

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  
DE MASTER EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

**Evaluation des fréquences de résonance  
du sol de la région de Bordj El Behri par la  
méthode H/V-bruit de fond**

Présenté par :

**BOUKHROUF Mohammed**

Soutenu le 20/10 /12 devant le jury suivant :

M <sup>elle</sup> . BOUAZIZ F.	Maître Assistante	(ENSSMAL)	Présidente
Mr. HELLEL M.	Maître de Conférences	(ENSSMAL)	Promoteur
M <sup>me</sup> . MEHDID S.	Maître Assistante	(ENSSMAL)	Examinatrice
Mr. GUERFI M.	Maître de Recherches	(ENSSMAL)	Examineur

Session : Octobre 2012

# Sommaire

Introduction générale.....	2
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.....	7
I.4. Aperçu sismo-tectonique .....	7
Conclusion.....	10
Chapitre II : Caractérisation géologique et géotechnique du site d'étude.....	11
Introduction .....	12
II.1. Géologie de surface du site d'étude.....	12
II.2. Lithologie du sous-sol du site d'étude .....	13
II.2.1. Roches métamorphiques du primaire .....	14
II.2.2. Marnes du Plaisancien .....	14
II.2.3. Formations astiennes.....	13
II.2.4. Formations quaternaires.....	13
II.3. Caractéristiques géotechniques des couches lithologiques du sous-sol .....	16
II.3.1. Le long de la coupe AA' .....	16
II.3.3. Le long de la coupe BB' .....	17
II.4. Caractéristiques géophysiques .....	18
Conclusion.....	18

Chapitre III. Méthode H/V-bruit de fond .....	19
III.1. Généralité sur le bruit de fond et la méthode H/V .....	20
III.2. Acquisition des enregistrements H/V-bruit de fond.....	21
III.3. Traitement des données .....	22
III.3.1. Courbes H/V de la catégorie I (courbes plates).....	25
III.3.2. Courbes H/V de la catégorie II (exhibant un pic en dessous de 2.9 Hz).....	25
III.3.3. Courbes H/V de la catégorie III (exhibant un pic entre 3 et 7.8 Hz).....	26
III.3.4. Courbes H/V de la catégorie IV (exhibant un pic supérieur à 8.9 Hz).....	26
III.3.5. Enregistrements des fréquences des bâtiments.....	26
Conclusion.....	28
Conclusion Générale .....	29
Références bibliographiques .....	31

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> <i>Situation du site d'étude, a : Baie d'Alger, b : zone d'étude.</i> .....	4
<b>Figure 2:</b> <i>Carte géologique d'Alger et ses environs [JICA, 2006].</i> .....	6
<b>Figure 3:</b> <i>La carte des réseaux hydrographiques d'Alger [JICA, 2006].</i> .....	7
<b>Figure 4:</b> <i>Morpho tectonique de l'Atlas Tellien central et les séismes majeurs associés [Meghraoui, 1988].</i> .....	8
<b>Figure 5 :</b> <i>Cadre tectonique de la région d'Alger [Meghraoui, 1988 in Hellel, 2010].</i> .....	9
<b>Figure 6:</b> <i>Classification sismique des wilayas d'Algérie [CGS, 2003]</i> .....	10
<b>Figure 7:</b> <i>Lithostratigraphie du site d'étude, extraite de la carte géologique d'Alger au 1/50000 [JICA, 2006]</i> .....	12
<b>Figure 8:</b> <i>Localisation des sondages carottés, les coupes lithologiques corrélatives, et les enregistrements H/V.</i> .....	13
<b>Figure 9 :</b> <i>Photo montrant des marnes du Plaisancien, (Sc10 sur la coupe AA'), [JICA, 2006]</i> .....	14
<b>Figure 10 :</b> <i>Photo montrant des carottes de l'argile, et de marnes du Plaisancien, (Sc06 sur la coupe AA'), [JICA, 2006]</i> .....	15
<b>Figure 11:</b> <i>Coupes lithologiques corrélatives AA' (N-S), A'B (NE-SW) et BB' (N-S)</i> .....	15
<b>Figure 12:</b> <i>Photo montrant l'appareillage utilisé pour l'enregistrement du bruit de fond.</i> .....	21
<b>Figure 13:</b> <i>Localisation des enregistrements H/V bruit de fond</i> .....	22
<b>Figure 14:</b> <i>Interface du logiciel Geopsy</i> .....	23
<b>Figure 15:</b> <i>Localisation spatiale des fréquences.</i> .....	24
<b>Figure 16:</b> <i>Courbe H/V plate</i> .....	25

<b>Figure 17:</b> <i>Courbe exhibant un pic H/V en dessous de 2.9 Hertz</i> .....	25
<b>Figure 18:</b> <i>Courbes exhibant un pic entre 3 et 7.9 Hertz</i> .....	26
<b>Figure 19:</b> <i>Courbe exhibant un pic supérieur à 8.9 Hertz</i> .....	27
<b>Figure 20:</b> <i>Endroits à risque de résonance sol/bâtiments sur fond d'une image satellitaire Google Earth [2009]</i> .....	28

### Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> <i>Paramètres d'identifications du sous-sol de la coupe AA', L.N.H.C (Laboratoire National d'Habitat et de Construction- Alger), (2005-2010) ; JICA, (2006).</i> .....	16
<b>Tableau 2:</b> <i>Paramètres d'identifications du sous-sol de la coupe BB', L.N.H.C (Laboratoire National d'Habitat et de Construction- Alger), (2005-2010); JICA, (2006)</i> .....	17
<b>Tableau 3:</b> <i>Vitesses des ondes sismiques et épaisseur des couches.</i> .....	18
<b>Tableau 4:</b> <i>Fréquence de résonances des bâtiments</i> .....	27

# *Introduction générale*

L'Algérie du Nord est caractérisée par une sismicité qui est causée par l'affrontement des plaques africaine et eurasiatique. Cette sismicité se matérialise généralement par des séismes modérés à faibles, quoique parfois des séismes violents puissent se produire. Ces séismes ont généré, bien souvent, des catastrophes à savoir les séismes d'El Asnam du 10/10/1980, et de Boumerdes du 21/05/2003 [*Hamoud Beldjoudi* 2011].

Lors de la propagation des vibrations dans la terre, elles subissent différentes modifications en fonction des milieux traversés. Des phénomènes de résonance dans les couches superficielles peuvent amplifier le signal sismique à une fréquence ( $F_0$ ) propre au site. Ces phénomènes d'amplification s'accompagnent très souvent d'un allongement de la phase forte du signal, qui accentue la fatigue des matériaux et peut conduire au dépassement de seuils limites de résistance. Les dommages sont d'autant plus aggravés que la fréquence propre des bâtiments s'approche de celle du sol. Nombre des séismes dévastateurs récents ont ainsi vu leurs conséquences alourdies par les effets de site (séismes de Mexico en 1985, Turquie en 1999, Algérie en 2003...etc.) [*Anne-Marie Duval* 2007].

La prédiction des séismes n'étant pas possible actuellement, seule la prévention peut réduire les pertes éventuelles. Il faut donc évaluer dans chaque région le risque qu'un séisme destructeur peut se produire pour protéger efficacement ces régions, notamment par des constructions adaptées [*Aiham Saad* 2006].

Les effets de site sont des phénomènes vibratoires spécifiques qui se développent en présence de formations géologiques de caractéristiques mécaniques différentes ou de perturbations géométriques de la surface libre. 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 (Bordj El Behri) sont utilisées dans le but d'identifier les fréquences du sol et leurs réponses. A cet effet, nous avons réalisé, 30 enregistrements H/V-bruit de fond. Les fréquences de résonances du sol obtenues sont ensuite comparées à celles des 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.

