

المدرسة الوطنية العليا للعلوم 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 DIPLÔME
D'INGENIEUR EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Aménagement du Littoral

Sujet :

*Evaluation des effets de site dans la zone des
Pins Maritimes : Conséquences sur son
Urbanisation*

Présenté par :

HAMIDOUCHE Souria.

TAFAT Nawal

Soutenu le : 13 Juillet 2009 devant la commission de jury suivante:

M.GUERFI M.	Maître de conférences (ESSMAL)	Président.
M ^{eme} FAZAA N.	Maître Assistante (ESSMAL)	Examinatrice.
M. MACHANE D.	Maitre de Recherche (C.G.S)	Examineur
M. HELLEL M.	Maitre Assistant (ESSMAL)	Promoteur
M.CHATELAIN J-L.	Directeur de Recherche (IRD-C.G.S)	Co-Promoteur.

REMERCIEMENTS

Avant de présenter ce travail nous tenons à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation. Nous le devons aux nombreuses personnes que nous avons eu le plaisir et l'honneur de citer ci-après.

Nous tenons à remercier notre promoteur, M. Mustapha Hellel et notre co-promoteur M. J.L. Chatelain (Gaillot), d'avoir proposé ce sujet et d'avoir dirigé ce travail, merci de nous avoir guidé durant ces 6 mois, merci pour vos judicieuses remarques et suggestions. Vos critiques constructives et remarques, nous ont appris à être plus rigoureuses dans notre travail et nous ont permis d'acquérir des connaissances en géotectonique et en géologie. C'est grâce à vos encouragements que nous avons mené ce travail à terme.

Nous remercions M. Mokhtar Guerfi. qui a bien voulu présider le jury. Sa passion et son respect du travail ont été une source d'inspiration pour nous. Il fait partie des enseignants avec qui nous avons beaucoup appris durant notre cursus universitaire. Nous voudrions lui exprimer ici toute notre gratitude pour avoir accepté de présider le jury.

Nous sommes honorées de compter aussi parmi les membres de notre jury M^{elle} Fezaa N., pour son esprit critique et novateur. Nous lui sommes aussi reconnaissantes d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Merci également à M. Machane .D, qui a bien voulu faire partie de notre jury, merci aussi pour votre aide qui nous a vraiment servi.

Nous n'oublions pas de remercier, infiniment, nos parents qui nous ont soutenus moralement et financièrement, que dieu les protège.

Merci à la joyeuse équipe de CGS de nous avoir aidé et supporté pendant ces 6 mois, nous tenons à remercier particulièrement M^{me} Guessoume Nabila et M^{me} Bouchelou Assia pour leur aide et leurs conseils.

Enfin, un grand merci est adressé à tous nos collègues de l'ESSMAL, nous avouons que nous avons le grand plaisir de passer ces 5 ans à l'ESSMAL avec les meilleurs amis au monde, sans oublier de remercier la famille putchi qui nous a remonté le moral quand nous en avons besoin.

*A tous ceux qui nous ont aidé et soutenu : **UN GRAND MERCI.***

Sommaire

Introduction	2
Chapitre I. généralités.	
I.1. Situation géographique et topographie de la zone d'étude.....	4-5
I.2. Hydrographie de la région d'étude.....	5
I.3. Les nappes d'eau.....	5-6
I.4. Aperçu géologique de la baie d'Alger.....	6-10
Chapitre II. Aperçu sur la sismicité historique et sur la sismotectonique de la baie d'Alger.	
II.1. Introduction.....	12
II.2. Sismicité historique de l'Algérois.....	12-13
II.3. Contexte tectonique régional.....	13-16
II.4. Classification des zones sismiques.....	16-17
II.5. Conclusion.....	17
Chapitre III. Description de la géologie du site d'étude.	
III.1. Introduction.....	19
III.2. Géologie du site d'étude.....	19
.....III.3. Lithologie du sous-sol du site d'étude.....	20-27
III.4. Conclusions.....	28
Chapitre IV. Etude du bruit de fond.	
IV.1. Introduction.....	30
IV.2. Historique des études sur le bruit de fond.....	30-31
IV.3. Aperçu sur la méthode H/V bruit de fond.....	31
IV.4. Origine du bruit de fond et du pic H/V.....	31-32
IV.5. Acquisition des données H/V bruit de fond.....	32-34
IV.6. Traitement des données.....	35-36
IV.7. Résultats.....	37
IV.8. Discussion et interprétation.....	38-43
IV.9. Conclusion.....	44

Chapitre V. Résultats de bruit de fond et conséquences sur l'aménagement de la zone des pins maritimes.

V.1. Introduction.....	46
V.2. Résultats des H/V.....	46-48
V.3. Cadre juridique pour l'aménagement du littoral et degré d'application dans la zone des Pins maritimes.....	48-49
Conclusion générale.....	51-52

Liste des figures

Figure 1. Situation du site d'étude.....	04
Figure 2. Carte du niveau piézométrique de la nappe souterraine dans la région d'Alger (JICA, 2006).....	06
Figure 3. Carte géologique d'Alger et ses environs.....	10
Figure 4. Convergence entre les plaques Africaine et Eurasienne,.....	12
Figure 5. Distribution spatiale des séismes.....	13
Figure 6. Morphotectonique de l'Atlas Tellien central et les séismes majeurs associés	14
Figure 7. Localisation des différentes failles actives dans l'Algérois.....	15
Figure 8. Carte des isoséistes et des intensités du séisme du 21 Mai 2003	16
Figure 9. Classification sismique des wilayas d'Algérie.....	16
Figure 10. Extrait de la carte géologique d'Alger au 1/50000 ^{ème} , feuille n° 21	19
Figure 11. Localisation des sondages carottés, des traits des coupes et des enregistrements H/V.....	20
Figure 12. Logs stratigraphiques des sondages carottés.....	23
Figure 13. Coupe géologique AA'	24
Figure 14. Coupe géologique BB'	25
Figure 15. Coupe géologique CC'	26
Figure 16. Coupe géologique DD'.....	27
Figure 17. Matériel utilisé pour l'enregistrement du bruit de fond.....	33
Figure 18. Localisation des points d'enregistrement du bruit de fond dans le site d'étude (Image Google Earth, 2003).....	34
Figure 19. Interface du logiciel <i>geopsy</i>	36
Figure 20. Localisation spatiale des fréquences.....	37
Figure 21. La détermination graphique de f_0	38
Figure 22. Courbes H/V obtenus à partir des enregistrements de bruit de fond (Catégorie 1).....	41
Figure 23. Courbes H/V obtenus à partir des enregistrements de bruit de fond (Catégorie 2).....	42
Figure 24. Courbes H/V obtenus à partir des enregistrements de bruit de fond	

(Catégorie 3).....	42
Figure 25. Courbes H/V obtenus à partir des enregistrements de bruit de fond	
(Catégorie 4).....	43
Figure 26. L'application du bruit de fond aux alentours des Pin Maritimes. (a)Localisation des enregistrements H/V.....	48
Figure 27. Délimitation du littoral de la zone étudiée selon la loi 02-02 pour la protection et valorisation du littorale.....	49
Tableaux :	
Tableau 1.Listes des principaux siemens de la région Algéroise.....	13
Tableau 2. Prospective des hauteurs des ouvrages à ne pas construire en relation avec fréquence fondamentale du sol.....	47

Introduction générale

Les effets de site peuvent être beaucoup plus destructeurs qu'un séisme lors d'une sollicitation sismique. En septembre 1985, un violent tremblement de terre endommage la ville de Mexico, et plus de 10000 victimes sont dénombrées. Alors que l'épicentre du séisme Michoacán était situé à plus de 400 km de la ville de Mexico, ce séisme s'avère comme un choc incontournable pour la population ainsi que pour les scientifiques (Bonnefoy, 2004).

L'évaluation des effets de site et les études de l'alea sismique font parties des moyens qui permettent de définir le risque sismique dans une zone donnée et le réduire. C'est dans cet objectif qui est d'évaluer les effets de site et de minimiser le risque sismique, que nous avons réalisé une étude dans la zone des Pins Maritimes (Alger). Une sortie de 2 jours sur terrain. Effectuée le 22 et 24 mars 2009, nous a permis d'enregistrer 47 mesures de bruit de fond couvrants relativement cette zone. Pour des raisons administratives on n'a pas pu couvrir toute la zone, mais ça ne nous a pas empêché de réaliser des enregistrements qui peuvent répondre à notre objectif.

La zone des Pins Maritimes (Alger) sera le lieu de construction de gros aménagements (La grande mosquée d'Alger, Médina d'Alger). La prospection géophysique et l'étude géotechnique des sols sont utilisées dans le but de quantifier les fréquences du sol et leurs réponses au mouvement tectonique.

Pour l'évaluation du risque sismique nous avons utilisé la méthode de bruit de fond sismique (méthode des rapports spectraux H/V), afin de calculer les fréquences de résonance du sol dans la zone des Pins Maritimes. L'analyse et l'interprétation des résultats obtenus nécessite de placer le site d'étude dans son contexte sismotectonique et de connaître sa géologie aussi bien en surface qu'en profondeur, c'est pour cela, la démarche est la suivante :

- des généralités qui vont nous permettre d'illustrer toute la région dans son ensemble ;
- traiter les aspects sismiques et sismotectoniques de la zone d'étude considérée ;
- une étude géologique du secteur étudié en décrivant les formations affleurantes ;
- enregistrements du bruit de fond ;
- enfin conclure avec certaines recommandations constructives qui tiennent compte des conditions de sol et sous-sol afin de bien occuper l'espace à construire.

Chapitre I

Généralités

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

Notre étude s'est portée sur la zone des Pins Maritimes, située sur la bordure littorale, dans la partie centrale de la baie d'Alger. Le site est limité à l'est par la Safex, à l'ouest par oued El Harrach, au sud par le quartier des Cinq Maisons et au nord par la Mer Méditerranée (Figure 1). Les coordonnées géographiques du site sont:

X: 511518 à 513972

Y: 4065318 à 4065660

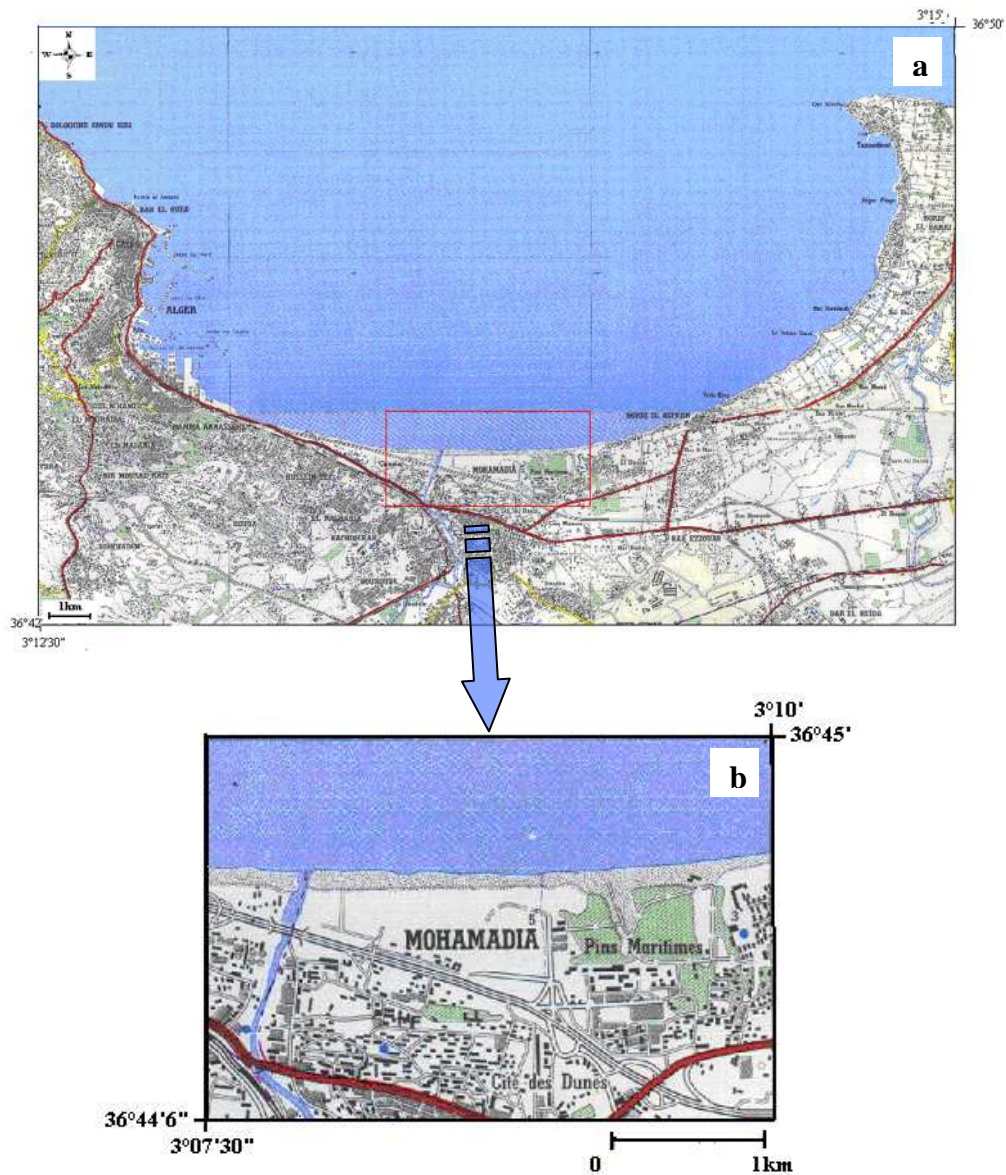


Figure 1. Situation du site d'étude. (a) Baie d'Alger; (b) Site d'étude (extrait de la carte topographique d'Alger au 1/250000)

Du point de vue topographique, le site étudié étant localisé sur la bande littorale, son altitude est faible, elle varie de 1 à 8 mètres environ. Il est recouvert par des dunes de sable, relativement plates.

I.2. Hydrographie de la région d'étude

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

L'oued El Hamiz est situé à environ 7,5 Km à l'Est de notre zone d'étude, il couvre une superficie de 315Km². il se jette à la mer avec un débit faible, dû à la présence du barrage d'El Hamiz (Charakdji et al, 2006 in Khedimi et Abderrahmani , 2008).

L'oued El Harrach qui constitue la limite Ouest du site d'étude prend sa source dans l'Atlas Blidéen. Sa superficie est de 1200km² (Charakdji et al, 2006 in Khedimi et Abderrahmani ,2008) et est le siège d'une intense pollution d'origine industrielle et ménagère.

I.3. Les Nappes d'Eau

La région de la plaine de Mitidja se caractérise par la présence de deux aquifères, un aquifère astien surmonté par un aquifère tyrrhénien le plus important de la Mitidja. Ces deux aquifères sont séparés par la formation d'El Harrach (JICA, 2006).

Des études ont été réalisées par le LNHC et l'ARNH (JICA, 2006) pour détecter les niveaux d'eaux souterraines de la baie d'Alger (Figure 2).

