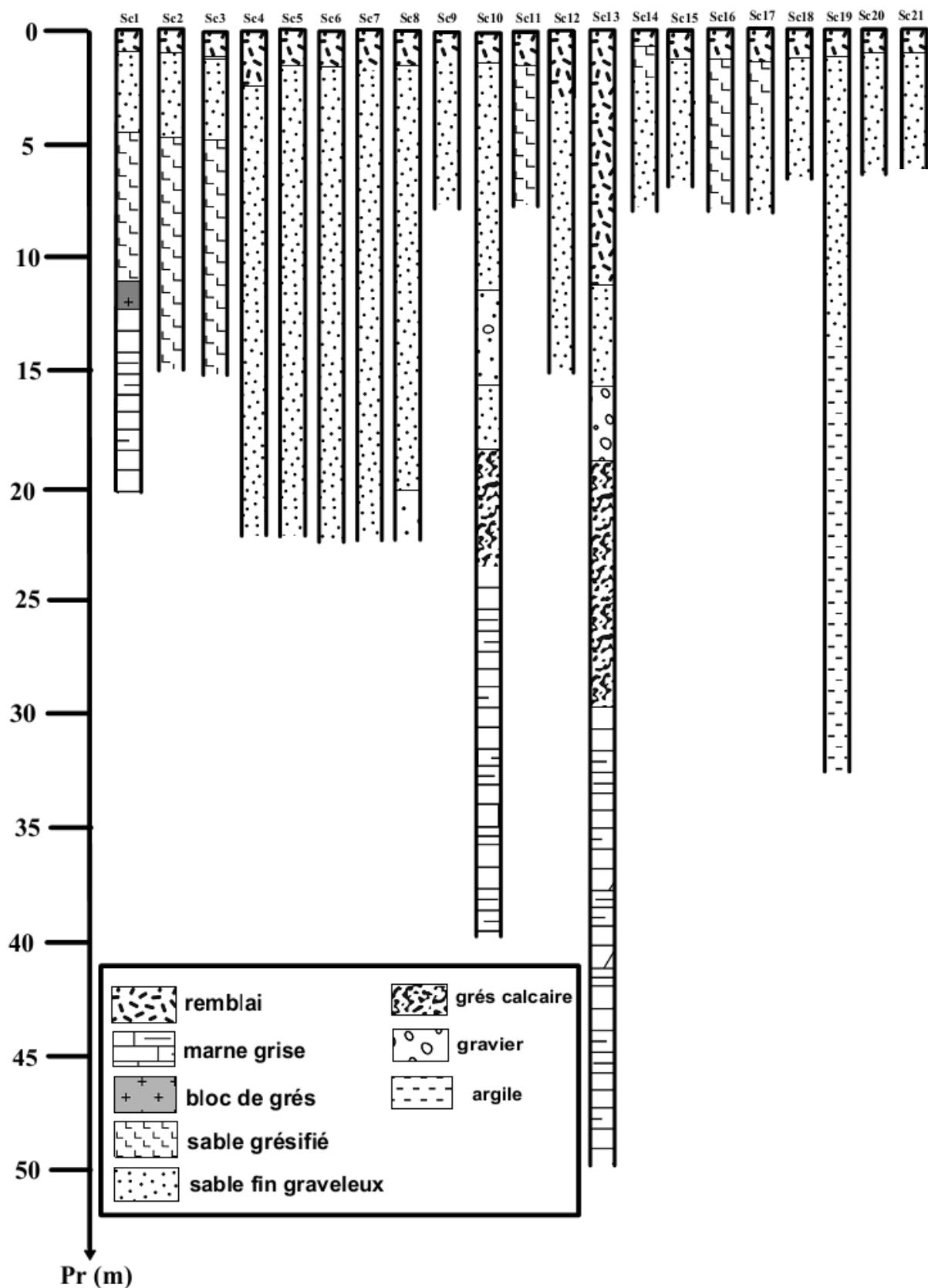
Saad, A. (2006). Aléa et scénario de risque sismique dans la vallée de la Tinée, Master Recherche Génie Civil, Ecole polytechnique universitaire de Lille, Lille, 78 p.

SESAME. (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ration technique on ambient vibrations », p.30-48.

Yelles-Chaouche, A.K., Djellit, H., Beldjoudi, H., Bezzeghoud, M. et Buforn, E. (2004), The Ain Temouchent (Algeria) earthquake of December 22 nd, 1999, Pure appl. Geophys, 621 p.

Annexes

Annexe1 : Logs stratigraphique des sondages carottés.