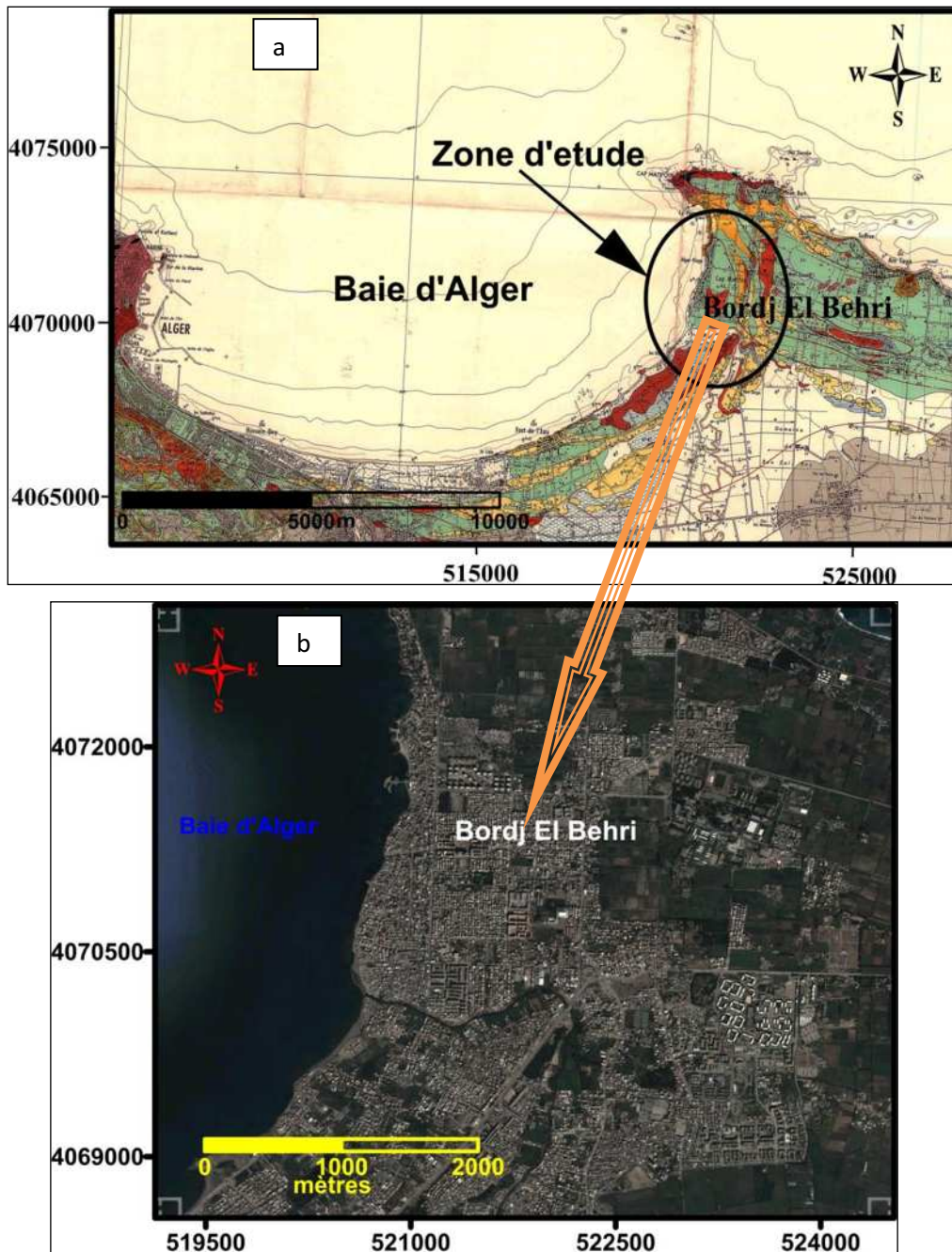
# *Chapitre I : Généralités*

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

La Commune de Bordj El Behri est située dans la partie Est de la baie d'Alger (figure 1). Elle est limitée :

- au Nord et à l'Ouest par la mer Méditerranée ;
- à l'Est par Aïn Taya;
- au Sud par Bordj El Kiffan et Dergana.

Les coordonnées du site sont : X : 519577.64 à 523059.67 ; Y : 4068930.73 à 4072634.61.



**Figure 1:** Situation du site d'étude.

- (a) : Baie d'Alger (extrait de la carte topographique d'Alger au 1/50000);  
(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 01 à 20 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 (figure 2) [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 à 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 04 mètres [Hamga et Sayad, 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 [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 [Djediat, 1996 in JICA 2006].

## CHAPITRE I : Généralités

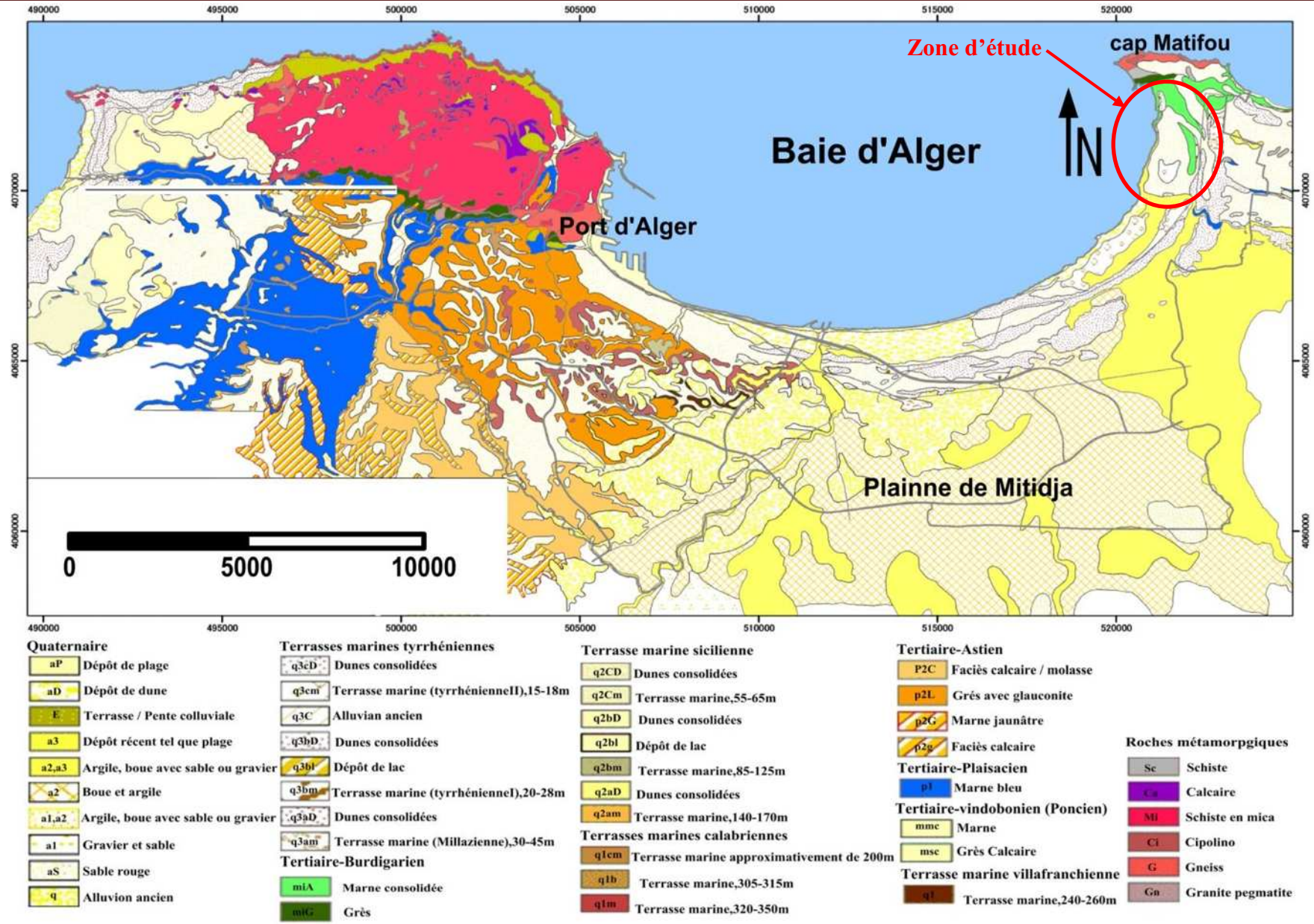


Figure 2: Carte géologique d'Alger et ses environs [JICA, 2006].

### 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).

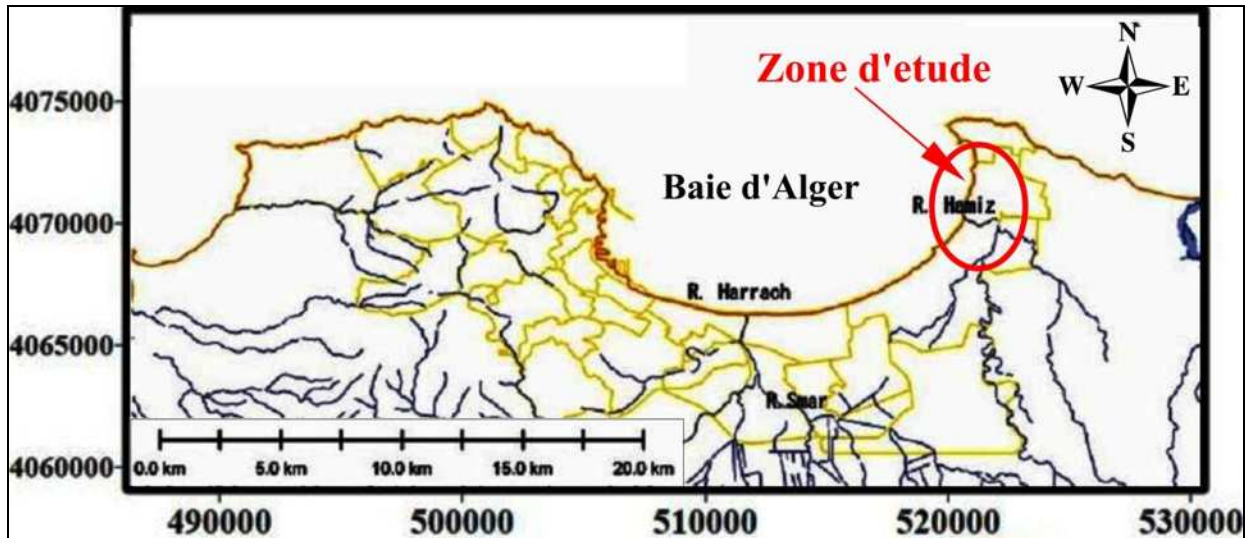


Figure 3: La carte du réseau hydrographique d'Alger [JICA, 2006].