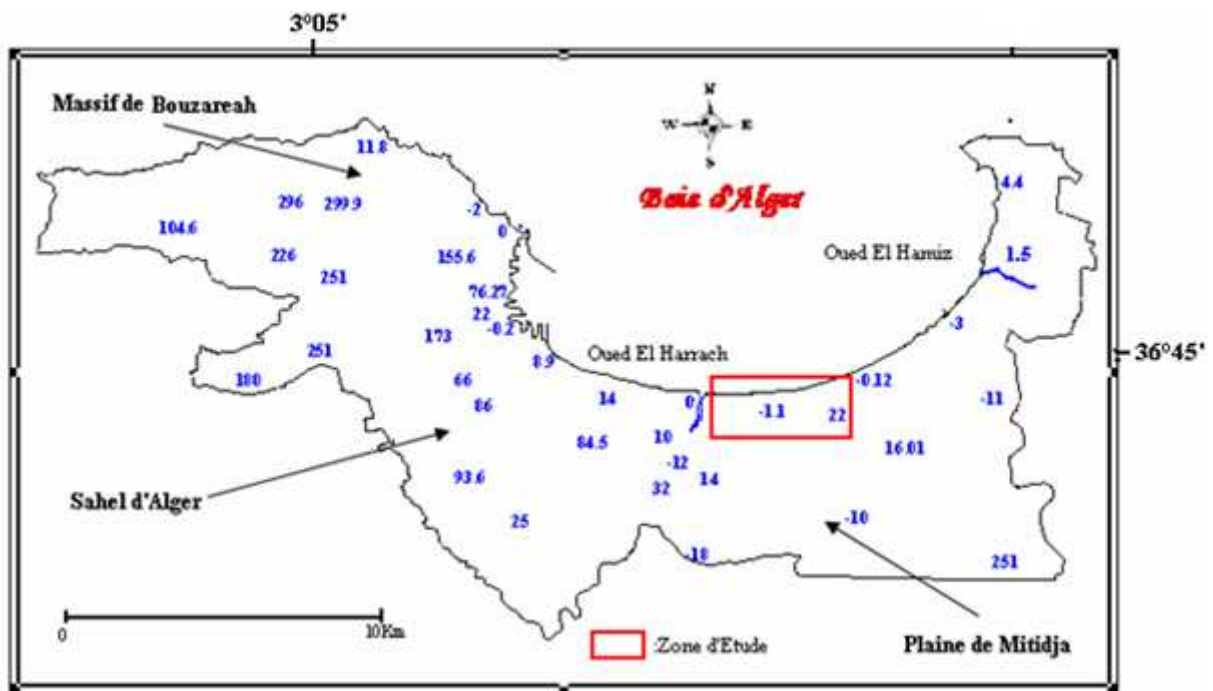


Figure 2. Carte du niveau piézométrique de la nappe souterraine dans la région d'Alger (altitude en mètre) (JICA, 2006).

La carte du niveau piézométrique (Figure 2) montre que les côtes les plus faibles sont localisées au niveau de la plaine de la Mitidja et surtout le long de la bande littorale de la baie, tandis que les côtes les plus importantes se situent au niveau du massif de Bouzareah et du Sahel d'Alger. Dans notre secteur d'étude, le niveau piézométrique est faible, se situant entre 0 et -1.1 mètres.

I.4. Aperçu géologique de la baie d'Alger

Dans la baie d'Alger, l'essentiel des déformations et des plissements d'âge Néogène a donné naissance aux anticlinaux du massif d'Alger, du cap Matifou, du Sahel ainsi qu'à la formation du synclinal de la Mitidja. (Leclaire, 1972).

La carte géologique de la région d'Alger et ses environs (Figure 3) compilée par la JICA (2006) montre la présence des formations suivantes :

Le socle métamorphique primaire

Le Secondaire

Le Tertiaire

Le Quaternaire

I.4.1. Le socle métamorphique

Selon Benallal et Ourabia, (1989), le socle métamorphique est d'âge Primaire. Il est composé de schistes, micaschistes, gneiss granitisés, calcaire. (Figure 3). C'est une formation très tectonisée qui affleure entre Ain Benian et le port d'Alger, en passant par Bouzareah (Benallal et Ourabia, 1989) (Figure 3).

I.4.2 Le Secondaire

La région d'Alger est marquée par les grandes lacunes stratigraphiques du secondaire et de la base du tertiaire, Eocène et Oligocène (Benallal et Ourabia, 1989). Les terrains secondaires n'affleurent pas, à l'exception des bordures de la Mitidja (Atlas Blidéen et Chenoua), où ils sont constitués de calcaires et de marno-calcaires, d'âge essentiellement mésozoïque. (Ameziane et Balit, 2006).

I.4.3. Le Tertiaire

Le Tertiaire de la région d'Alger comprend :

- Le Miocène Inférieur (Burdigalien) correspond à des formations de grès et des poudingues rencontrés sur la côte entre El Marsa et Ain Taya (Benallal et Ourabia, 1989) (Figure 3). Ces dépôts incluent depuis la base jusqu'à la surface, des calcaires jaunâtres riches en fossiles, de 60 mètres d'épaisseur en général pouvant atteindre 300 mètres localement, une marne argileuse, de 30 à 50 mètres d'épaisseur et un conglomérat et galets rougeâtres, intercalés de grès, d'une épaisseur de 200 mètres environ (Vesnine, 1971 In JICA 2006).

- Le Miocène Supérieur: formé par des dépôts de grès, de calcaires et de conglomérats (Figure 3). Le Miocène est toujours en contact avec le socle métamorphique, il est en général tectonisé et possède des aires d'affleurements réduites (Benallal et Ourabia, 1989)

- Le Pliocène inférieur (Plaisancien) : Formé essentiellement de marnes bleues de 1000 mètres (Glangeaud et al, 1952 in JICA, 2006). Le Plaisancien forme le substratum subsident du bassin de la Mitidja (Benallal et Ourabia, 1989).

- Le Pliocène supérieur (Astien): présente une épaisseur de 100 à 150 m, 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) 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). L'Astien se présente sous forme de marne jaunâtre, de calcaires sableux, parfois riches en bivalves et de molasse (Glangeaud et al., 1952).

I.4.4. 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 le Sahel. Ces phases de régression se sont succédé comme suit :

- dépôts continentaux détritiques, représentés par des sols rouges grésocarbonnés, et 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).
- 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...etc. Ces terrasses correspondent à quatre périodes du Quaternaire suivantes : Calabrien, Sicilien, Tyrrhénien et Versilien (Djediati, 1996, in JICA 2006) (Figure 3).
- Les terrasses marines quaternaires qui se trouvent à 200 m d'altitude dans l'est d'Alger et à 325 m dans l'ouest (Djediati, 1996, in JICA 2006).

I.4.5. Dépôts Récents

Il s'agit des formations les plus récentes comme les plages, les dunes, les dépôts des rivières essentiellement formés de sable, de vase d'argile. Ces dépôts comprennent les terrasses marines récentes (Djediati, 1996, in JICA 2006) (Figure 3).

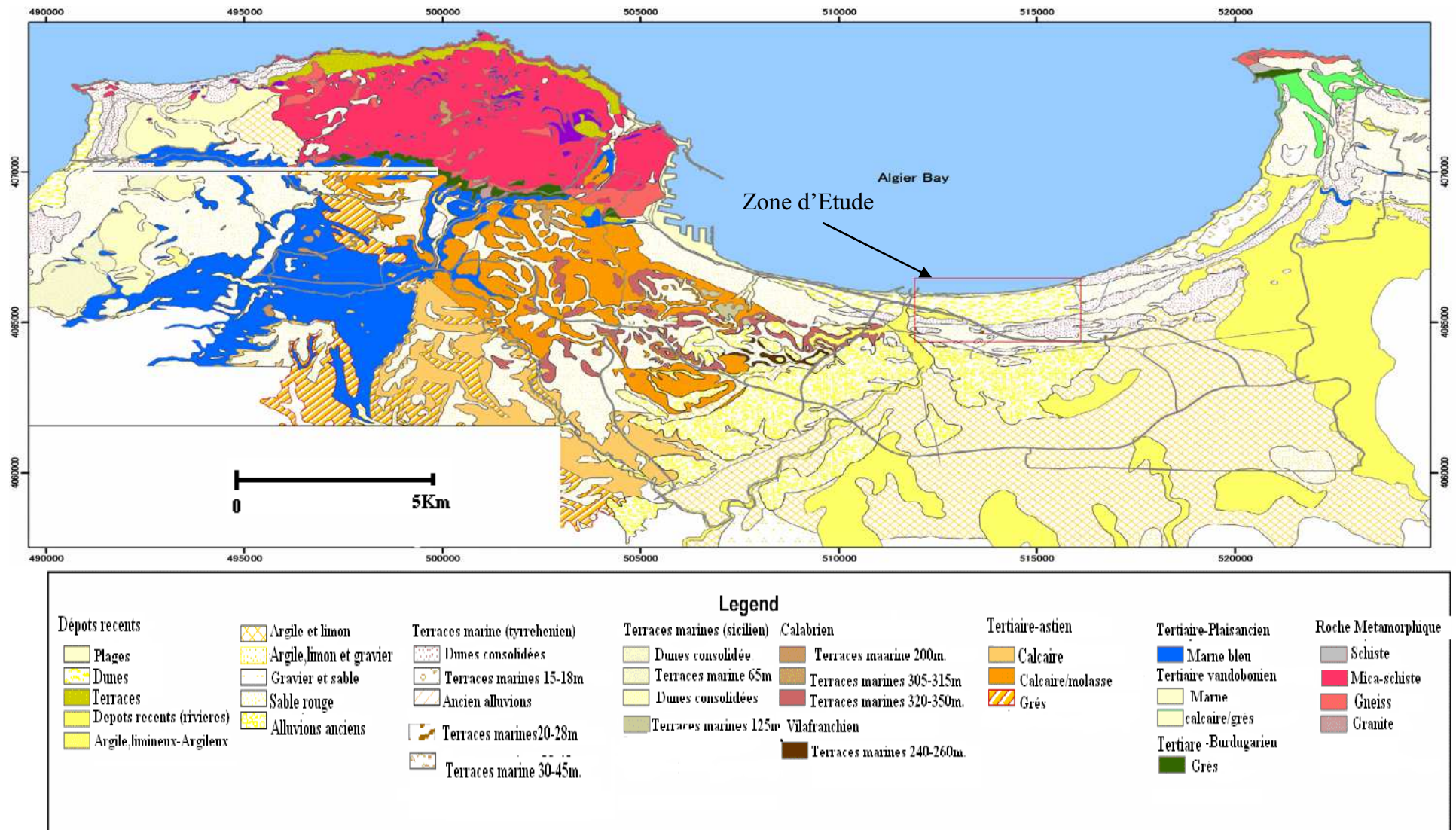


Figure 3. Carte géologique d'Algier et ses environs (JICA, 2006)

Chapitre II

Aperçu sur la sismicité historique et aperçu sismotectonique de la baie d'Alger

II.1. Introduction

L'activité tectonique du nord de l'Algérie est due aux mouvements de convergence entre les plaques africaine et eurasienne (McKenzie, 1972, in Boudiaf, 1996) qui a pour effet d'engendrer une activité sismique plus au moins intense (figure 4).

Historiquement, la région d'Alger (Nord de l'Algérie) est depuis longtemps connue pour être le siège de séismes récurrents de forte magnitude ($M > 6$) (Domzing, 2006). Suite au séisme du 21 mai 2003, plusieurs investigations et études ont été menées pour évaluer le risque sismique dans la région (e.g. Guillier et al., 2004; Dèverchère et al., 2005 ; JICA, 2006).

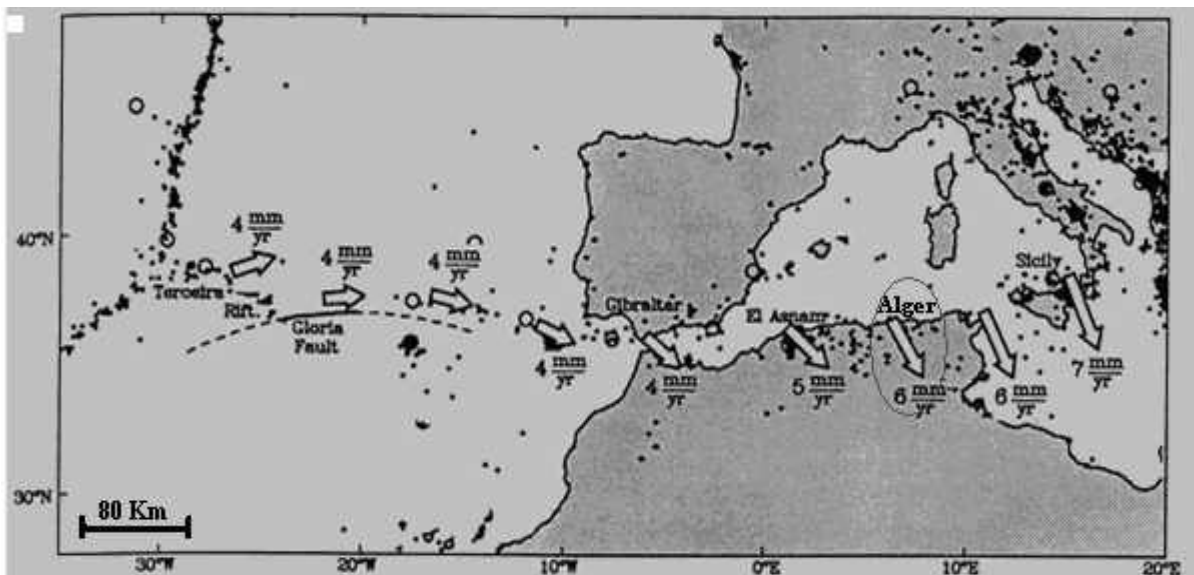


Figure 4. Convergence entre les plaques africaine et eurasienne (Argus et al.1989, in Houriba et Zerabib, 2005).La vitesse de convergence entre les deux plaques est de 6mm/an dans la région d'Alger.

II.2. Sismicité historique de l'Algérois

Les séismes algériens sont superficiels, ne dépassant pas 20 km de profondeur, ce qui les rend plus perceptibles par la population et plus dangereux. Leur faible profondeur témoignerait également de l'absence de zone de subduction. Par ailleurs, cette sismicité semble traduire une migration importante de la déformation d'ouest en est, comme cela semble être le cas dans la région d'Alger depuis 1980 (Yelles et al., 2006).

Les principaux séismes qui ont touché la région Algéroise sont résumés dans le tableau I.

Tableau 1. Liste des principaux séismes de la région Algéroise (CGS, 1998 et Saadi, 2005 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 Châbane-M	36.360	3.000	4.8	VIII
06/06/1924	Ben Chabane-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

La sismicité historique (Figure 5) montre que le Nord de l'Algérie a également été affecté par de nombreux séismes de forte magnitude (Rothé, 1950; Roussel, 1973; Ambrasseys et Vogt, 1988; Meghraoui, 1991; Bennouar, 1993; Mokrane et al. 1994; Maouche et al, 1998, in Harbi 2006).