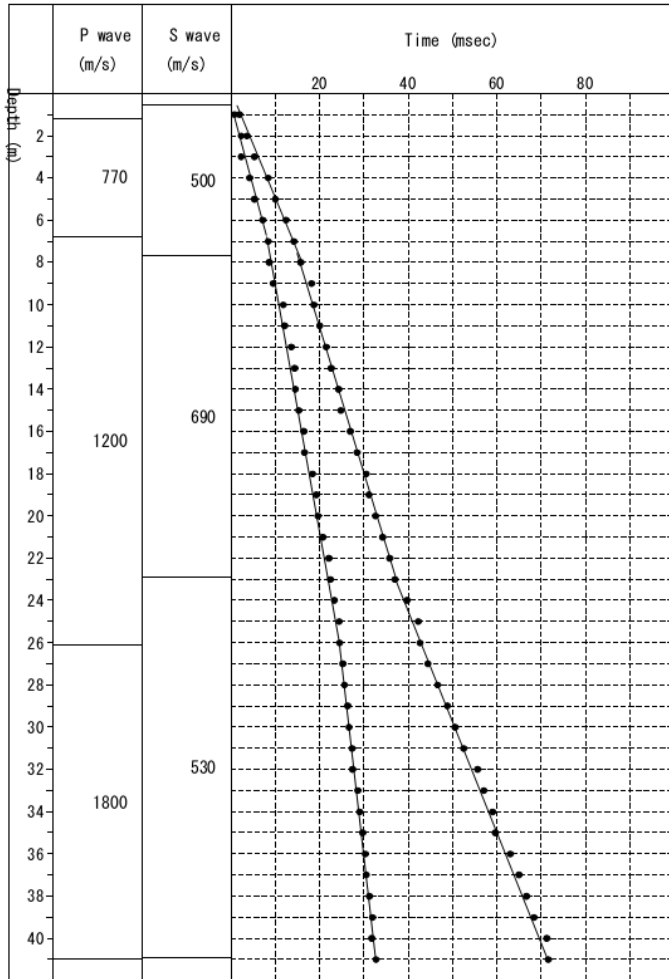
Annexes 2 : Tableau des enregistrements et leurs fréquences de résonances.

Station	Latitude(m)	Longitude(m)	Nom du fichier	f₀(Hz)
1	519666	4068766	04121044.001	10
2	519918	4068919	04121106.002	9
3	520154	4068694	04121130.003	-
4	520134	4069214	04121154.004	9
5	520423	4069057	04121225.005	8
6	520635	4069326	04121252.006	10
7	520293	4069531	04121334.007	5
8	520587	4069745	04121402.008	7
9	520862	4069561	04121434.009	13
10	520782	4069998	04121502.010	3
11	521062	4069866	04121523.011	10
12	521367	4069732	04121545.012	-
13	521689	4069539	04121611.013	-
14	521429	4069210	04121635.014	-
15	521188	4069395	04121656.015	7
16	520402	4068540	04130902.016	14
17	520673	4068796	04130925.017	12
18	520890	4069034	04130949.018	-
19	521240	4068946	04131014.019	-
20	520914	4068617	04131036.020	-
21	520519	4068240	04131059.021	-
22	519907	4068479	04131128.022	-
23	520056	4068271	04131149.023	9
24	520262	4068030	04131212.024	-
25	520006	4067794	04131233.025	-
26	519834	4068013	04131317.026	9
27	519594	4068220	04131355.027	17
28	519723	4067638	05051120.084	-
29	519435	4067832	05051141.085	19
30	519313	4068057	05051202.086	-
31	519127	4068342	05051227.087	12
32	519369	4068478	05051252.088	9
33	518859	4068015	05051325.089	-
34	518960	4067746	05051354.090	9
35	518468	4067845	05051424.091	-
36	518686	4067642	05051454.092	-
37	518788	4067367	05051521.093	-
38	519157	4067592	05051557.094	-
39	519395	4067453	05051622.095	-