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, et la deuxième est la couche tyrrhénienne.

### I.4. Aperçu sismo-tectonique

L'Algérie du Nord est caractérisée par une sismicité qui est causée par l'affrontement des plaques Africaine et Eurasienne (figure 4). 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 y a parfois des séismes violents se produisant, 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].

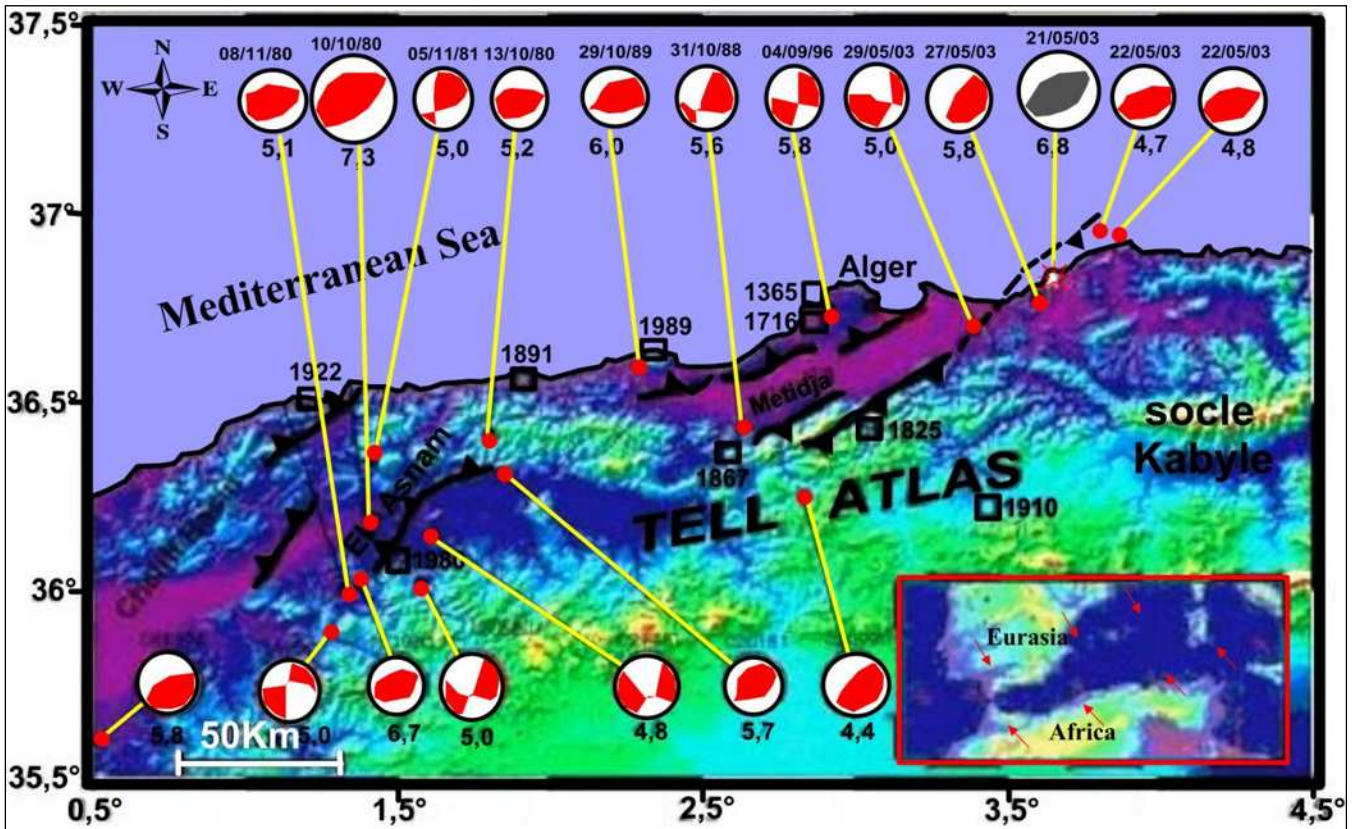


Figure 4 : Morpho tectonique de l'Atlas Tellien central et les séismes majeurs associés [Meghraoui, 1988].

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].

**Les principales failles actives dans l'Algérois sont**

**-La faille de Tipaza :** Constitue la limite entre la morphostructure de surrection de Chenoua et le bassin de subsidence de la Mitidja. Cette faille à une orientation Nord-Est.

**-La faille du Sahel :** C'est une faille inverse à pendage Nord affecte toute la partie Nord de la Mitidja, sa longueur est d'environ 63 km depuis le Mont Chenoua jusqu'à la baie d'Alger [Géomatix, 2006], qui se prolonge probablement en mer.



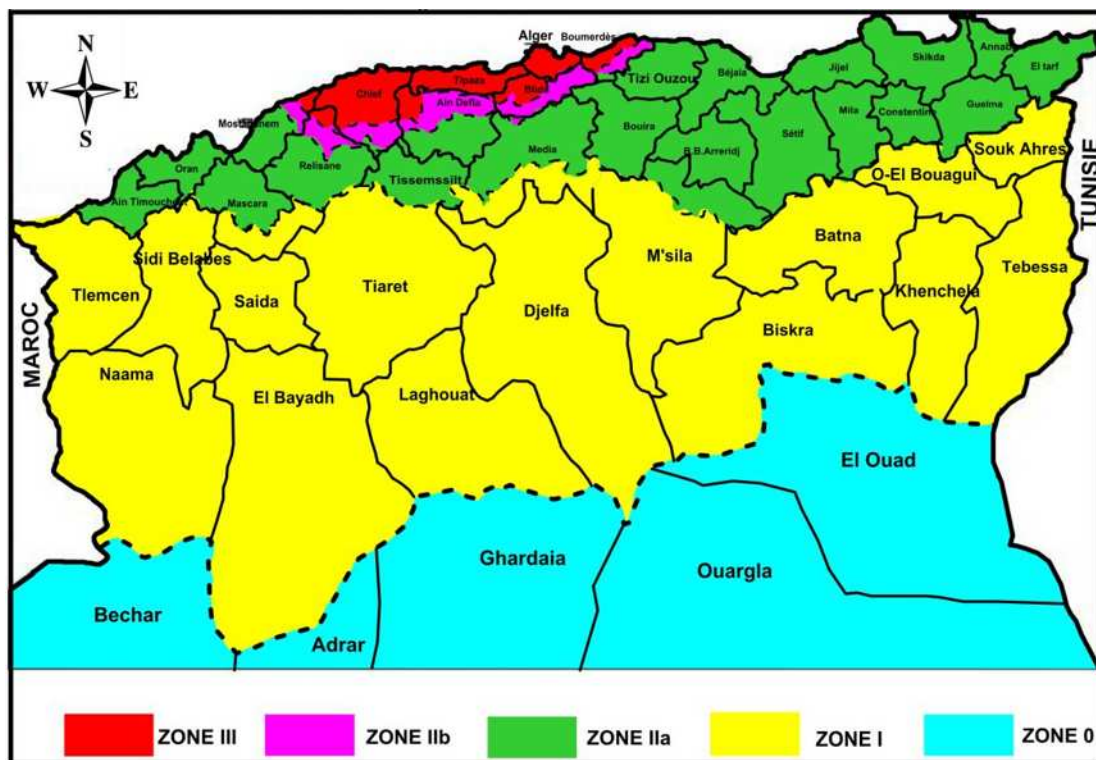
## CHAPITRE I : Généralités

Le territoire national est divisé en cinq (05) zones de sismicité croissante (figure 6) qui sont : **Zone 0** : sismicité négligeable, **Zone I** : sismicité faible, **Zones IIa** et **IIb** : sismicité moyenne, et la **Zone III** : sismicité élevée.

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 la zone III (forte sismicité) [CGS, 2003].