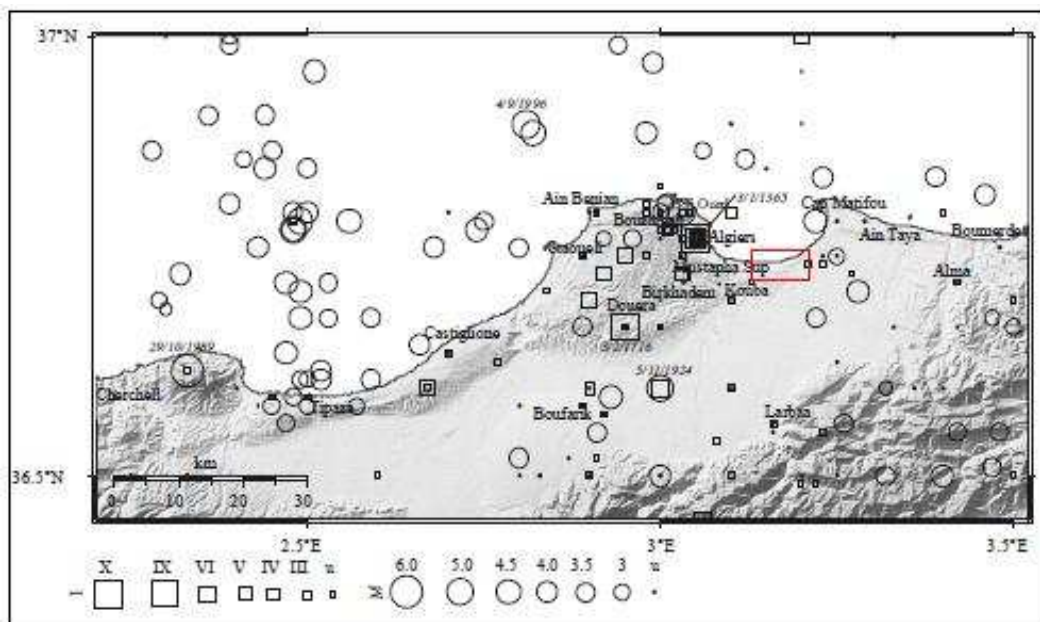


Figure 5. Distribution spatiale des séismes (carré: localisation macrosismique ; cercle: localisation instrumentale, u pour unknown (magnitude ou intensité inconnue) (Harbi, 2006). Le carré rouge indique le site d'étude.

II.3. Contexte tectonique régional

L'activité tectonique et sismique est le résultat de l'interaction entre de grandes plaques rigides au niveau de leurs frontières où se produisent des mouvements différentiels entre les plaques lithosphériques.

L'Algérie du Nord se situe dans une région marquée par des failles et des provinces sismiques de fortes activités. Nous assistons actuellement à un mouvement de convergence entre les deux plaques tectoniques (africaine et eurasienne), se manifestant, sous forme de séismes de magnitude plus ou moins élevée.

Plusieurs épencentres de séismes importants, qui sont générés par des failles actives, comme ceux de Chenoua (1989), Tipaza (1990), Ain Benian (1996) et Zemmouri (2003) sont localisés le long de la côte (Figure 6).

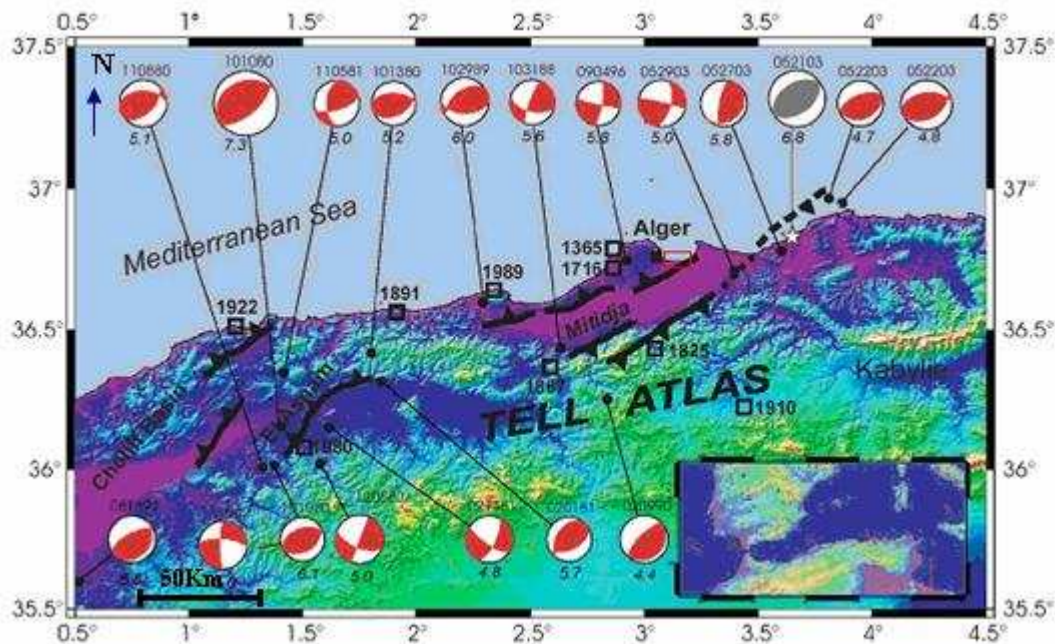


Figure 6. Morphotectonique de l'Atlas Tellien central et les séismes majeurs associés (Méghraoui, 1988, in Saadi 2005).

La région algéroise se repose sur des failles considérées comme actives. Récemment, une série de failles en mer, a été mise en évidence par la campagne Maradja, dont une serait à l'origine du séisme du 21 mai 2003 (Dèverchère et al., 2005).

Les principales failles actives dans l'Algérois sont (Figure 7) :

- 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, en passant par Sidi Rached jusqu'à la baie d'Alger (Geomatrix, 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 ($M_s = 5.2$), 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 (Géomatrix, 2006). La faille pourrait émerger à environ 15 kilomètres en mer. (Semane ,2005)

C'est la rupture de cette faille qui serait à l'origine du séisme du 21 mai 2003. La carte des isoséistes (Figure 8) montre une intensité de X de la zone entre Dellys et Bordj El Bahri.

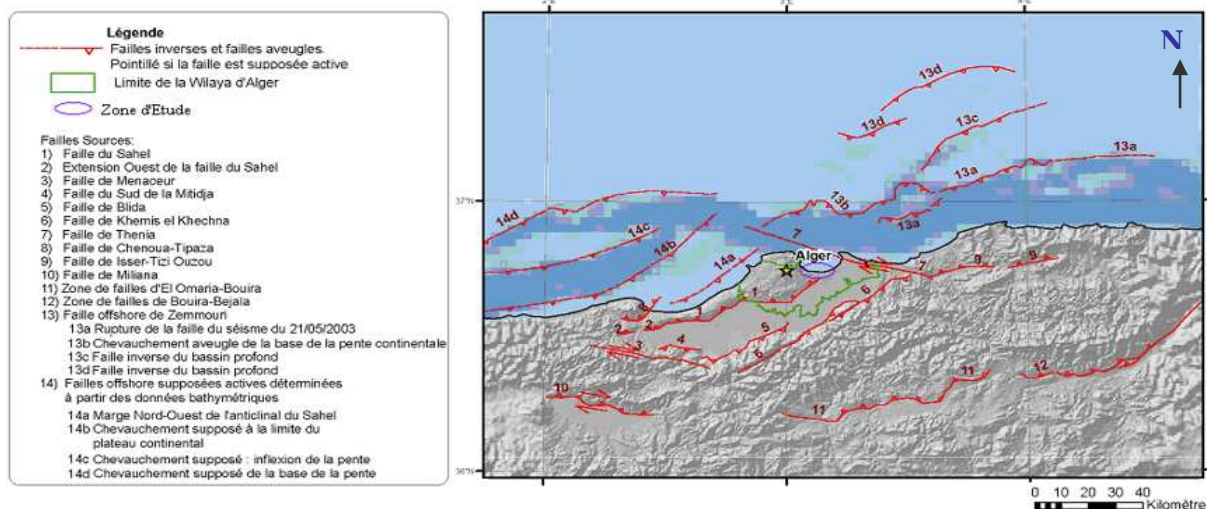


Figure 7. Localisation des différentes failles actives dans l'Algérois (Geomatrix, 2006).

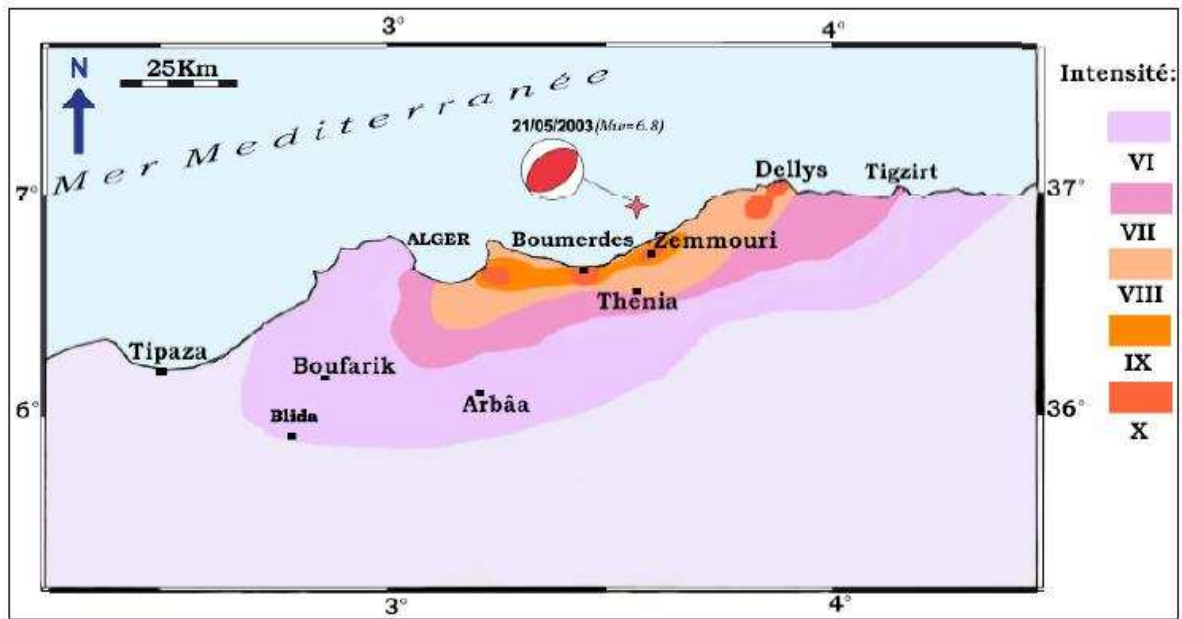


Figure 8. Carte des isoséistes et des intensités du séisme du 21 Mai 2003 (Ayadi et al.2003, in Saadi, 2005)

II.4. Classification des zones sismiques

Le séisme du 21 mai 2003 a conduit à la reclassification de la région d’Alger et de Boumerdes et de Tipaza, qui sont passées de la zone II, (moyenne sismicité) à zone III (forte sismicité) (CGS, 2003) (Figure 9)

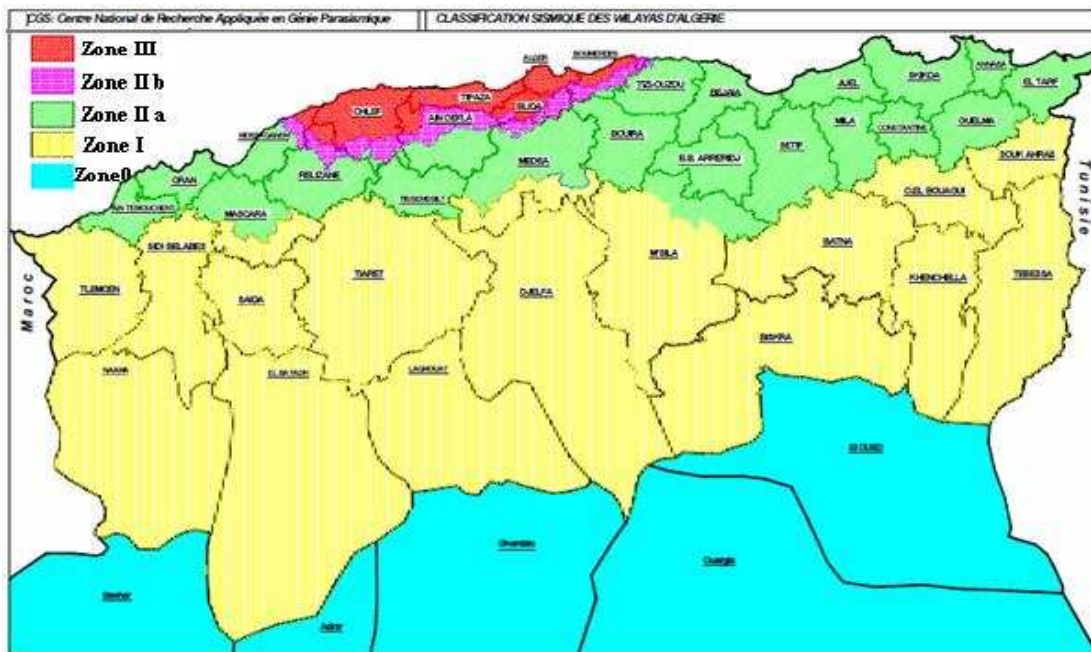


Figure 9. Classification sismique des wilayas d’Algérie (CGS, 2003)

Cette reclassification a par conséquent, conduit au durcissement des normes de constructions et des règles parasismiques dans ces 3 wilayas.

II.5. Conclusion

Les caractéristiques sismotectoniques de l'Algérois dont fait partie notre site d'étude témoignent d'une forte activité tectonique, marquée par l'existence de plusieurs failles actives, susceptibles d'engendrer des séismes de forte intensité. L'implantation des ouvrages de grandes importances nécessite donc la prise en compte du risque sismique avec tout ce que cela inclut, notamment l'évaluation des effets sites éventuels.

Afin de minimiser les risques, on doit alors construire en évitant : la proximité de failles actives, les versants escarpés et instables, les abords de falaises, les sols liquéfiables, et sols amplifiant le mouvement sismique.

Chapitre III

Description de la géologie du site d'étude

III.1. 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 effets, la connaissance de l'épaisseur de la colonne sédimentaire au-dessus d'un substratum sismologique, quand il est atteint par les sondages, permet d'expliquer les fréquences obtenues à partir des courbes H/V et de connaître la nature lithologique de la colonne qui éventuellement amplifie le mouvement sismique. Donc la géologie de surface est tirée de la carte géologique d'Alger (Aymé, 1964), la lithologie du sous-sol est tirée à partir des coupes de sondages carottés, réalisés dans le site d'étude.

III.2. Géologie du site d'étude

La carte géologique au 1/50000^{ème} de la région d'Alger (Figure 10) montre que notre secteur d'étude est recouvert par du sable de plage et des dunes actuelles. Au sud et à l'est du site, affleurent des dépôts pléistocènes, formés essentiellement de dunes consolidées, parfois rubéfiés. Notons que ni l'Astien ni le Plaisancien affleurent dans le site d'étude et ses environs immédiats.