40	519104	4067186	05051645.096	-
41	518415	4067120	05051711.097	-
42	518615	4066879	05051734.098	-
43	518171	4066589	05051758.099	-
44	518117	4066930	05051820.100	-
45	517964	4067181	05060830.101	0,9
46	518313	4067384	05060853.102	0,9
47	518155	4067616	05060919.103	-
48	517757	4067489	05060952.104	-
49	517523	4067290	05061015.105	7
50	517166	4067036	05061041.106	-
51	517310	4066793	05061109.107	0,9
52	517614	4066979	05061136.108	0,9
53	517754	4066728	05061200.109	15
54	517931	4066519	05061237.110	-
55	517630	4066260	05061307.111	0,8
56	517447	4066540	05061330.112	13
57	517064	4066352	05061404.113	-
58	517177	4066070	05061428.114	-
59	516920	4066608	05061456.115	-
60	516839	4066909	05061525.116	-
61	516447	4066732	05061550.117	-
62	516036	4066558	05061613.118	-
63	516536	4066435	05061642.119	-
64	516161	4066268	05061705.120	-
65	516687	4066189	05061734.121	9
66	516838	4065873	05061801.122	-
67	516416	4065746	05061831.123	-
68	516261	4066037	05061901.124	-
69	515996	4065629	05080845.125	0,9
70	515880	4065923	05080907.126	0,9
71	515803	4066203	05080930.127	0,9
72	515682	4066410	05080955.128	0,9
73	515288	4066340	05081025.129	0,9
74	515388	4066093	05081048.130	0,9
75	515511	4065803	05081111.131	0,9
76	515263	4065583	05081136.132	1
77	514853	4065518	05081159.133	1
78	514611	4065112	05081223.134	0,7
79	515169	4065279	05081251.135	-
80	515575	4065442	05081313.136	-

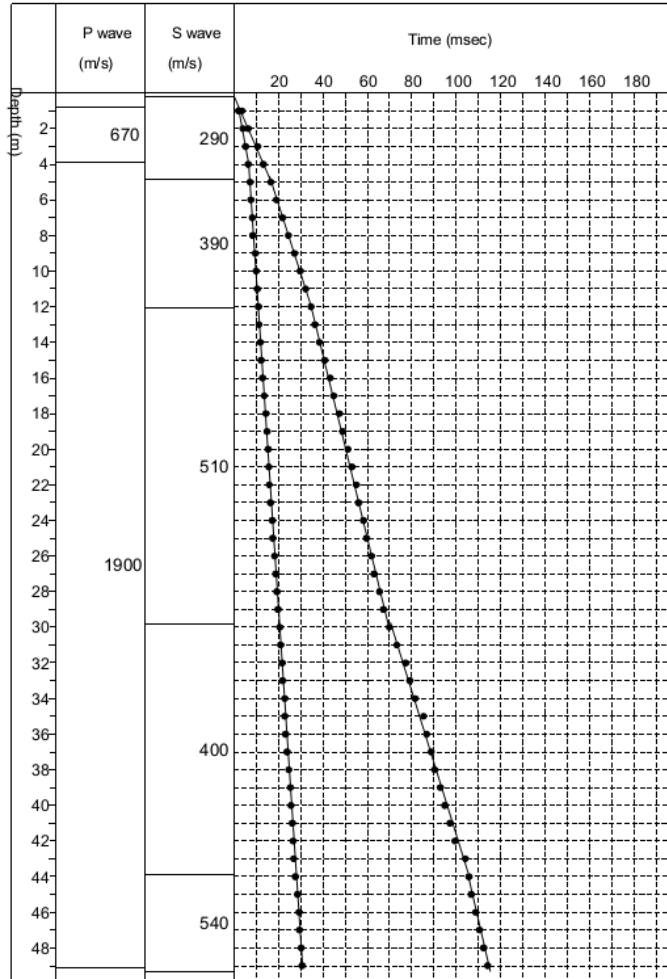
Annexe 3 : Vitesses des ondes sismiques et épaisseur des couches.