**Figure 6:** 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 dans la zone III, de forte 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 de la Wilaya d'Alger (JICA, 2006), notre zone d'étude est recouverte par des terrains (figure 7), à savoir :

- Marne consolidée et marne bleu (MiA, p1)
- Schiste (Sc) au Nord-Est
- Terrasses marines tyrrhéniennes (q3cD, q3cm)
- Dunes actuelles (aD)
- Dunes consolidées (q3cD)
- Dépôt de plage (aP)
- Dépôt récent tel que plage (a3)
- Sable rouge (aS)

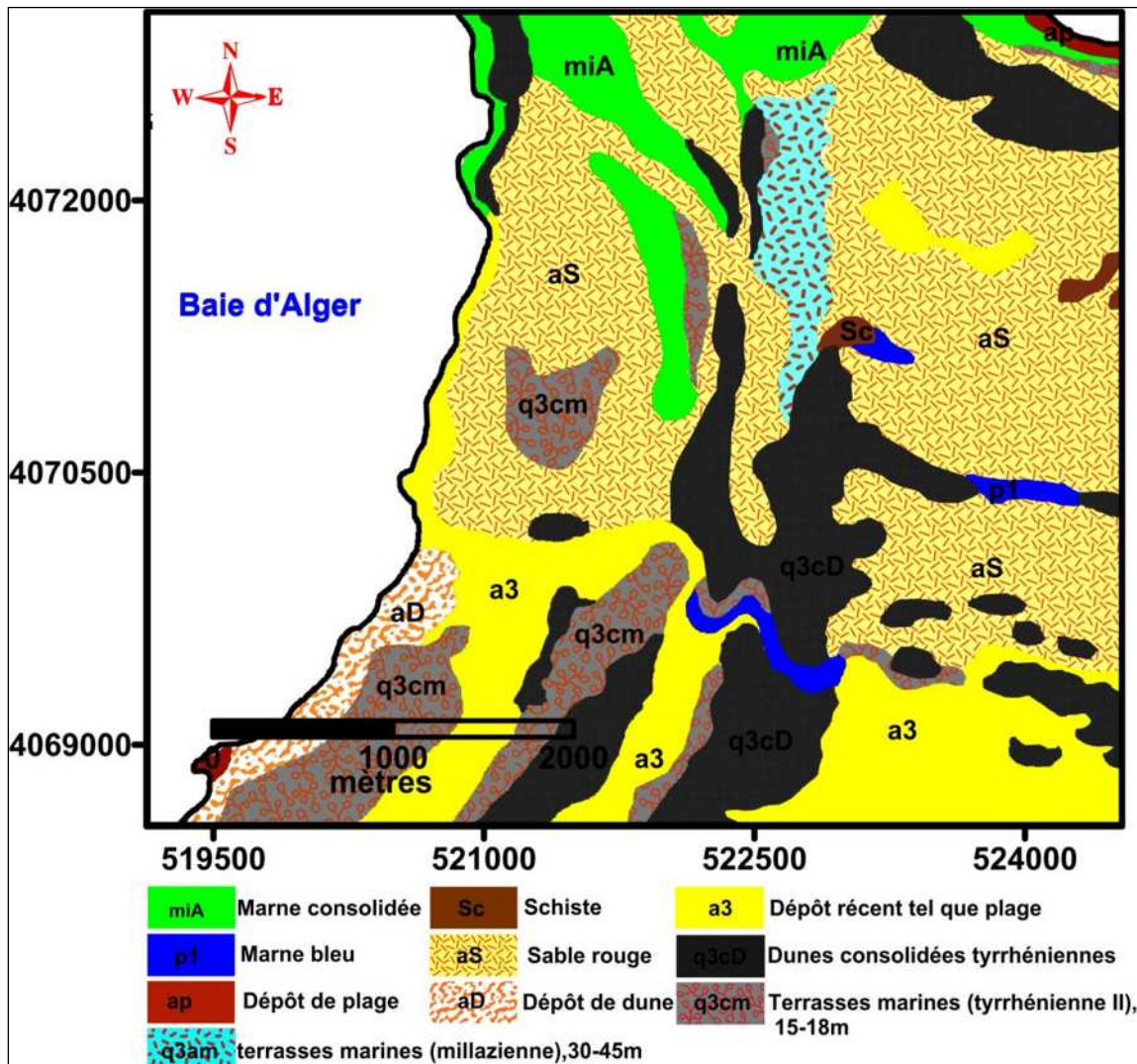
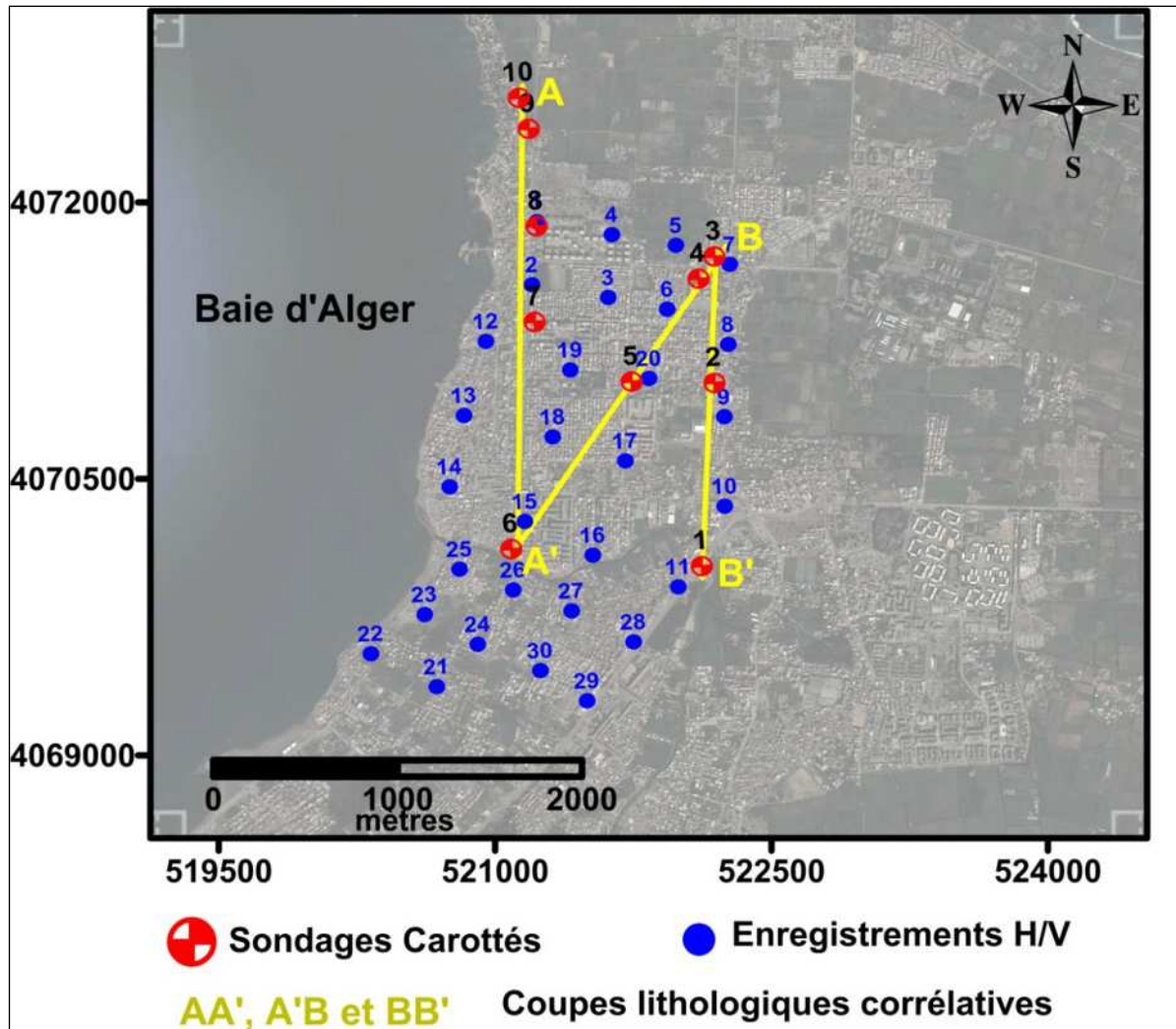


Figure 7: Lithostratigraphie du site d'étude, extraite de la carte géologique d'Alger au 1/50000. [JICA, 2006].

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

A partir des sondages carottés (figure 8) et en utilisant les résultats des essais pénétrométriques et pressiométriques réalisés dans le cadre de plusieurs projets par (le L.N.H.C Oued Smar, L.N.H.C Rouïba et le rapport JICA, 2006), on a pu tracer trois coupes lithologiques à partir desquelles on a déduit les unités lithologiques principales qui constituent le sous-sol de notre secteur d'étude.



**Figure 8:** Localisation des sondages carottés, des coupes et des enregistrements H/V sur fond d'une image satellitaire Google Earth [2009].

### II.2.1. Roches métamorphiques du primaire

Schistes grisâtres dans la partie Nord-Est de la zone d'étude d'épaisseur 2.60 m, elles se trouvent à 3 m de profondeur, (coupe A'B) (figure 11).

### II.2.2. Marnes du Plaisancien

Cette formation constitue le substratum marneux d'une couleur bleu, ou de gris verdâtre à beige grisâtre. Elle est assez compacte en profondeur où elle constitue un socle solide (Sc06).

## ***CHAPITRE II : Caractérisation géologique et géotechnique du site d'étude***

Dans quelques stations ces marnes se trouvent également dans les premiers mètres de profondeur sondages (Sc07), (Sc09), et (Sc10) (figure 11).



**Figure 9 :** *Photo montrant des marnes du Plaisancien, (Sc10 sur la coupe AA') [JICA, 2006].*

### **II.2.3. Formations astiennes**

- Du sable comprenant la tourbe de brique, rencontré dans les coupes AA', et A'B au droit de sondage (Sc06), d'une épaisseur variant entre 02 à 03 mètres.
- Des grès beiges d'une épaisseur de 02 à 04 mètre au droit des sondages (Sc03, et Sc04), dans les coupes A'B, et BB' (figure 11).