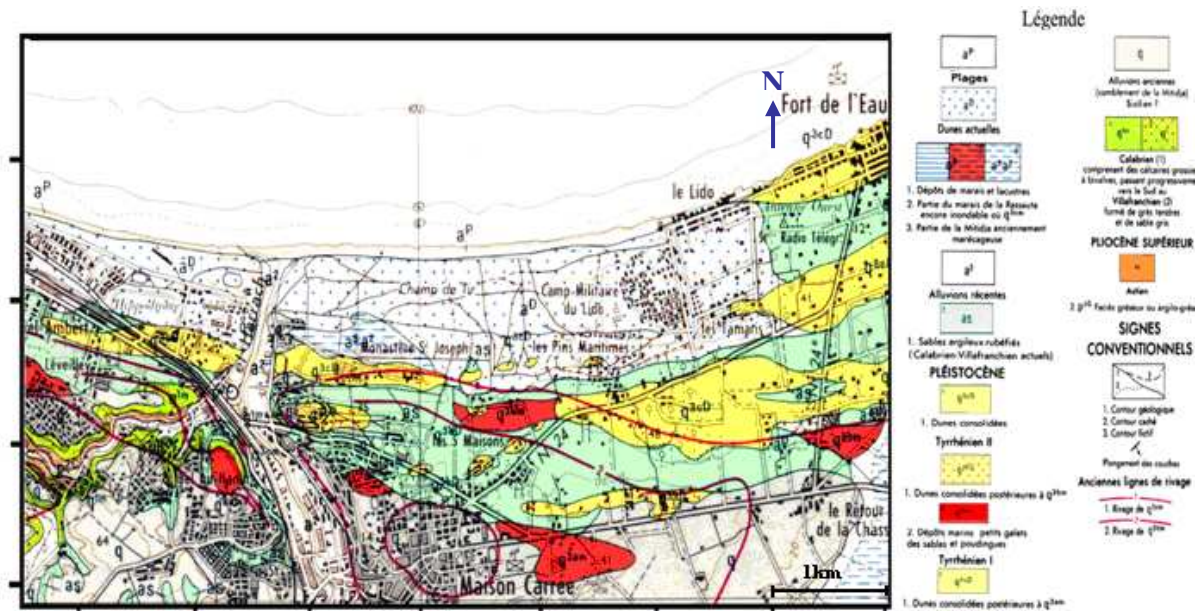
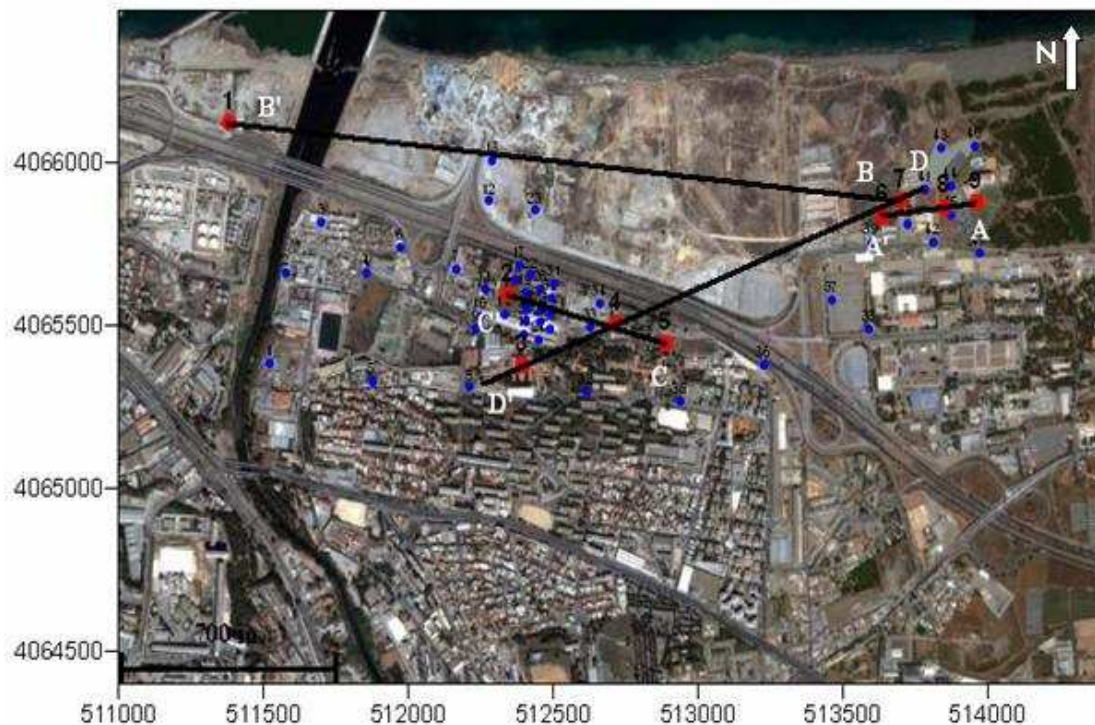


Figure 10. Extrait de la carte géologique d'Alger au 1/50000^{ème}, feuille n° 21 (Aymé, 1964).

III.3. Lithologie du sous-sol du site d'étude

La réalisation des coupes géologiques, à partir des logs de sondages, réalisés dans le cadre de plusieurs projets (City Center, 2006; microzonage sismique d'Alger, 2006; Grande Mosquée d'Alger, 2009) nous a permis de connaître le sous-sol du site d'étude plus en détail, à savoir la succession lithologique, les épaisseurs des couches et les variations latérales. La position des sondages carottés et des coupes interprétatives est montrée par la figure 11.



● : Les points des Sondages carottés. ● : Les points d'enregistrements H/V

— : Trait de coupes

Figure 11. Localisation des sondages carottés, des traits des coupes et des enregistrements H/V.

Nous avons réalisé quatre coupes interprétatives qui sont :

- Coupe AA' :

La coupe, de direction EW (Figure 11), réalisée à partir des sondages carottés Sc6, Sc8 et Sc9 montre l'existence en surface d'une couche de sable fin dont l'épaisseur varie de 1 à 5 m d'est en ouest. A l'ouest, un remblai de 1 mètre d'épaisseur est recoupé depuis la surface par le sondage Sc6.

Cette couche de sable recouvre, après un faible passage d'argile limono-sableuse, une épaisse formation de sable fin et grossier dont l'épaisseur varie de 20 à 32 mètres d'est en ouest. La nappe d'eau est détectée à 6 mètres de profondeur (Figure 13).

- Coupe BB' :

La corrélation entre les sondages Sc1 et Sc7 (JICA, 2006), nous a permis de réaliser une coupe lithologique interprétative, de direction SE-NW (Figure 11). Cette coupe montre de haut en bas, une épaisse couche de remblai de 17 mètres à l'Est qui se réduit vers l'Ouest puis une couche de sable fin et grossier de 25 mètres d'épaisseur qui est coupée par une couche du grès à l'Ouest.

Ces formations reposent sur une marne plaisancienne, recoupée sur quelques mètres par les sondages. La nappe d'eau est détectée à 5 mètres de profondeur (Figure 14).

- Coupe CC' :

La coupe CC', de direction NW-SE (Figure 11), réalisée à partir des sondages carottés Sc2, Sc4 et Sc5, met en évidence un remblai de 1,5 à 3 mètres d'épaisseur, recouvrant une couche de sable

fin et grossier de 38 à 47 m d'épaisseur ; Cette couche de sable est intercalée par une formation d'argile sableuse. Notons que la nappe d'eau dans ce cas est détectée à 9m. (Figure 15).

- Coupe DD'

La corrélation des sondages carottés Sc3, Sc4, Sc6 et Sc7, définit une coupe lithologique (Figure 11), plus au moins homogène, constituée de haut en bas par les trois ensembles suivants : Un remblai de 2 mètres d'épaisseur en moyenne qui passe à 17 mètres à l'extrémité nord-est; Du sable fin et grossier de 31 à 41mètres d'épaisseur, intercalé d'une fine lentille d'argile, de couleur jaunâtre, à l'extrémité nord-ouest; Une argile marneuse à marne, probablement plaisancienne. Notons que la nappe d'eau est détectée à 5m (Figure 15).

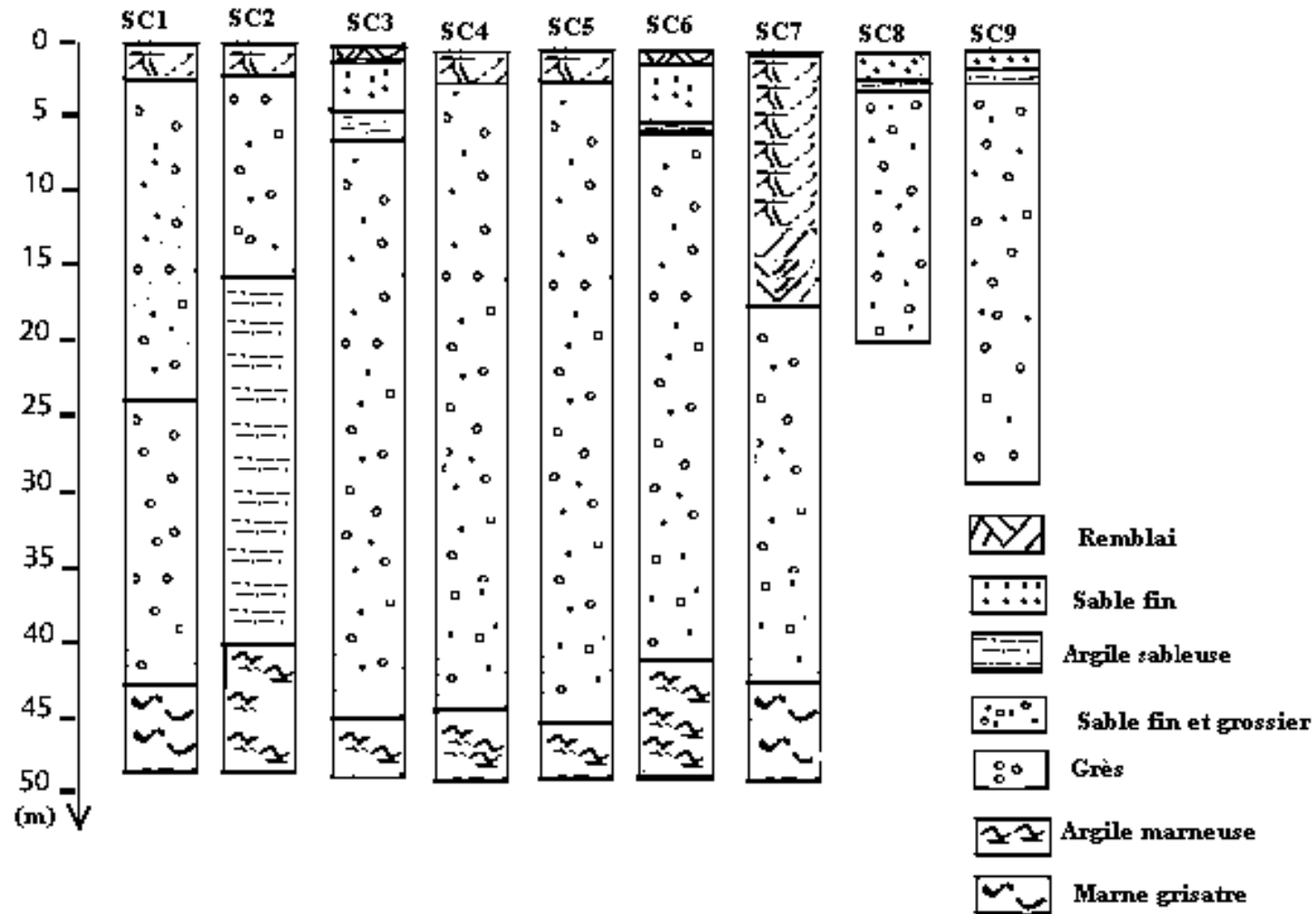


Figure 12 : Logs stratigraphiques des sondages crottés.

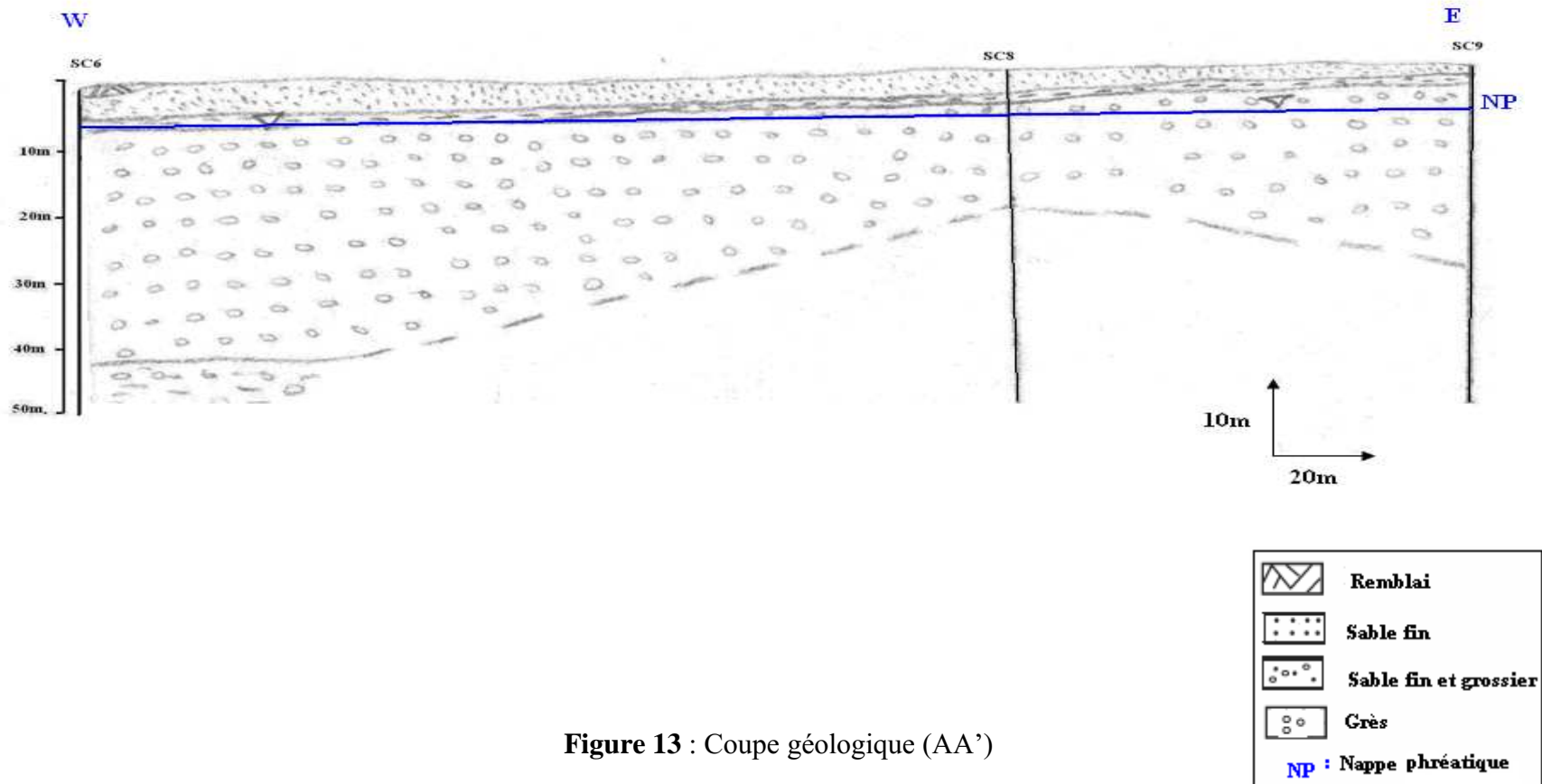


Figure 13 : Coupe géologique (AA')