DH1



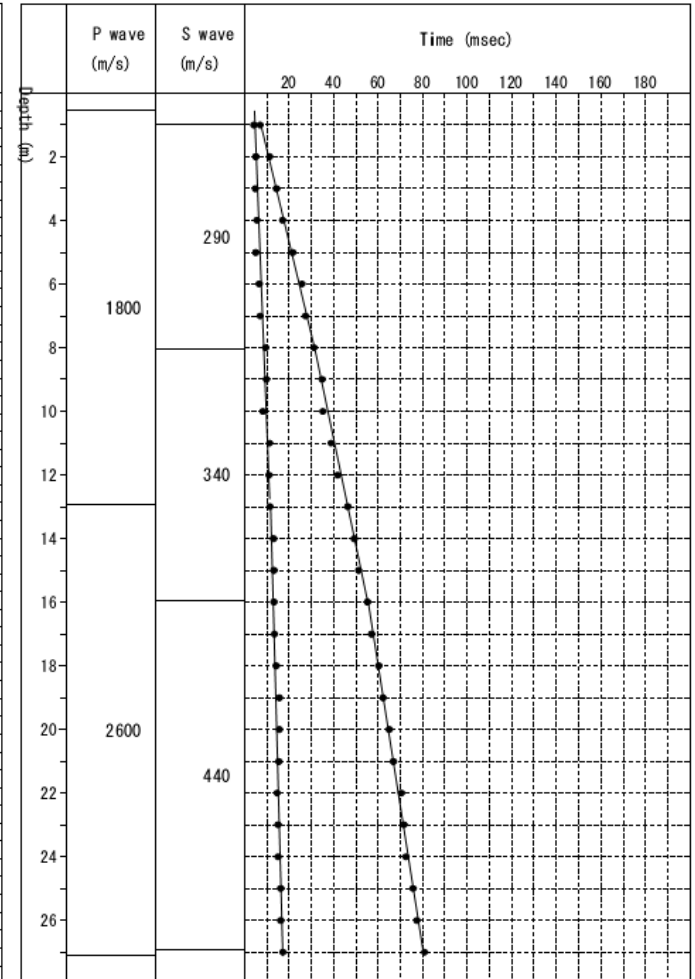
S wave & P wave travel time

DH2



S wave & P wave travel time

DH3



S wave & P wave travel time

Annexe 4 : caractérisation des couche lithologiques avec des vitesses de cisaillement V_s et le nombre de coup NSPT (Duval et al, 2009).

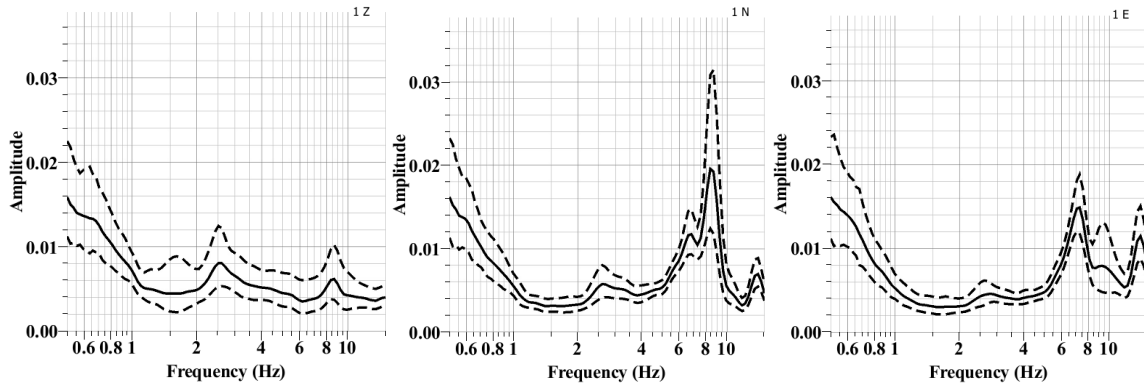
	description	V_s (m/s)	V_s (m/s)
A	Rocher ou formation géologique se comportant comme un rocher et pouvant être recouvert par 5m de matériaux caractérisés par des vitesses moindres.	>800	-
B	Dépôt de sable dense, de graviers ou d'argile compacte (au moins quelques dizaine de mètre de profondeur), caractérisé par une augmentation graduelle des propriétés mécaniques avec la profondeur.	360-800	>50
C	Dépôts profond de sable dense ou moyennement dense de graviers ou d'argile compacte (entre 10 et 100m de profondeur)	150-360	15-50
D	Dépôt de sable lâche à un peu compacte sans cohésion ou dépôt de sol mou avec cohésion	<180	<15
E	Couche de surface C ou D avec des épaisseurs variant de 5 à 20m. Substratum avec une vitesse >800m/s	-	-