### **II.2.4. Formations quaternaires**

Représentées par deux formations principales :

- Le remblai, constitué presque toute la couche superficielle, et le sable grésifié, rencontré dans les coupes AA', et A'B (figure 11).
- Les argiles, le long des trois coupes, d'une épaisseur de 02 à 05 m, allant jusqu'à 24 m dans le sondage (Sc06) (figure 11).



**Figure 10 :** *Photo montrant des carottes de l'argile, et de marnes du Plaisancien, (Sc06 sur la coupe AA') [JICA, 2006].*

La nappe d'eau a été détectée vers 01 mètre de profondeur au Sud-Ouest (Sc06), et vers 09 mètres au Nord (Sc10).

***Figure 11 : Coupes lithologiques corrélatives AA'(N-S), A'B (SW-NE) et BB'(N-S). (Voir figure sous format A3).***

## CHAPITRE II : Caractérisation géologique et géotechnique du site d'étude

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

Les différentes couches lithologiques ont été regroupées en trois unités :

- Unité des grès et sable,
- Unité des argiles,
- Unité des marnes.

Les paramètres géotechniques du sol ont été tirés des rapports d'études de sol réalisées dans la zone d'étude. Les données récoltées ne concernent, malheureusement, que les deux premières unités.

#### II.3.1. Le long de la coupe AA'

**Tableau 1:** Paramètres d'identification du sous-sol le long de la coupe AA' (figure 11)  
[L.N.H.C, 2000 à 2011; JICA, 2006].

	Sc	Profondeur (m)	Densité Humide			Limites d'Atterberg			Analyse granulométrique
			$\gamma_h/cm^2$	W %	Sr %	WL	WP	IP	% $\leq 80\mu$
Coupe A A'	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	09	1.5-1.8	2.50	25	98	50	23	27	91
		5.5-5.7	1.99	24	95	52	24	28	-
		9.5-9.8	2.01	20	85	48	22	26	95
	08	2.8-3.0	2.03	19	88	48.8	22.4	26.4	98
		6.5-6.8	1.98	-	86	40.8	19	21.8	95
		9.2-9.7	2.04	21	91	46.5	21.32	25.2	91.5
	07	1.2-2.3	1.97	28.78	100	38	21	17	91.23
		4.0-4.5	2.10	22.26	100	53	28	25	95.12
		7.0-7.5	2.12	22.29	100	52	27	25	92.55
	06	1.0-1.4	4.285	20.50	-	45	20	25	82.04
		4.5-5.2	4.242	21	-	38	21	17	99.6
		9.5-10.3	6.942	22	-	32	22.4	9.6	99.76
		15-15.3	5.524	24.50	-	43	25	18	99.24
		24.5-25	6.7	27.30	-	42	27	15	87.56
	29.8-30.3	3.623	27	-	57	27	30	99.6	

#### II.3.1.1. Paramètres d'identification

La granulométrie révèle un sol fin (plus de 80 % de fractions fines) avec des argiles, la teneur en eau naturelle  $w$  varie de 19 à 28.78 %, le degré de saturation  $S_r$  est en moyenne de 93 %, et la masse volumique humide  $\gamma_h$  varie entre 1.97 et 6.94 g/cm<sup>2</sup>, indiquant un sol moyennement dense. Les limites d'Atterberg révèlent un sol de moyenne plasticité dans l'ensemble.

## CHAPITRE II : Caractérisation géologique et géotechnique du site d'étude

### II.3.1.2. Caractéristiques mécaniques

Les valeurs obtenues montrent que le terrain accuse un caractère gonflant, et moyennement à assez compressible ayant un indice de compression **Cc** qui varie entre 15.99 et 21.62 %, un coefficient de compressibilité **Ct** qui varie entre 17.6 et 18.6 %, et un coefficient de gonflement **Cg** qui varie entre 8.4 et 10.9 %. L'essai au cisaillement consolidé non drainé (CU) a révélé un angle de frottement  $\phi$  qui varie entre 14 et 28° et une cohésion **C** comprise entre 0.56 et 0.73 bars.

### II.3.1.3. Essais in situ

Les essais au pénétromètre dynamique révèlent, dans l'ensemble, des valeurs de résistance à la pointe **Rp** moyennes à bonnes, avec un minimum oscillant autour de 30 bars dans les 03 premiers mètres, au-delà de cette profondeur, la résistance s'améliore progressivement et dépasse les 50 bars, et parfois atteint 100 bars ; l'horizon dur matérialisé par l'enregistrement des refus se localise entre 05 à 07 mètres de profondeur.

### II.3.2. Le long de la coupe BB'

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

Coupe BB'	Sc	Profondeur (m)	Densité Humide			Limites d'Atterberg			Analyse granulométrique
			$\gamma_{hg}/cm^2$	w	Sr %	WL	WP	IP	% $\leq 80\mu$
03		5.5-5.8	1.93	29.5	98	68	29	39	98.5
		6.45-6.85	1.97	28.3	100	60	27	33	97.5
		8.6-9.0	-	-	-	-	-	-	98
		9.3-9.8	1.96	29.6	100	64	27	37	99.5
02		-	-	-	-	-	-	-	
01		4.0-4.5	1.6	27.5	99	63	26.5	36.5	99

#### II.3.2.1. Paramètres d'identification

L'analyse granulométrique révèle un sol très fin, (la fraction fine est souvent supérieure à 97%). Il est également peu dense dans sa majorité. Les limites d'Atterberg caractérisent un sol très plastique avec un indice de consistance **Ic** compris entre 0 et 01.

#### II.3.2.2. Caractéristiques mécaniques de laboratoire

Les essais de compressibilité à l'oedomètre montrent un sol moyennement compressible et gonflant (avec **Cc** moyenne de 15%, **Cg** moyenne 07%, et **Pc** moyenne 2.875 bars). Les résultats des essais de cisaillement révèlent un sol mou à moyennement résistant (**C** autour de 0.55 bars, et  $\phi = 16^\circ$ ).

#### II.3.2.3. Caractéristiques mécaniques in situ

Le sol se caractérise par une bonne résistance à la pointe **Rp** où le refus a été observé à partir de 01 mètre de profondeur.

## CHAPITRE II : Caractérisation géologique et géotechnique du site d'étude

La pression limite **PI** varie de 6.30 à 16.29 bars, le module de déformation **E** varie de 92.73 à 276.06 bars, et le rapport pressiométrique **E/PI** est en moyenne 20.5 bars, ceci révèle un sol de bonne compacité.

### II.4. Caractéristiques géophysiques

Les vitesses des ondes sismiques dans le sol ont été obtenues à partir d'un down-hole réalisés par L.N.H.C de Rouïba (tableau 3).

La méthode down-hole consiste à mesurer les vitesses des ondes de compression **Vp** et des ondes de cisaillement **Vs** d'une unité géologique entre la surface du sol et la position du capteur dans le sondage. Cette technique permet aussi la détermination des caractéristiques géodynamiques du terrain.

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

Profondeur(m)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
<b>Vp (m/s)</b>	330	1550	1550	1550	1110	1110	1110	1350	1350	1350
<b>Vs (m/s)</b>	100	600	600	600	400	400	400	480	480	480

La prospection géophysique par essais down-hole révèle que les sables grésifiés et les grés accusent des vitesses des ondes de cisaillement de l'ordre de 600m/s, alors que les argiles marneuses et les marnes sont caractérisées par des vitesses des ondes de cisaillement de l'ordre de 400 à 480m/s dans la partie Nord-Est de la zone, malheureusement ce down-hole est le seul essai réalisé dans la zone d'étude. Et pour classé le site en utilisant la relation suivante:

$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n v_{si}} \quad \begin{array}{l} V_{si} : \text{Vitesse d'onde de cisaillement a travers la couche } Ni. \\ h_i : \text{l'épaisseur de la couche } Ni. \end{array}$$

La vitesse calculé est de l'ordre de 348m/s. le site peut être classée en site meuble (RPA99).

### Conclusion

L'analyse des coupes de sondages carottés et des propriétés géotechnique des sols indique que le sous-sol de la zone d'étude est constitué dans l'ensemble d'une petite partie du sable fin (quaternaire) qui repose sur une épaisse couche d'argile, d'une compacité moyenne à bonne, le tous reposent sur une assise marneuse d'âge Plaisancien. En surface, un remblai d'épaisseur variable (01 à 04 mètres) recouvre systématiquement la formation argileuse.

Les valeurs des tassements pour des fondations superficielles de type semelles carrées et filantes de 02m de largeur, ancrées à 1.5m et chargées à 02bars sont variées respectivement entre 0.80 et 0.85 Cm, et 0.55 et 0.58 Cm, sont admissibles dans les limites fixées au travail du sol.

***CHPITRE III :***  
***Méthode HV-bruit de Fond***

### **CHAPITRE III : Méthode H/V-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 (méthode site référence) [Duval, 1994 in Saad, 2006]. Les méthodes basées sur le bruit de fond, et notamment la méthode H/V, utilisent les propriétés du bruit non entretenu pour estimer les fréquences de résonance du sol (effet de site 1D). Cette méthode a l'avantage d'être simple, rapide et peu coûteuse.