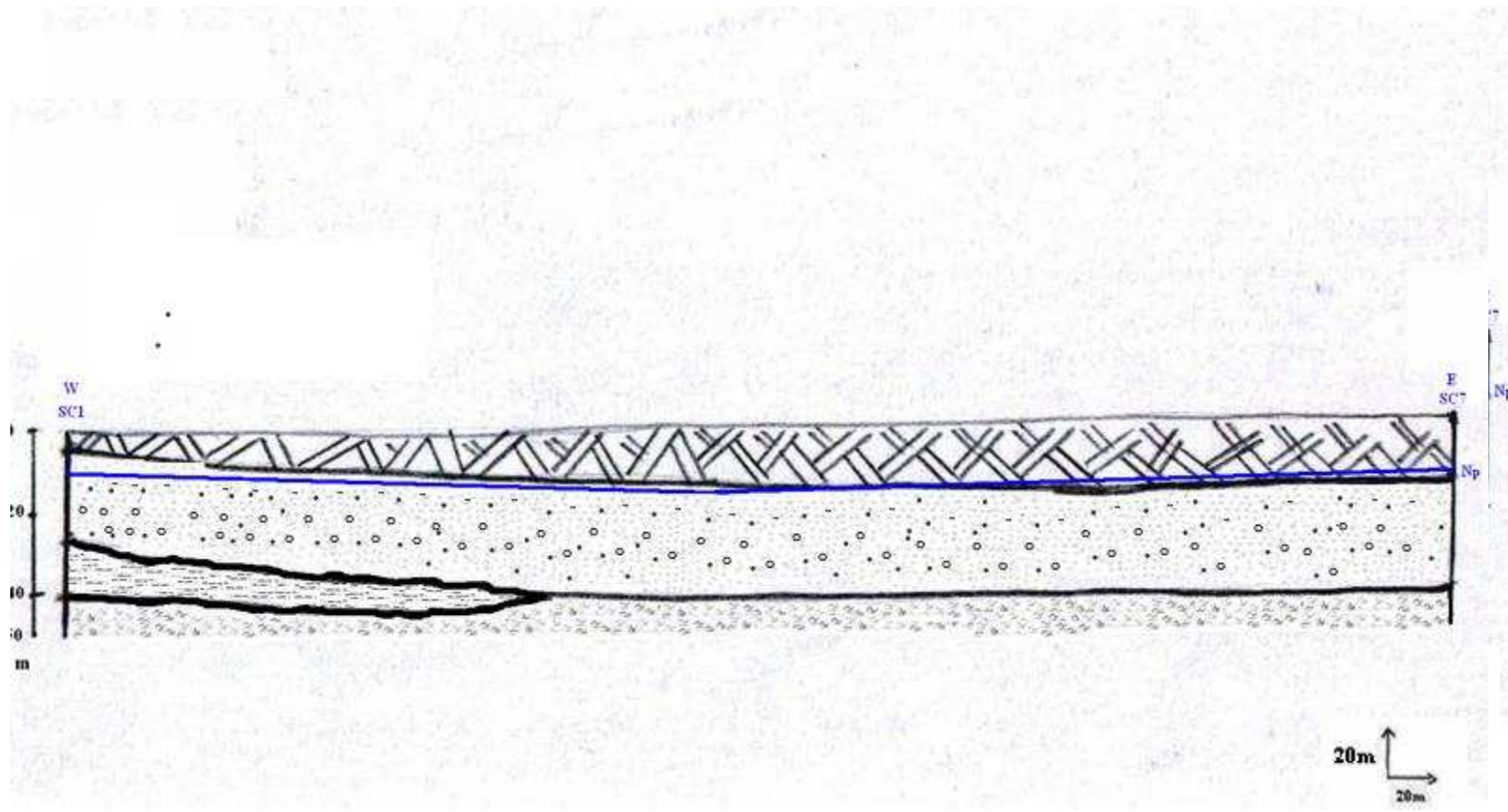
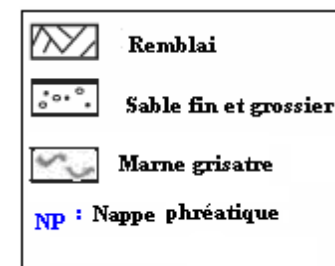


Figure 14 : Coupe géologique BB'



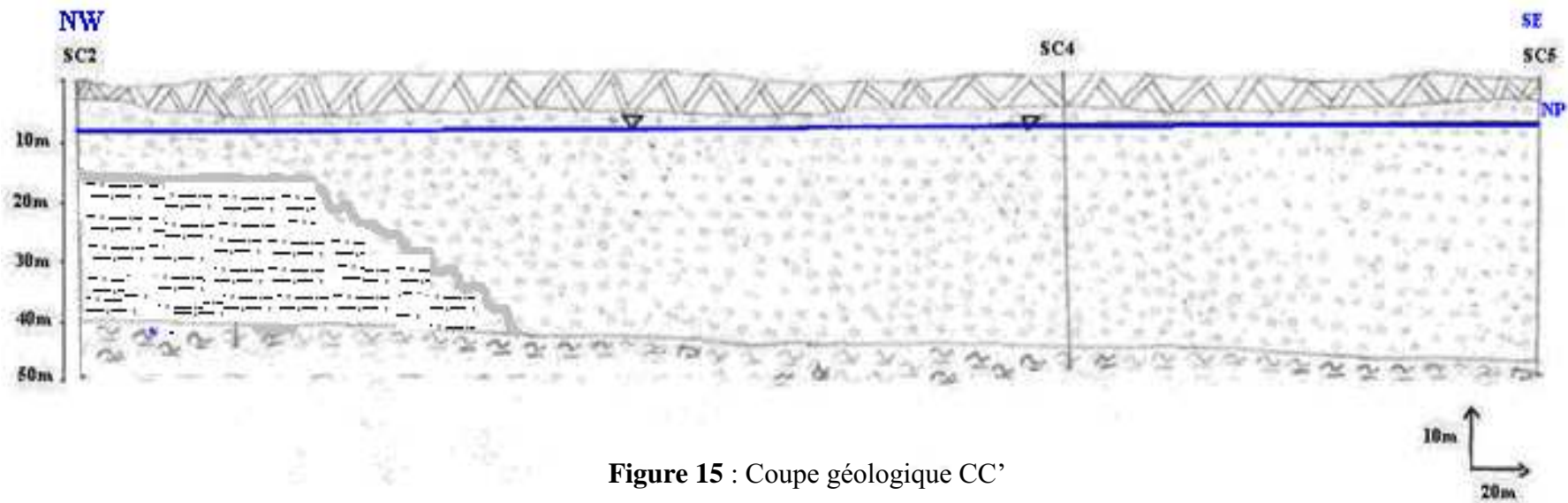
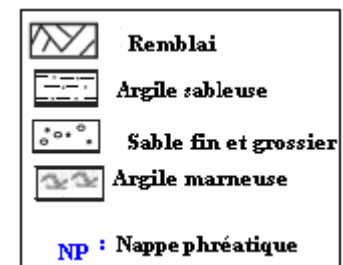


Figure 15 : Coupe géologique CC'



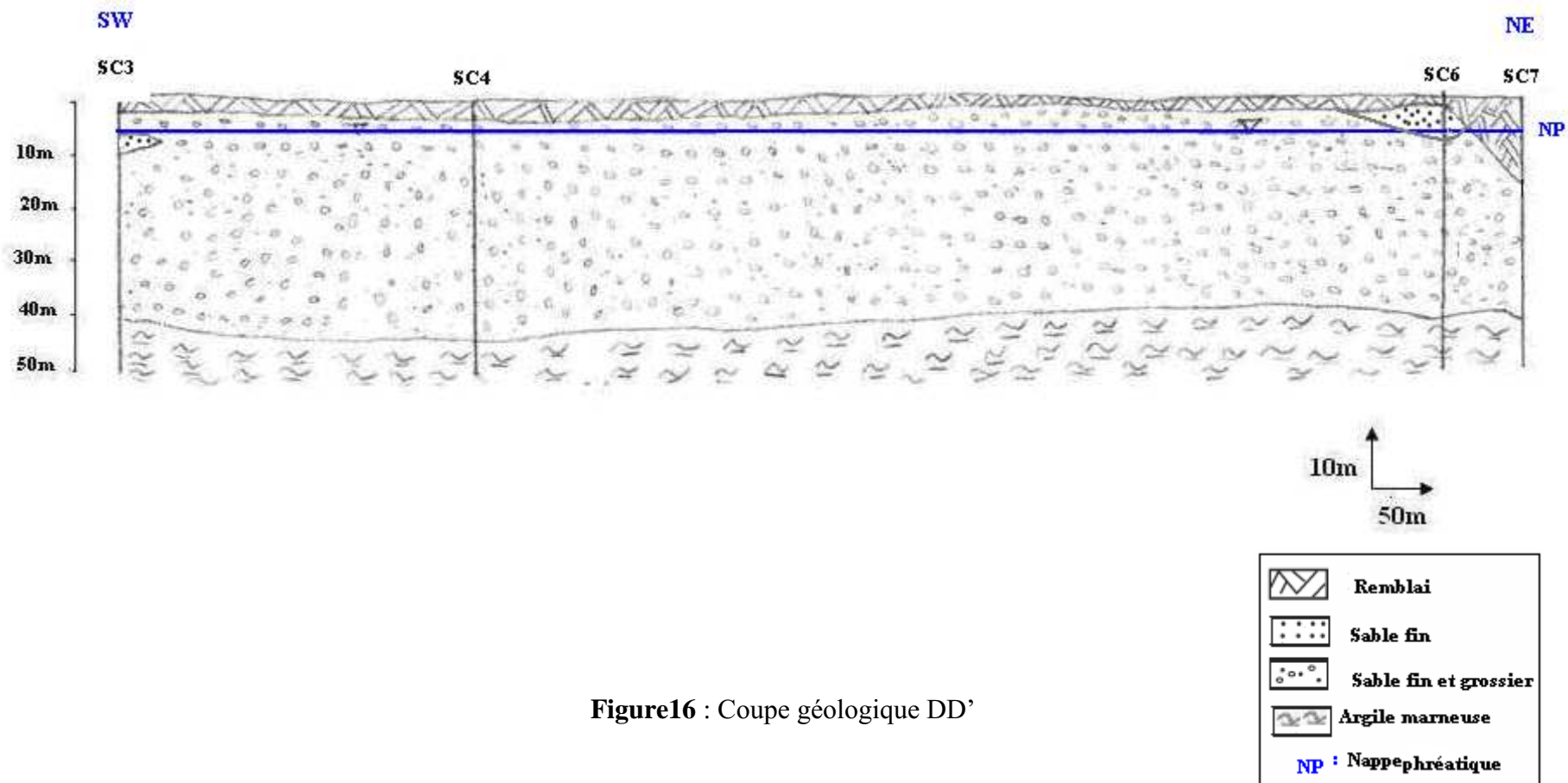


Figure16 : Coupe géologique DD'

III.4. Conclusion

L'analyse des quatre coupes lithologiques interprétatives que nous avons réalisées, montre que le sous-sol du site d'étude est, dans l'ensemble, assez homogène, aussi bien latéralement qu'en profondeur. Il est composé essentiellement de sable grossier et fin, parfois grésifié d'âge probablement Quaternaire à Plio-Quaternaire, d'épaisseur variant de quelques mètres à une quarantaine de mètres, reposant sur un substratum marneux à argilo-marneux, probablement d'âge Plaisancien. En surface, un remblai d'épaisseur variable (1 à 17 mètres) recouvre systématiquement la formation sableuse qui baigne en partie dans une nappe d'eau dont le niveau oscille entre 5 et 9 mètres de profondeur.

Chapitre IV

Etude du bruit de fond

IV.1. Introduction

La connaissance des paramètres physiques du sol est un élément important dans l'évaluation de l'alea sismique. L'un des principaux paramètres à connaître est la vitesse des ondes S dans le sédiment et le contraste d'impédance entre le sédiment et le socle. Ces paramètres, combinés à la géométrie du substratum, contrôlent l'amplification des ondes sismiques lors d'un tremblement de terre. (Fäh et al., 2003).

L'application des méthodes géophysiques classiques et la méthode des enregistrements de séismes n'est pas toujours évidente dans les zones fortement urbanisées, là où le risque sismique peut être élevé en raison de leur coût ou de moyens à mettre en œuvre (par exemple l'utilisation d'explosif ou de camion vibreur en milieu urbain). C'est pourquoi d'autres méthodes basées sur l'enregistrement de bruit de fond sont maintenant utilisées.

Dans ce contexte, notre choix s'est penché sur la méthode des rapports spectraux (H/V) dans le but de mesurer les fréquences propres du sol dans la zone des Pins Maritimes.

IV.2. Historique des études sur le bruit de fond

La méthode du rapport H/V (rapport des composantes spectrales horizontales et verticale d'un signal), a été proposée pour la première fois en 1971 par Nogoshi et Igarashi. Mais cette méthode n'a eu l'essor mondial qu'elle connaît qu'après sa publication par Nakamura (1989). Dès lors, de nombreux auteurs ont publié des résultats d'études de sites (microzonage) en utilisant cette méthode. (Bonneyoy, 2004).

L'utilisation de la technique H/V-bruit de fond en Algérie n'apparaît qu'après le séisme du 21 mai 2003 où des études ont été effectuées conjointement par le CGS (Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Alger) et le LGIT (Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique, Grenoble) pour étudier les effets de site dans les villes de Boumerdes et Zemmouri.

IV.3. Aperçu sur la méthode H/V-bruit de fond

La méthode H/V bruit de fond, dite méthode de Nakamura, et l'une des plus utilisées dans le monde pour les études de microzonage sismique. Elle est basée sur l'enregistrement des composantes verticales et horizontales des vibrations ambiantes. Le rapport spectral entre les composantes horizontales et verticales (H/V) permet d'identifier les fréquences fondamentales du sol auxquelles les sédiments peuvent amplifier le mouvement sismique. Cette méthode a été étudiée en détail dans le cadre du projet européen SESAME qui a montré que le pic H/V est invariable dans le temps, et que les enregistrements sur un substratum rocheux font apparaître des courbes H/V plates.

La méthode H/V est aussi utilisée pour évaluer les fréquences propres des bâtiments. Elle a connu un grand essor durant les deux dernières décennies en raison des nombreux avantages qu'elle présente (faible coût, rapidité d'exécution, utilisation en zone urbaine...).

IV.4. Origine du bruit de fond et du pic H/V

IV.4.1. Origine du bruit de fond

Le bruit de fond, ou vibrations ambiantes, est défini comme étant toute sollicitation autre qu'un séisme qui fait vibrer le sol. Ce bruit peut provenir de deux types de sources :

- sources naturelles : l'effet du vent sur les arbres ou les bâtiments, les conditions hydrographiques (débit fluvial), le brisement des vagues océaniques sur une côte engendrent du bruit dans le sol.
- sources anthropiques : l'activité industrielle, le trafic routier, le roulement des trains et des voitures, ou tout simplement un homme qui marche, engendrent du bruit dans le sol

D'après Bonnefoy (2004), l'origine du bruit diffère selon la fréquence:

- à 1 Hz, le bruit est d'origine naturelle (océans, conditions météorologiques à grande échelle) ;
- de 1 à 5Hz, le bruit est d'origine naturelle (l'effet du vent et les conditions météorologiques régionales-locales);

- a plus de 5 Hz, le bruit est d'origine anthropique (activités humaine).