Annexe 5: Tableau relatif aux paramètres physique

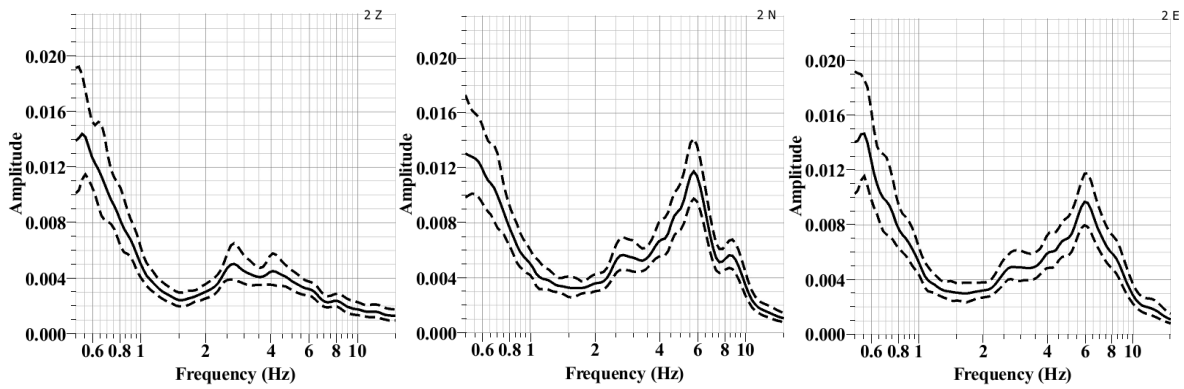
Paramètres d'identification	Unité	Symbole
Poids volumique sec	t/m^3	γ_d
Poids volumique humide	t/m^3	γ_h
Teneur en eau	%	W
Degré de saturation	%	Sr
Passants au tamis de 2mm	%	<2mm
Passants au tamis de 0.1mm	%	<0.1mm
Passant au tamis de 2μ	%	< 2μ
Limite de liquidité	%	WL
Limite de plasticité*	%	WP
Indice de plasticité	%	IP
Indice de consistance	-	Ic

Annexes 6 : Fréquences de résonances des bâtiments à l'aide de module spectrum.

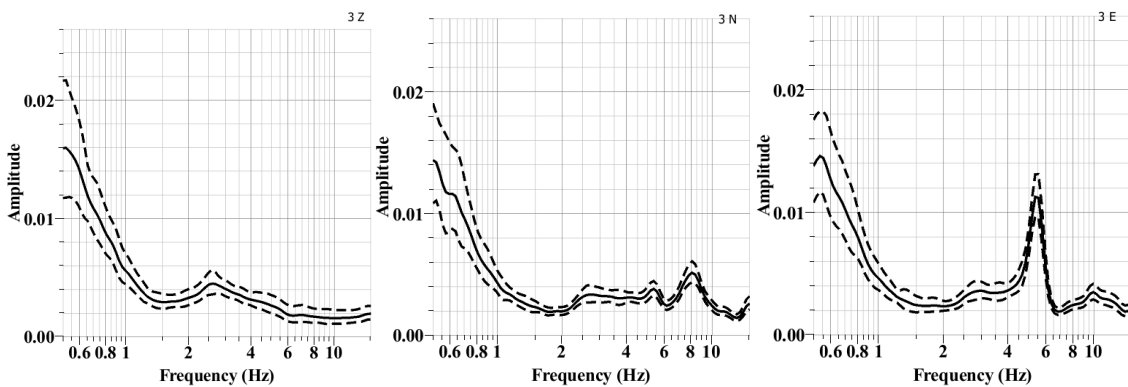
-Bâtiment 1 (R+3), ($F_0= 7,5$ Hz)



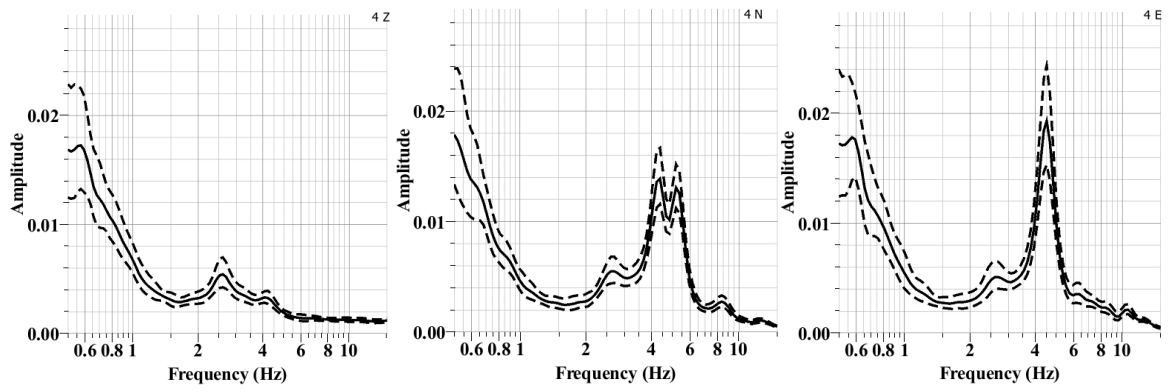
-Bâtiment 2 (R+2), ($F_0= 6$ Hz)



-Bâtiment 3 (R+3), ($F_0= 6$ Hz)



-Bâtiment 4 (R+4), ($F_0 = 4,4$ Hz)



-Bâtiment 5 (R+5), ($F_0 = 6$ Hz)