Cette technique a été proposée pour la première fois au Japon par Nogoshi et Igarashi (1970 et 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 [Saad, 2006].

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 C.G.S (Centre National de Recherche Appliquée en Génie parasismique, Alger) et le L.G.I.T (Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique).

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

Le bruit de fond correspond aux vibrations ambiantes, imperceptibles et permanentes dans le sol, qui est d'origine naturelle (marées, vagues, vent, pluie...), et anthropique (activités des usines, trafic routier...).

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 longues périodes comprennent des ondes de Rayleigh et de Love, tandis que les fréquences supérieures soient en grande partie composées d'ondes de volume [Aki et Richards, 1980 in Saad, 2006].

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

La méthode H/V, basée sur l'enregistrement du bruit de fond ambiant pendant (15 mn) sur plusieurs points d'un site, consiste à obtenir une estimation de la fréquence de résonance  $f_0$ , appelée aussi fréquence propre ou fondamentale du site en effectuant le rapport des amplitudes spectrales des composantes horizontales  $\mathbf{H}$  du bruit sur celle de la composante verticale  $\mathbf{V}$ .

Dans le cas d'une couche sédimentaire reposant sur un substratum (bicouche), et lorsque le contraste d'impédance est suffisamment fort [Bonney-Claudet, 2004], le rapport spectral

## CHPITRE III: Méthode HV- Bruit de Fond

H/V exhibe un pic, centré sur la fréquence de résonance  $f_0$  de la couche sédimentaire. Dans le cas contraire (contraste d'impédance trop faible), le pic se développe peu (en amplitude) voire pas du tout.

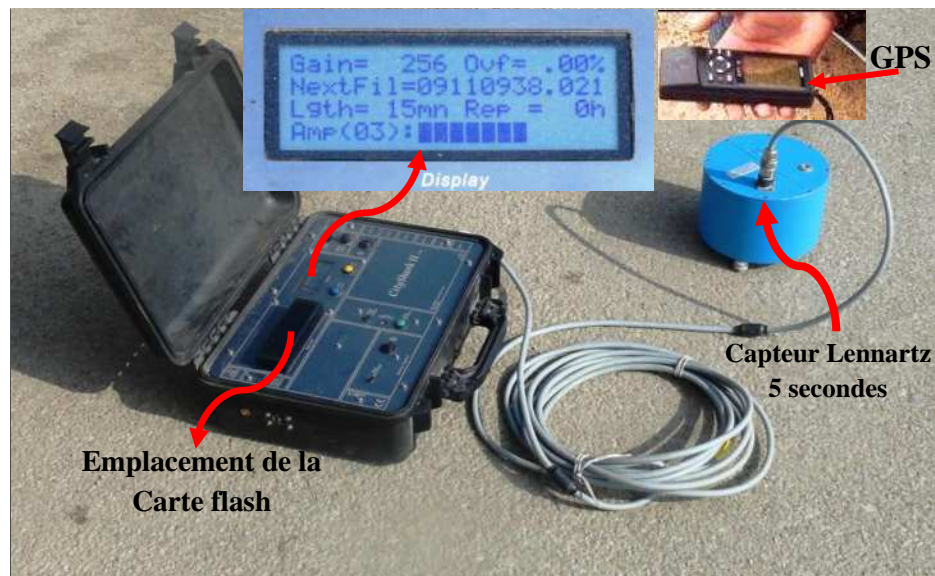
Dans un milieu 1D, exemple de notre zone, la fréquence de résonance  $f_0$  de la couche de sédiments est liée à la vitesse des ondes de cisaillement  $V_s$  et l'épaisseur  $H$  de cette couche par la relation :

$$f_0 = v_s / 4H$$

### III.2. Acquisition des enregistrements H/V-bruit de fond

L'enregistrement du bruit de fond a été réalisé avec une station City-Shark II et un capteur Lennartz-5 secondes, à trois composantes (Figure 12). Pour les conditions d'enregistrement, nous avons suivis les recommandations du projet européen SESAME (Site Effect Susing Ambient Excitations) [2004], à savoir de bonnes conditions météorologiques, un bon couplage capteur /sol dont l'orientation du capteur est vers le Nord, un gain réglé pour assurer un bon compromis entre la résolution et la limitation de la saturation des enregistrements.

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

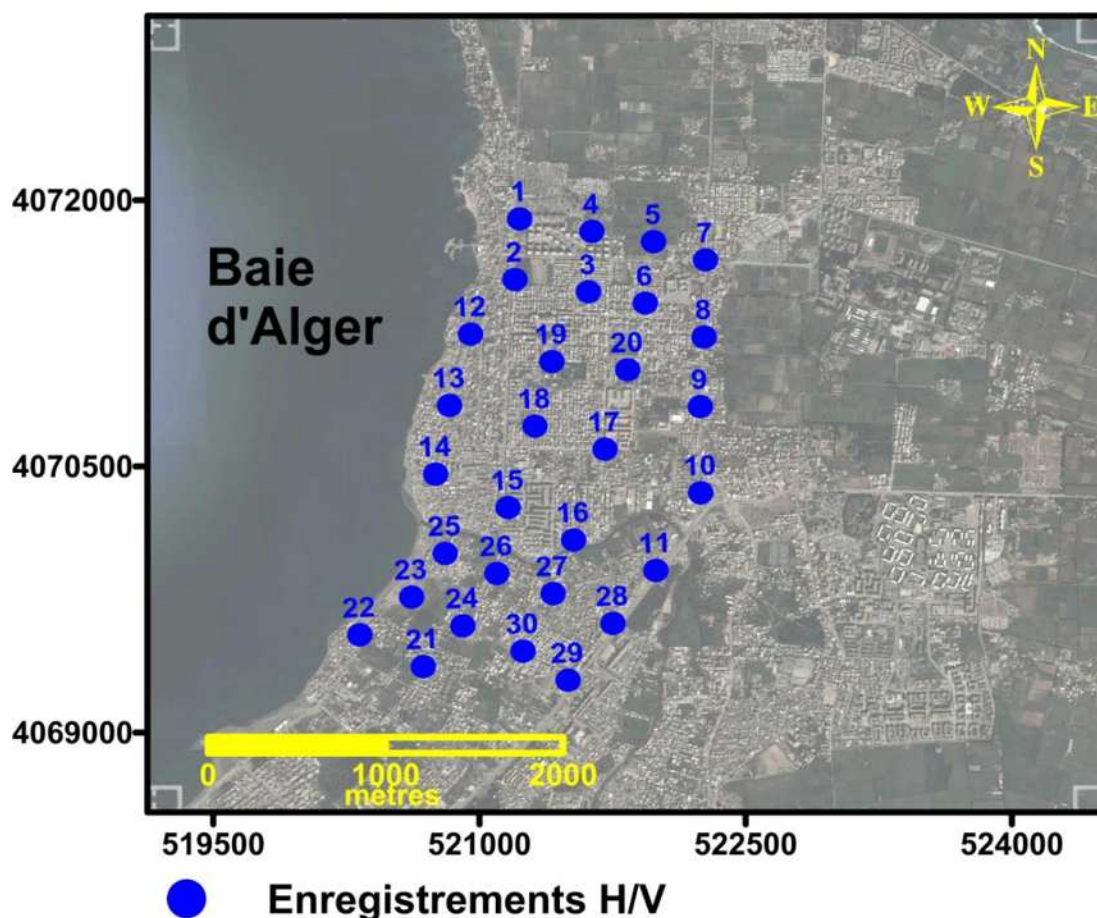


**Figure 12:** Photo montrant l'appareillage utilisé pour l'enregistrement du bruit de fond.

Nous avons effectué 30 enregistrements H/V-bruit de fond avec un maillage allant de 200 à 300 mètres en moyenne (figure13).

Par ailleurs, j'ai utilisé les enregistrements des fréquences de quelques bâtiments (qui sont à titre indicatifs), réalisé par une autre étude durant la préparation de mon PFE sur le site voisin (Bordj El Kiffan) afin de les comparées à celles du sol. L'enregistrement de ces fréquences a procédé de la même manière pendant une durée de 30 minutes,

et pour chaque enregistrement en prenant le soin de noter le nombre d'étages, la forme du bâtiment ainsi que les coordonnées géographiques [Boukhrouf et Cherifi, 2012].



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

### III.3. Traitement des données

Les courbes H/V ont été calculées à l'aide du logiciel Geopsy [[www.geopsy.org](http://www.geopsy.org)]. Ce logiciel (figure 14) a été développé dans le cadre du projet européen SESAME [2004]. L'algorithme de calcul du rapport spectral H/V est le suivant :

- 1) sélection des fenêtres de temps stationnaires, de durée au moins égale à 10 fois la période minimale que l'on souhaite analyser.
- 2) calcul sur chaque fenêtre de temps  $n$ , les spectres de Fourier des signaux enregistrés sur les trois composantes (deux horizontales H1 et H2, et une verticale V).
- 3) lissage des spectres avec la procédure de fenêtre glissante à largeur adaptée à la fréquence d'analyse.