IV.4.2. Origine du pic H/V

Selon Bonnefoy (2004), la contribution des ondes sismiques dans le bruit de fond dépend relativement du contraste d'impédance entre les sédiments et le socle. Généralement le rapport H/V présente un pic quand le contraste d'impédance ($Z = \rho * V_s$) est suffisamment fort (de l'ordre de 3). Plus le contraste est fort plus le pic est marqué. En 2007, Bonnefoy a défini trois facteurs caractérisant l'origine de ce pic:

- 1) ellipticité des ondes de Rayleigh ;
- 2) ondes de Love (elles sont toujours présentes dans le bruit de fond) ;
- 3) la résonance des ondes S.

IV.5. Acquisition des données H/V bruit de fond

Nous avons effectués les enregistrements, à l'aide d'une station CityShark II (Chatelain et al, 2000), équipée d'une carte flash pour la récupération des données, et un sismomètre Lennartz 5 secondes (Figure 17). Nous avons effectué 47 enregistrements du bruit de fond couvrant globalement notre secteur d'étude (Figure 11 et 17).



Figure 17. Matériel utilisé pour l'enregistrement du bruit de fond. Station d'acquisition Cityshark II et capteur Lennartz 5 secondes, à 3 composantes

IV.6. Paramètres d'enregistrement

Les enregistrements ont été effectués avec les paramètres d'acquisition suivants en ce basant sur les expériences du projet SESAME 2007 (Chatelain et al, 2007):

- fréquence d'enregistrement : 200 Hz;
- durée d'enregistrement : 15 minutes;
- gain : de 128 à 256, avec une saturation du signal limitée à 5%.

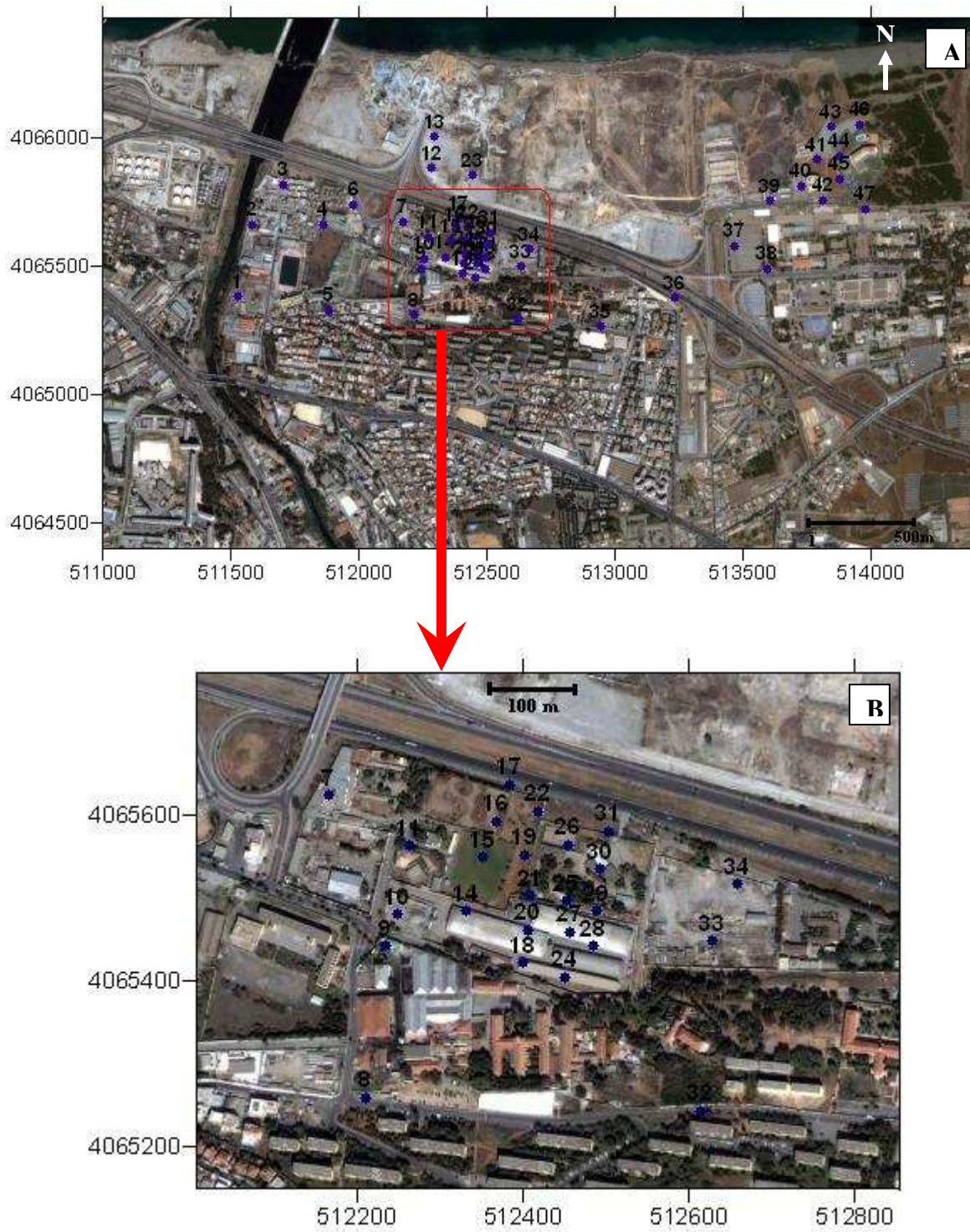


Figure 18. (A) Localisation des points d'enregistrement du bruit de fond dans le site d'étude (Image Google Earth, 2003); (B) Zoom sur la localisation des enregistrements dans l'assiette de la future grande Mosquée d'Alger.

IV.7. Traitement des données

Nous avons récupéré les données des enregistrements, via la carte flash, sur PC afin de traiter les signaux à l'aide du logiciel *geopsy* (www.geopsy.org) développé par Marc Wathelet, en marge du programme européen SESAME (Site Effects Assessment using Ambient Excitations), ce programme permet, en particulier, de calculer les rapports H/V (Figure 18). L'analyse des signaux a été faite sur des fenêtres stationnaires de 32 secondes.

Ce logiciel (Figure 3) traite les données de la façon suivante :

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

$$S_h(N_i) = \sqrt{\frac{S_n(N_i)^2 + S_e(N_i)^2}{2}}$$

6. calcul des rapports spectraux $H/V(N_i)$ pour chaque fenêtre:

$$H/V(N_i) = \frac{S_h(N_i)}{S_v(N_i)}$$

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

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

8. Détermination de la fréquence f_0 du pic de la courbe H/V et éventuellement des pics secondaires.

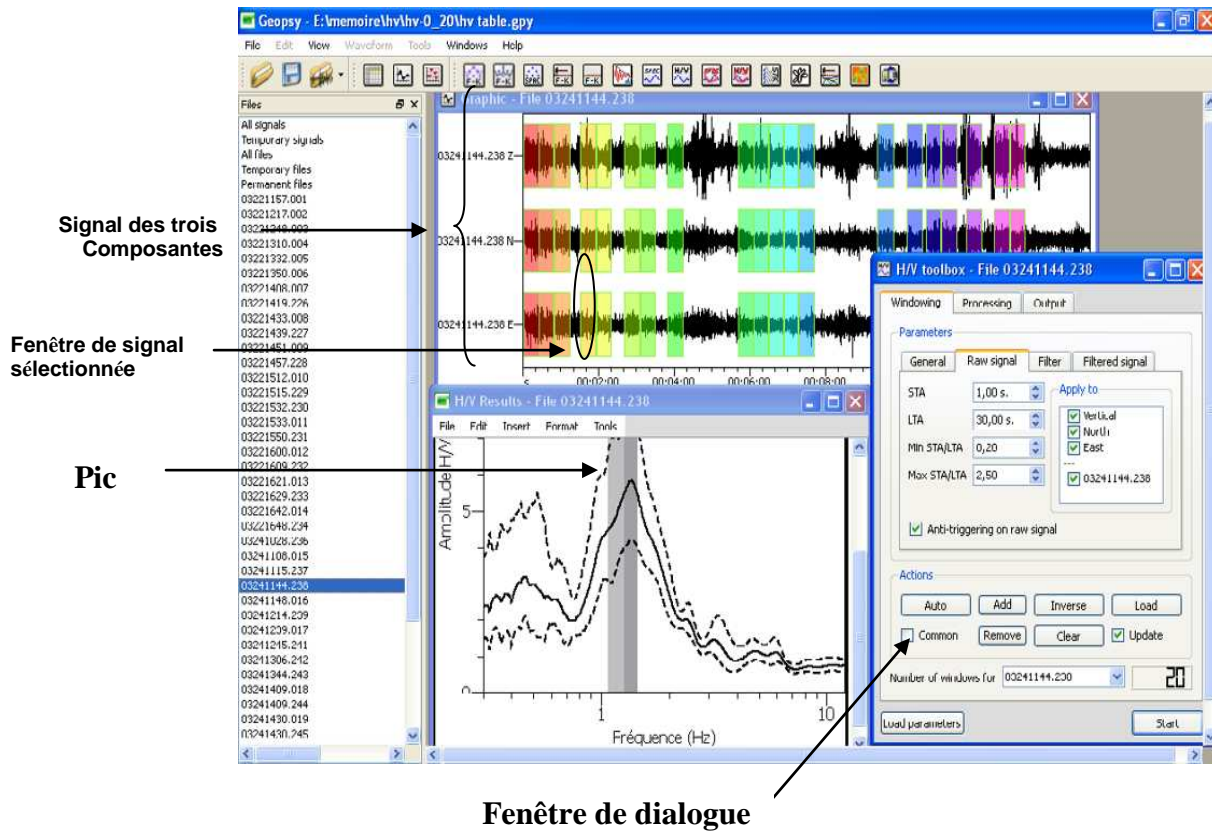


Figure 19. Interface du logiciel *geopsy*

IV.8. Résultats

À travers, presque toute la bande étudiée, un pic apparaît dans une gamme de fréquence entre 0,33-0,55Hz (Figure 20). Cependant un second pic majeur a été observé sur 21 points caractérisés par une gamme de fréquence aux alentours de 17-22Hz. En général la fréquence de résonance d'un site est définie comme être la fréquence observée du premier pic sur le spectre H/V (Lachet et al.1996, in Guéguen 1998)

IV.9. Discussion et interprétation

La détermination graphique de la fréquence fondamentale propre du sol f_0 correspond à l'amplitude du plus grand pic sur le spectre H/V. La fréquence fondamentale f_0 du site est recherchée dans le domaine fréquentiel compris entre 0.3 Hz et 20 Hz.

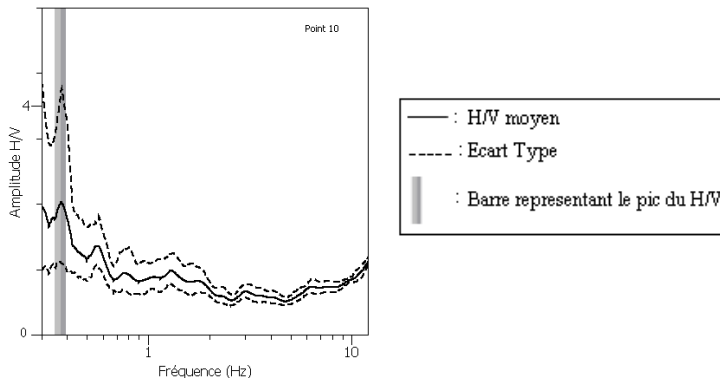


Figure 21. Détermination graphique de f_0 .

La fréquence propre du sol, l'épaisseur de la couche considérée et la vitesse des ondes S sont liées par la formule :

$$f_0 = V_s / 4h \quad (1)$$

La fréquence propre théorique f_0 augmente proportionnellement en fonction de la diminution de l'épaisseur de terrains meubles h , en considérant une vitesse de cisaillement V_s constante.

La formule (1) nous permet d'obtenir :

- soit la vitesse des ondes S de la couche superficielle,

$$V_s = f_0 * 4H \quad (2)$$

- soit l'épaisseur de la couche,

$$H = V_s / 4f_0 \quad (3)$$

La présence de formations superficielles meubles d'épaisseurs plus ou moins importante est un facteur bien connu d'aggravation des mouvements du sol (effets de site). dû au contraste d'impédance entre le socle et des séries meubles (Bonneyoy, 2007).

Le traitement des rapports spectraux (0,3 à 12 Hz), nous a permis de classer les courbes H/V que nous avons obtenues en 4 catégories :

- des courbes avec un pic dans la gamme 0,3-0,6Hz.(catégorie 1)
- des courbes avec un pic dans la gamme 0,3-0,6 et 1-4Hz (catégorie 2)
- des courbes avec un pic plateau (catégorie 3)
- des courbes inexploitable ou avec un pic marqué.

En on se basant sur ces observation, nous pouvons tirer les conclusion suivantes :

1) Les courbes H/V montrent des pics nets dans une gamme de 0.3 à 0.6 Hz de la catégorie 1 et catégorie 2 (Figure 22,23). Les pics de résonance autour de cette gamme reflètent les couches profondes, ils peuvent être liés à la réponse du contraste de la marne bleuâtre (si on considère que l'épaisseur de ce faciès d'âge plaisancien dépasse 200m dans le Sahel (Benallal et Ourabia, 1989). La prospection sismique a donné la moyenne des vitesses de propagation des ondes dans la couche marneuse de 350 m/s (sondage N20 Hussein Dey JICA, 2006). En utilisant cette vitesse, avec les fréquences trouvées et en appliquant l'équation (1), l'épaisseur de cette couche peut variée de 156 à 265 m.

2) des courbes présentent deux pics (ou à trois pics) catégorie 2 (Figure 23), le premier pic (0,3-0,6Hz) renvoie les mêmes explications que la catégorie 1.

L'application de la relation (3) pour le deuxième pic (1-4Hz) pour certains point(7,30,39,40),montre que leurs fréquences reflètent la réponse de la formation (Sable fin et grossier) au-dessous de la marne si on prenant la vitesse des ondes S dans la sable fin et grossier variante de 300 à 500m/s(Widmer et al,2003).

En revanche le troisième pic des points 35 et 36, ce n'est que la réponse du remblai dont la fréquence est de 10Hz.

3) des courbes présentent un plateau dans les basse fréquences qui sont certainement des courbes de la catégorie 1 perturbés par les conditions d'expérimentation où les points sont proche des structures. Ces courbes sont interprétées de la même manière que celle de la catégorie 1, avec une fréquence basse (Figure 24).

4) les points de catégories 4 regroupent deux courbes ininterprétables dans le contexte (Point 39 et 45). Et une courbe avec un pic très marqué vers 1,35 Hz (Point 1), qui n'est caractéristique de la zone étudiée.

5) Le traitement des rapports spectraux (12 à 20 Hz), montre que la plupart des courbes H/V présentent un pic haute fréquence très net entre 17 et 25 Hz (points 10, 19, 43...)(voir annexes). Cette gamme de fréquence correspond à la réponse de la couche de remblai, à l'exception de l'épaisseur donnée par le sondage 7 qui est très ponctuel (figure 14). Pour vérifier que les pics entre 15 et 25 Hz correspondent réellement à la réponse du remblai, nous avons calculé son épaisseur à partir de la relation (3) en prenant une vitesse des ondes S dans le remblai entre 200 m/s (JICA, 2006) et 320 m/s (LNHC, 2006 in Ikhlef et Mokrani, 2006), 2006). L'épaisseur H trouvée varie de 2 à 5m, ce qui est en accord avec les données de sondages. Cette gamme de fréquence correspond donc bien à la réponse du remblai.