## *CHPITRE III: Méthode HV- Bruit de Fond*

4) calcul de la moyenne quadratique des spectres horizontaux lissés  $SH(N_i)$  (composantes Nord-Sud et Est-Ouest) pour chaque fenêtre :

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

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

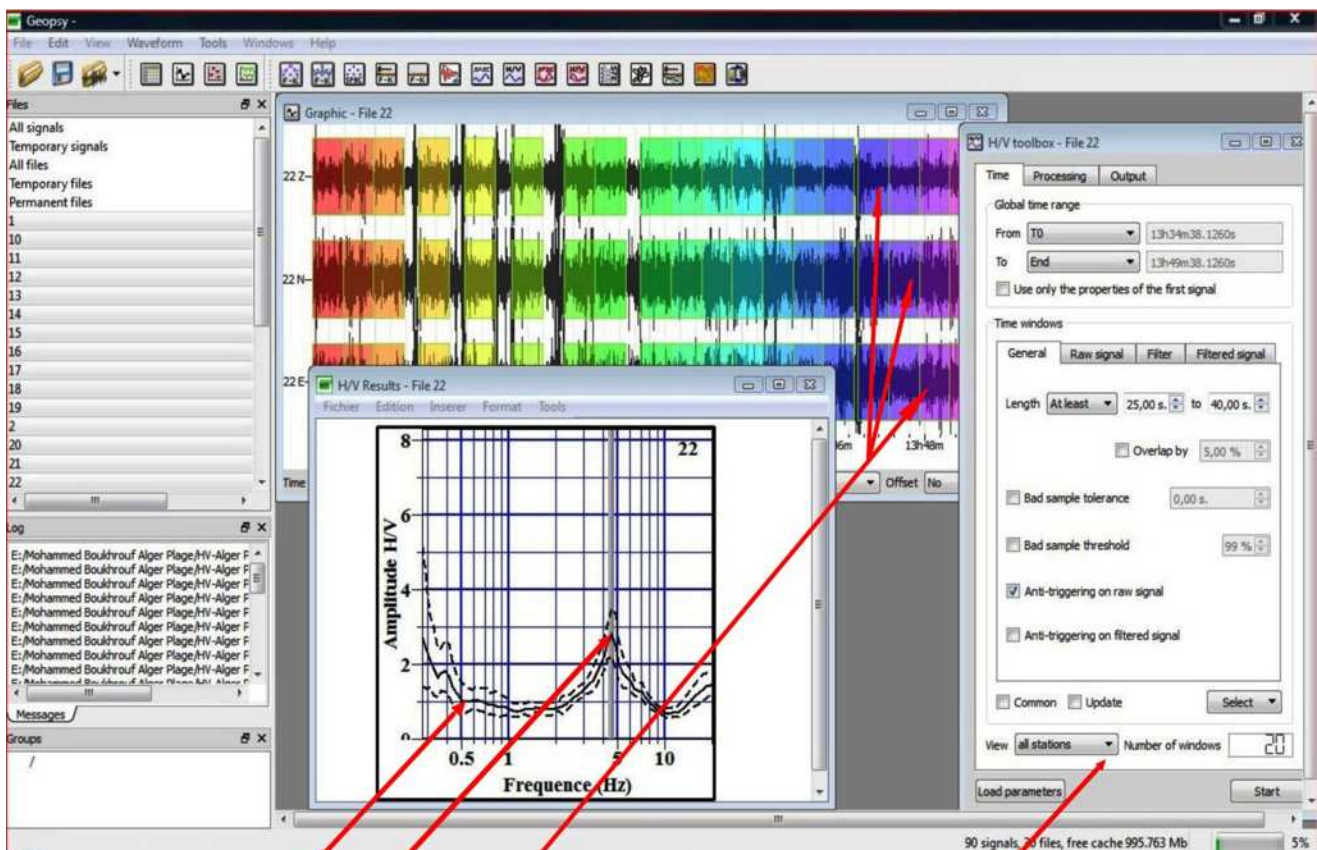
$$H/V(N_i) = \left( \frac{Sh(N_i)}{Sv(N_i)} \right)$$

6) calcul de la moyenne géométrique du rapport spectral  $H/V$  sur toutes les fenêtres :

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

7) L'écart-type sur l'amplitude de la courbe  $H/V$ , ainsi que sur la fréquence propre est calculé par la même occasion.

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



**Courbe H/V   Pic H/V   Signal des trois composantes   Fenêtre de dialogue**

**Figure 14: Interface du logiciel Geopsy.**

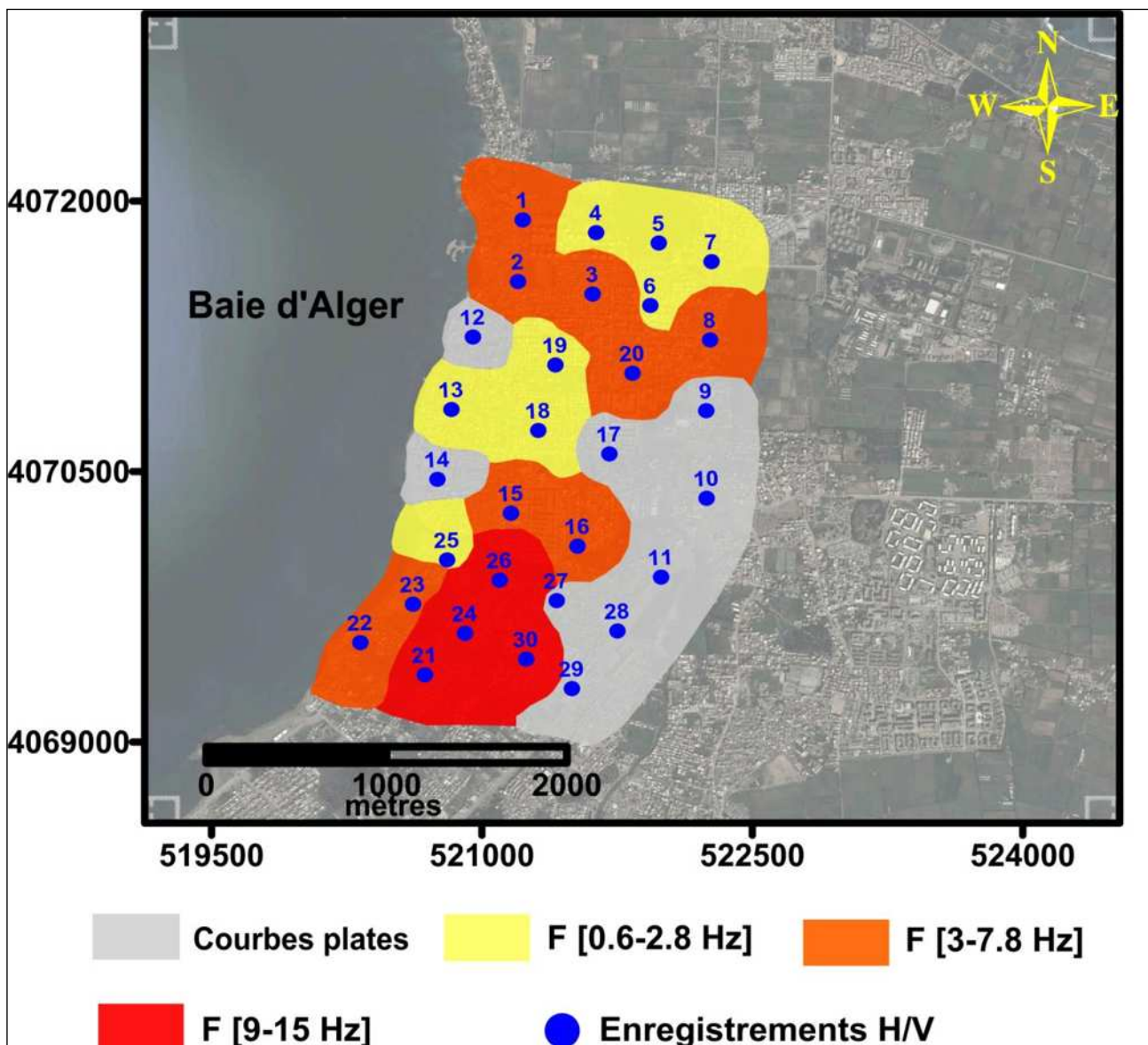
### III.4. Résultats et interprétation

En général, la fréquence de résonance d'un site est définie comme étant la fréquence donnée par le premier pic sur le spectre H/V.

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 **IV** catégories de courbes suivant leurs fréquences ( $F_0$ ) (figure 15):



**Figure15:** Localisation spatiale des fréquences sur fond d'une image satellitaire Google Earth [2009].

### III.4.1. Courbes H/V de la catégorie I (figure 16)

Ces courbes plates où n'exhibant pas de pic clair elles représentent 30 % de l'ensemble des courbes H/V. Ces courbes signifient qu'il n'existe pas de contraste de vitesse des ondes de cisaillement importantes entre les sédiments et le substratum. Par ailleurs, l'allure de ces courbes indique que les différentes couches sédimentaires sont compactes.