Remarques

- ✓ Les courbes où apparaît plus d'un pic peuvent être expliquées par la superposition de plus d'une couche au dessus du substratum, chaque couche étant caractérisée par une fréquence.
- ✓ Le fort écart entre les fréquences propres du sol des points de catégorie 2 (figure 23) peut être expliqué par une forte hétérogénéité du terrain en suivant la logique de la formule ($f_0 = V_s / 4h$). Les valeurs de fréquence de ces points d'enregistrement ne peuvent être liées qu'à la réponse de toute la couche sédimentaire au-dessus du socle sismologique.
- ✓ La courbe du point 01 de la catégorie 4 (Figure 25) n'est pas caractéristique de la zone. Elle présente un pic très net d'une fréquence de 1.35 Hz avec une amplitude importante. En ce point le terrain ne se comporte pas comme dans le reste de la zone. Ce point, vu son positionnement par rapport aux autres, il est le plus proche de l'oued El Harrach, situé au sud-ouest des points d'enregistrement. Il est très important d'effectuer d'autres enregistrements aux alentours de ce point afin de bien interpréter et guider vers une bonne décision l'aménagement de ce secteur.
- ✓ Il faut bien prendre en considération la présence de l'eau dans notre zone (voir chapitre III) car il diminue la propagation des ondes S dans les formations, un facteur qui peut poser des ambiguïtés dans la sûreté des interprétations.

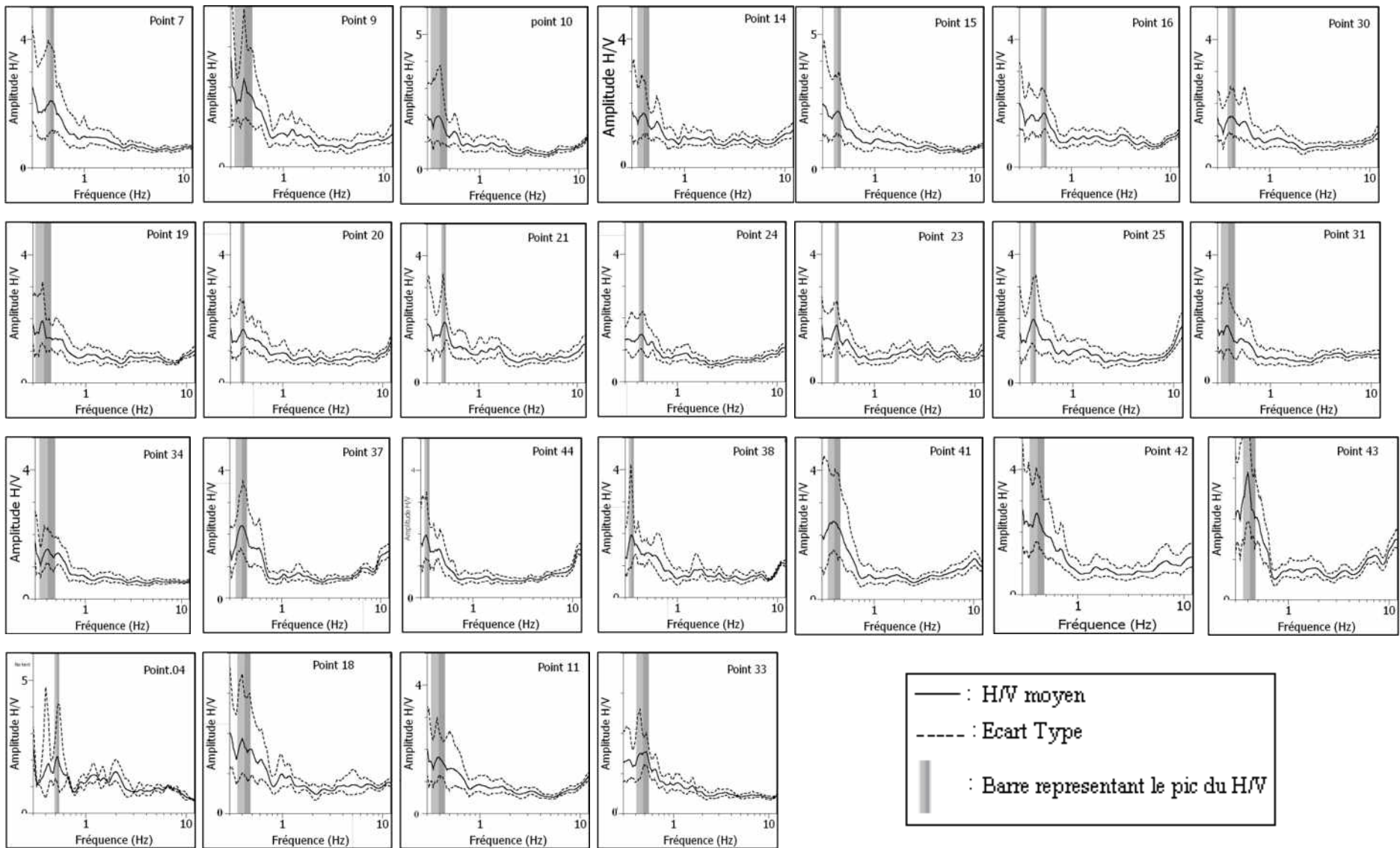


Figure 22. Courbes H/V obtenus a partir d'enregistrement du bruit de fond (*Catégorie 1 : courbes à un seul pic*).

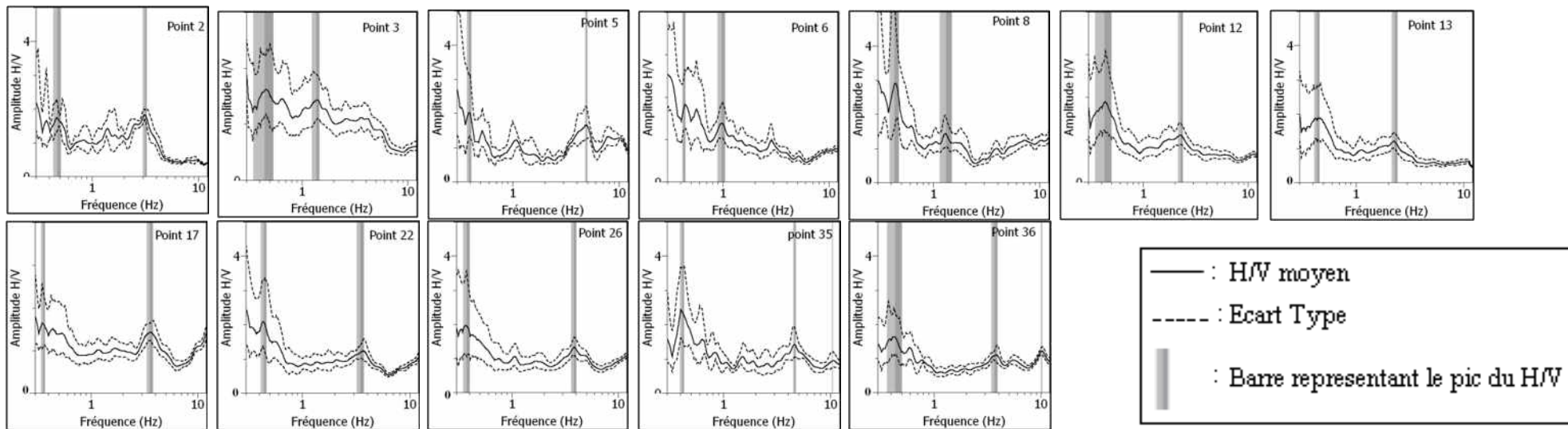


Figure 23. Courbes H/V obtenus a partir des enregistrements du bruit de fond (*Catégorie 2 : courbes de deux à trois pics*).

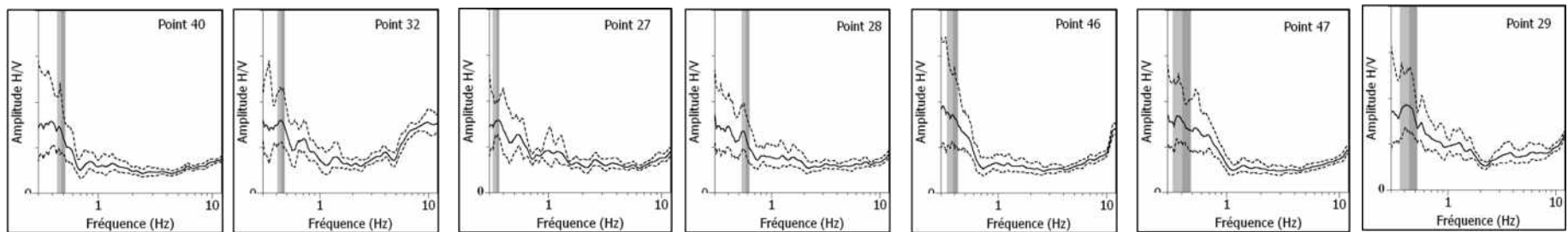


Figure 24. Courbes H/V obtenus à partir d'enregistrement du bruit de fond (*Catégorie 3: plateau*)

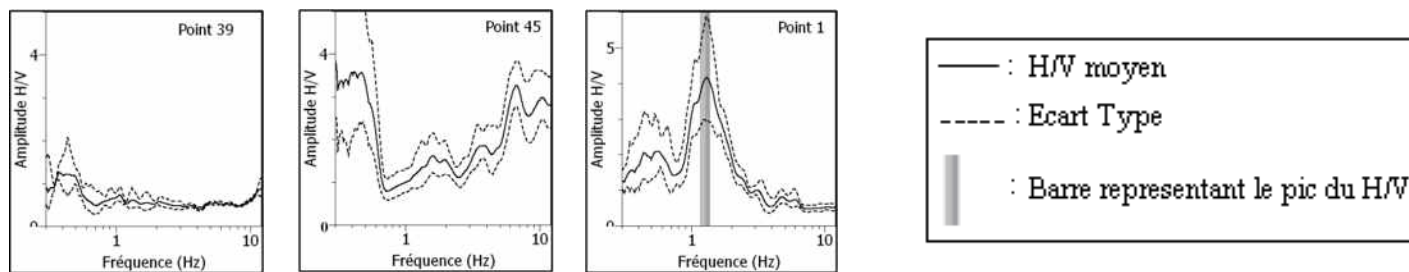


Figure 25. Courbes H/V obtenus à partir d'enregistrement du bruit de (*Catégorie 4*)

IV.10. Conclusion

L'allure générale obtenue montre que une distribution des fréquences est relativement uniforme sur l'ensemble de la zone. Les catégories de fréquences observées ne rendent pas compte du comportement de la couche superficielle de sédiment tiré des sondages fait par la JICA (2006) ou de ceux du projet City Centre (2006). De plus, le fait que la fréquence des pics ne soit pas uniforme sur tous les points indique que le Plaisancien est variable. Vu le résultat des valeurs obtenues, le sol de la zone des Pins Maritimes a tendance a amplifier les basse fréquences, à l'exception de quelques points.

Chapitre V

Résultats de bruit de fond et conséquences sur l'aménagement de la zone des Pins Maritimes.

V.1. Introduction

Les résultats des parties précédentes ont montré l'évidence du risque sismique dans notre site et que les effets de site peuvent avoir des conséquences sur son aménagement donc nous allons analysés et essayés de faire des recommandations pour les constructions futures qui seront aménagés dans le but de minimiser le risque de dégâts que peuvent subir ces constructions dû principalement aux effets de site que aux séismes.

V.2. Résultats H/V

Les résultats de H/V bruit de fond obtenue dans le chapitre IV montre que notre zone d'étude est une zone ou les vitesses des ondes de cisaillement sont amplifiées dans les basses fréquences(0,3-0,56).

Théoriquement, la fréquence propre des bâtiments doit être différente de la fréquence propre du sol, afin d'éviter les phénomènes de résonance en cas de séisme.

Dans ce contexte, il existe des formules qui exigent des normes établissant un lien entre la fréquence fondamentale d'un bâtiment et certains paramètres : nombre d'étages, largeur, hauteur et la nature du matériau.

La réglementation Algérienne (RPA, 99), donne une formule permettant d'estimer la fréquence d'un bâtiment en fonction de sa hauteur et de la nature des matériaux utilisés.

$$f = 1 / (C_t H^{0.75}) \quad (4)$$

- H : hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).
- C_T : coefficient, varie entre 0,049 et 0,085.

Si un bâtiment présente une fréquence propre identique ou proche de celle du sol, les exigences liées à son dimensionnement ou à la vérification de sa sécurité parasismique doivent être accrues par rapport aux exigences de base des normes de construction. On s'efforcera alors dans la mesure du possible de modifier la fréquence propre du bâtiment projeté et de l'éloigner de celle du sol par des mesures constructives de rigidification ou d'assouplissement des structures porteuses. (Widmer et al. 2003).

Le tableau 2 nous donne une estimation de la hauteur à ne pas tolérer dans ce site en fonction de matériaux utilisés, en appliquant la relation (4).

Tableau 2: Prospective des hauteurs des ouvrages à ne pas construire en relation avec fréquence fondamental du sol.

Cas	Système de contreventement	Ct	Hauteur (m) à ne pas tolérer ($f_0=0,3$)	Hauteur a ne pas tolérer ($f_0=0,56$)
1	Portique autosable en béton armé sans remplissage en maçonnerie	0,075	138	68
2	Portique autosable en acier sans remplissage en maçonnerie	0,085	117	57
3	Portique autosable en béton armé ou en acier avec remplissage en maçonnerie	0,05	238	117
4	Contrevenant assuré partiellement ou totalement par des voiles en béton armé, des palées triangulées et des murs en maçonnerie	0,05	238	117

Sur l'ensemble, les fréquences d'amplification des ondes de cisaillement, sont comprises entre 0,3 et 0,6Hz. Alors les infrastructures bâties sur le site devrait déferer de 17-33 étages, en appliquant la relation empirique $N=10/f$.

En utilisant la même formule empirique, la fréquence propre du bâtiment « centre d'affaire » (Figure 26), nous obtenons une fréquence approximative des conséquences lors d'un séisme de grande ampleur.

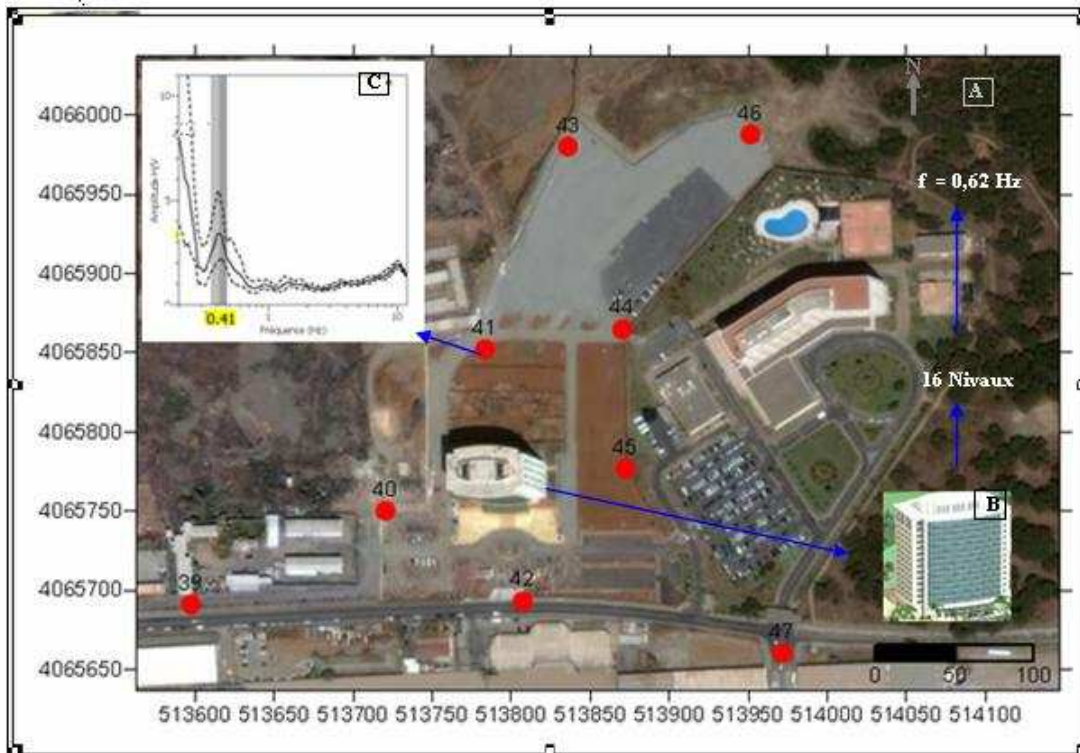


Figure 26. L'application du bruit de fond aux alentours des Pin Maritimes. (a) Localisation des enregistrements H/V. (b) Bâtiment du centre d'affaire « Business Centre ». (c) Courbe H/V (ligne noir foncée : la moyenne, ligne

V.3. Cadre juridique pour l'aménagement du littoral et degré d'application dans la zone des Pins Maritimes

La loi 02-02 du 5 février 2002 (Guide du domaine public maritime, 2004) relative à la protection et la valorisation du littoral, dans son article 7 définit le littoral sur une largeur minimal de 800 mètre et fixe une bande de construction à 100 mètre de large à partir du rivage pouvant atteindre 300 mètres pour des motifs liés au caractère sensible du milieu côtier.

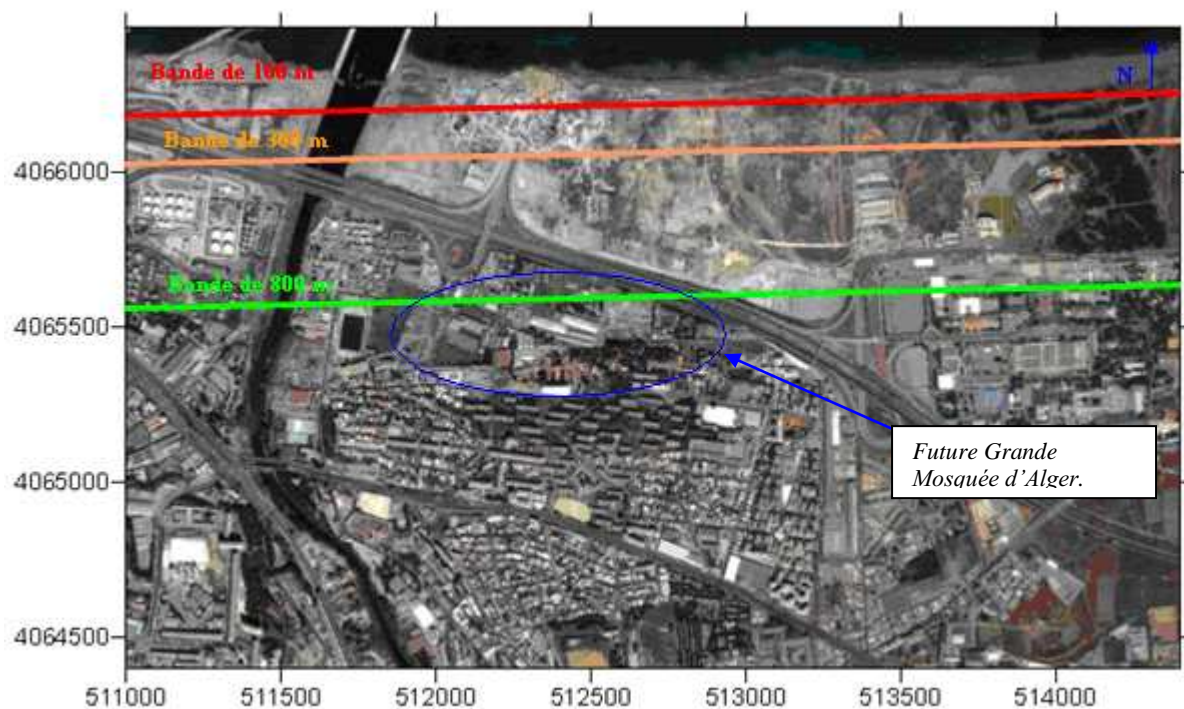


Figure 27. Délimitation du littoral de la zone étudiée selon la loi 02-02 pour la protection et valorisation du littoral. Les trois bandes délimitent la portion littorale (bande Verte), et la portion proscrite pour l'aménagement (bande orange et rouge).

A l'heure actuelle ces lois sont respectées aux alentours de notre site (Figure 27) où la distance entre le linéaire côtier et les premières constructions en l'occurrence l'hôtel Hilton dépasse les 300m et la route parallèle au littoral est située a plus de 400m du littoral.

Conclusion Générale

La méthode H/V bruit de fond permet une évaluation du risque sismique, mais cette étude gagnerait plus d'efficacité en densifiant les enregistrements que se soit spatiale ou temporelle, d'où la nécessité d'utiliser des mesures en réseaux notamment dans la grande mosquée d'Alger (projet d'une grande envergure).

Sachant que cette méthode donne des fréquences avec précision par rapport à leurs amplitudes, il est important et évident de s'orienter vers d'autres méthodes (down hole) pour mieux pouvoir compléter et confirmer les résultats, par ailleurs elle peut être guidé par d'autres essais pour bien identifier et orienter les résultats du bruit de fond et leurs origines.

D'un point de vue géotechnique, la présentation des différentes qualités de sols de notre zone d'étude est peu détaillée pour pouvoir corréliser les fréquences obtenues aux épaisseurs des grandes profondeurs qui existent donc il est important de faire des sondages à de grandes profondeurs aux alentours de la zone pour mieux confirmer les résultats.

L'étude faite, permet en premier lieu d'apprécier la nature et la dimension des ouvrages à préconiser, en deuxième lieu d'évaluer le risque sismique de la zone, lors de déclenchement d'un séisme de grande envergure et en dernier lieu de guider à bien son aménagement, donc dans ce contexte il est préconisé d'utiliser des sismomètres plus sensible (à 0,1 Hz) pour mieux guider cette aménagement, plus spécialement sur le terrain de la future grande mosquée d'Alger.

La clôture de ce travail exige des recommandations dans le but est de compléter l'étude dans un détail plus précis :

- cette étude souligne la nécessité de compléter les études H/V-bruit de fond par des mesures en réseau si l'on souhaite minimiser les ambiguïtés dans les interprétations de la structure du sous sol ;
- il est strictement préconisé de mieux étudier -dans un cadre pluridisciplinaire- ce site car il compte des projets de grande importance dans l'avenir (Medina d'Alger) ;

- respecter les normes et les règles parasismiques exigées par le RPA, aussi bien au niveau de la conception et du calcul que de l'exécution des ouvrages, facteurs qui sont souvent à l'origine d'importantes pertes en vie humaines et matériels ;
- en ultime conclusion il faut savoir que l'objectif des RPA est 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 ».



Références biographiques

Ameziane A., Balit E. (2006). Etude géologique, géotechnique et analyse des procédés de creusement et de soutènement du tunnel du métro d'Alger (tronçon : Hamma-Hai el Badr). *Mémoire d'ingénieur-USTHB-Alger*, 95P.

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

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

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*, 241P.

Bonnefoy-Claudet S., Baize S., Bonilla F., Berge-Thierry C., Campos J., Pasten C., Verdugo J., Volant P. (2007). Comment caractériser les effets de site des structures complexes à partir du bruit sismique ambiant. Application au bassin de Santiago du Chili. *7eme Colloque National AFPS_ Ecole Central Paris*, P.1-8.

Boudiaf A. (1996). Etude sismotectonique de la région d'Alger et de la Kabylie (Algérie). *Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II*, 230P.

Cahtelain J.-L., Guillier, B., Cara F., Duval A.-M., Atakan K., Bard P.-Y., The WP02 SESAME team. (2007). Evaluation of the influence of experimental conditions on H/V results from ambient noise recordings. *Bull Earthquake Eng (2008)*, 6:33-74, DOI, 10.1007/s10518-007-9040-7, 73P.

Chatelain J.-L., Guéngen P., Guillier B., Fréchet J., Bondoux F., Sarrault J., Sulpice P., Neuville J.-M. (2000). City Shark : A user-friendly Instrument Dedicated to Ambient Noise (Microtremor) Recording for Site and Building Response Studies. *Seismological Research Letters*, Volume 71, Number 6, P.698-703.

C.G.S (2003). Règles parasismiques algériennes. *RPA99/VERSION 2003*, 120P.

D.E.M .R.H. (1973). Carte Hydrogéologique de la région d'Alger au 1/200000, Notice Explicative. *Service hydrogéologie*, 70P

Déverchère J., Yelles K., Domzing A., Mercier De Lépinay B., Bouillin J.-P., Gaullier V., Bracène R., Calais E., Savoye B., Kherroubi A., Le Roy P., Pauc H., Dan G. (2005). Active thrust faulting offshore Boumerdes, Algeria and its relations to the 2003 Mw 6.9 Earthquake. *Geophysical Research Letters*, , VOL. 32, L04311, doi:10.1029/2004GL021646, 5P.

Domzing A. (2006). Déformation active et récente, et structuration tectonosédimentaire de la marge sous-marine algérienne. *Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale*.333P

Fäh D., Kind F., Giardini D.(2003). Inversion of local S-wave velocity structures from average H/V ratios, and their use for the estimation of site-effects. *Journal of Seismology*, 7: P449–467.

Glangeaud L., Ayme A., Caire A., Mataeur M., Muraour P. (1952).Histoire géologique de la province d'Alger. *Publication XIX ème CGI. Alger 1952, Monographie Région, 1^{ère} série Algérie, n° 25*, 142 P.

Guégen 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.

Geomatrix (2006).Analyse probabiliste de l'alea sismique de la wilaya d'Alger.

Guide du domaine Public maritime (2004).Manuel de Gestion, 88P.

Guillier, B., Machane, D., Oubaiche, E., Chatelain, J.-L.,Ait Meziane, Y., Ben Salem, R.,Dunand, F.,Guégen, P., Hadid, M., Hellel, M., Kiboua, A., Laoumi,N., Mezouer, N., Nour, A., Remas, A. (2004).Résultats préliminaire sur les fréquences fondamentales et les amplifications de sols,obtenus par l'étude du bruit de fond, sur la ville de Boumerdes-Algérie. *Mém,Serv, Géol,Alg.n°12,7, pp.103_114,7 fig.*(2004).

Harbi A. (2006). Evaluation de l'Aléa Sismique en Algérie du Nord par la Modélisation de l'Input Sismique dans les Zones Urbaines et l'Etablissement d'un Catalogue. *Thèse de Doctorat, U.S.T.H.B-Alger*, 223P.

Hanga M., Sayad R. (2006). Application de la méthode de fond au glissement de terrain de Telemy- Alger. *Mémoire d'ingénieur-USTHB-Alger*, 62P.

Houraiba H., Zerabib A. (2005). La cartographie géotechnique outil de base dans l'étude de microzonage sismique, *mémoire d'ingénieur -USTHB-Alger*, 88P.

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

Leclaire L. (1972).La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin algero-baléare (précontinent algérien). *Mémoire du muséum national d'histoire naturelle. Nouvelle série C. Science de la terre, Tome XXIV*, 391P.

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. 319P.

Saadi N. (2005) .Etude sismotectonique de la région Est-Algéroise Boumerdes-Zemmouri-Cap Djinet-Bordj Menaël.. *Mémoire d'ingénieur-USTHB-Alger*.130P.

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.

Widmer F., Duvernay B., Fah D., Parriaux A. (2003). Projet pilote de microzonage sismique à Yverdon (VD). *Bull. Géol. Appl., Vol.10, No.10, P20-20*,13P.

Yelles Chaouch A., Boudiaf A., Djellit H., Bracene R. (2006). La tectonique active de la région Nord-algérienne. *C. R. Geoscience 33*, P126–139.

Site Internet

www.geopsy.org

Annexes

Annexe 1 : Tableau des Points enregistrés et leurs fréquences.

X	Y	Nom	Numéro	Fréquence 1	Fréquence 2	Fréquence 3
511518	4065318	03241144.238	1	1,35		
511574	4065598	03241115.237	2	0,48	3,11	
511696	4065755	03241028.236	3	0,45	1,39	
511853	4065598	03241006.235	4	0,52		
511873	4065263	03241148.016	5	0,39	4,88	
511971	4065676	03241108.015	6	0,33	1	
512164	4065609	03221157.001	7	0,47		
512210	4065245	03241214.239	8	0,44	1,3	
512233	4065427	03221310.004	9	0,39		
512247	4065466	03221248.003	10	0,38		
512261	4065549	03221217.002	11	0,36		
512277	4065818	03241638.022	12	0,42	2,27	
512288	4065941	03241637.250	13	0,44	2,23	
512330	4065470	03221433.008	14	0,39		
512350	4065534	03221332.005	15	0,43		
512367	4065578	03221350.006	16	0,53		
512383	4065622	03221408.007	17	0,35	3,6	
512399	4065407	03221621.013	18	0,4		
512400	4065537	03221457.228	19	0,37		
512405	4065447	03221642.014	20	0,4		
512408	4065488	03221451.009	21	0,45		
512417	4065590	03221419.226	22	0,43	3,64	
512434	4065790	03241657.251	23	0,42		
512449	4065390	03221600.012	24	0,44		
512451	4065482	03221512.010	25	0,41		
512454	4065550	03221439.227	26	0,37	3,86	
512455	4065445	03221533.011	27	0,35		
512484	4065427	03221609.232	28	0,56		
512488	4065470	03221550.231	29	0,41		
512491	4065520	03221515.229	30	0,41		
512501	4065566	03221532.230	31	0,37		
512613	4065229	03241245.241	32	0,45		
512627	4065433	03221629.233	33	0,49		
512657	4065502	03221648.234	34	0,4		
512935	4065201	03241239.017	35	0,4	4,6	10,36
513224	4065312	03241306.242	36	0,43	3,78	10,06
513462	4065514	03241430.019	37	0,39		
513589	4065425	03241409.018	38	0,35		
513598	4065691	03241602.249	39	0,35		
513721	4065750	03241539.248	40	0,46		

513784	4065852	03241430.245	41	0,39		
513808	4065693	03241409.244	42	0,41		
513837	4065980	03241450.246	43	0,39		
513871	4065865	03241504.020	44	0,34		
513873	4065777	03241525.021	45	0,41		
513952	4065988	03241510.247	46	0,39		
513972	4065660	03241344.243	47	0,37		

Annexe 2 : Courbes H/V traitées de 0,3 à 30Hz (les Barre montrent seulement les pics de 17 à 20 Hz)