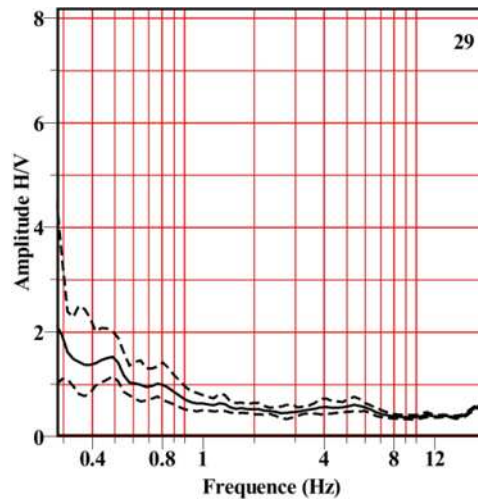


Figure 16: Courbe H/V plate.

### III.4.2. Courbes H/V de la catégorie II (figure 17)

Les courbes montrent des pics à basse fréquence (entre 0.6 et 2.9 Hz) peu clairs qui peuvent correspondre à des zones de faibles caractéristiques mécaniques et/ou à la présence d'un recouvrement meuble, (la présence de grès et d'argiles essentiellement), ce qui est confirmé par les caractéristiques géotechniques, sur la coupe (A'B) (figure 11).

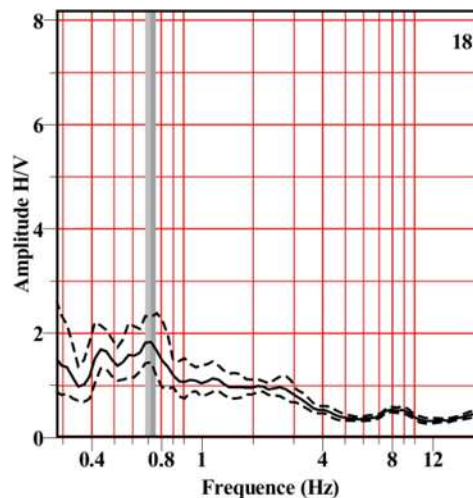


Figure 17: Courbes exhibant un pic H/V en dessous de 2.9 Hz.

### III.4.3. Courbes H/V de la catégorie III (figure 18)

Ces courbes montrent des pics de moyennes fréquences, représentent elles aussi 30 % de l'ensemble. 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 290 m/s, En utilisant la relation  $f_0 = Vs/4H$ , l'épaisseur  $H$  trouvée varie de 13 à 22 mètres correspondant à l'épaisseur des couches de remblai, grés, et argile reposant sur une couche de marne.

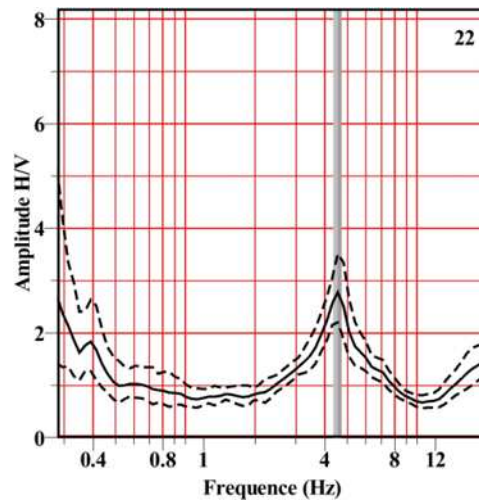


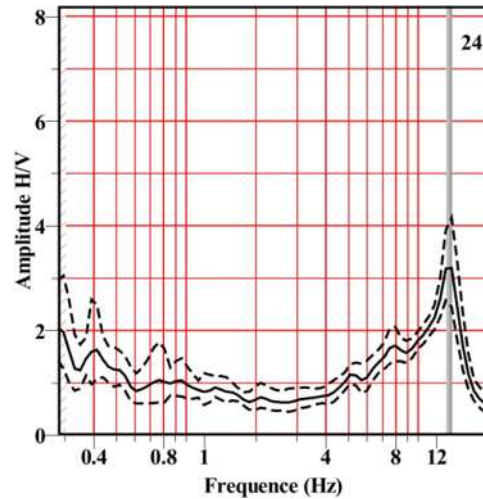
Figure 18: Courbes exhibant un pic entre 3 et 7.9 Hz.

### III.4.4 Courbes H/V de la catégorie IV (figure 19)

Les courbes H/V montrent des pics dans la gamme des moyennes et hautes fréquences (supérieur à 8.9 Hz), et dont les amplitudes des pics qui varient de 1.5 à 04, ces amplitudes peut s'expliquer, localement, par un fort contraste d'impédance entre les marnes et le recouvrement (remblai, sable fin, et argile).

La sismique réfraction a donné des vitesses de cisaillement  $V_s$  entre 290-330 m/s dans le remblai (terre végétative et grés), et de 400-480 m/s dans les argiles (L.N.H.C 2004).

En prenant  $f_0=10$ Hz (St 21), le résultat obtenu révèle une épaisseur moyenne de 11 mètres pour la colonne sédimentaire (sable et remblai), en utilisant une vitesse pondérée de 440m/s.



**Figure 19:** *Courbe exhibant un pic supérieur à 8.9 Hz.*

#### **III.4.5. Enregistrements des fréquences des bâtiments**

Les résultats de traitement des enregistrements des fréquences dans les bâtiments en calculant l'énergie spectrale, ont donné une gamme de fréquence, de 4.4 à 7.5 Hz qui est inclus dans la catégorie III des courbes H/V, ce qui risque fortement d'entrer en résonance avec les fréquences du sol notamment dans la partie Nord et Sud-Ouest de la zone d'étude (figure 20).

Tableau 4: *Fréquence de résonance des bâtiments*

N°	X	Y	étages	F <sub>0</sub>
1	521302	4069295	3	<b>7.5</b>
2	520687	4069310	2	<b>6</b>
3	519720	4068731	3	<b>5.8</b>
4	517847	4066167	4	<b>4.4</b>
5	518000	4066851	4	<b>6</b>

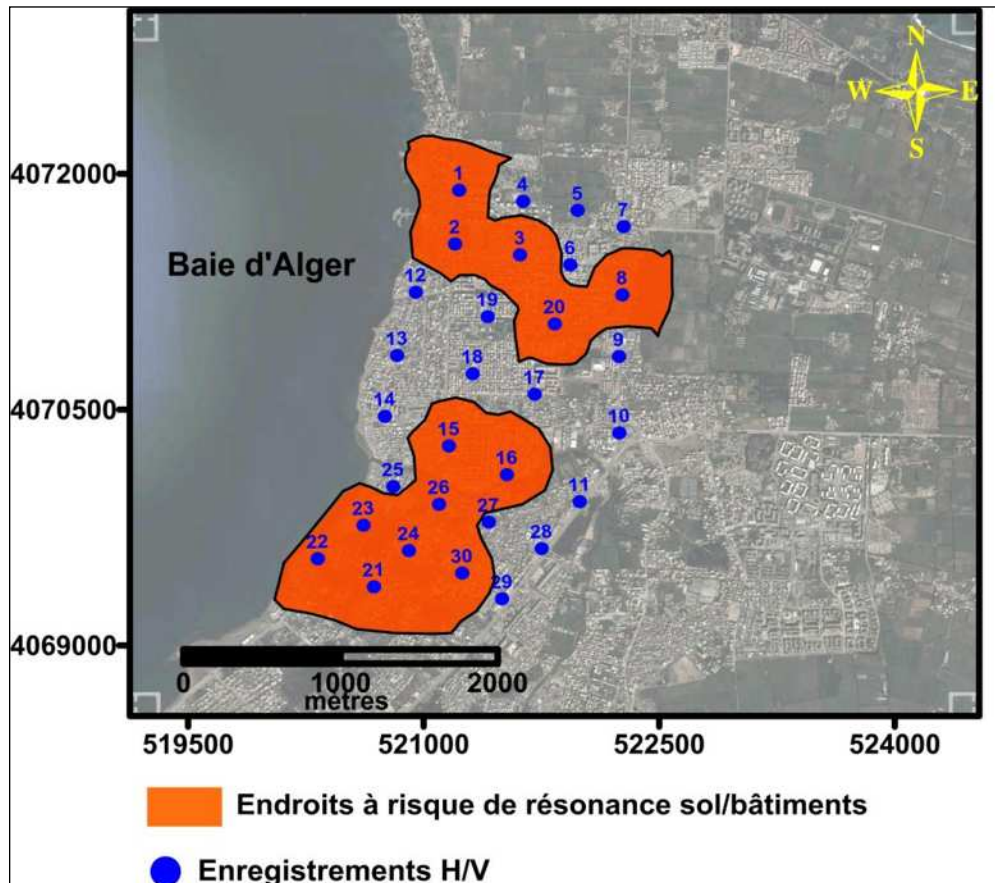


Figure 20: Endroits à risque de résonance sol/bâtiments sur fond d'une image satellitaire Google Earth [2009].

#### Conclusion

La campagne d'enregistrement H/V- bruit de fond que nous avons réalisé dans la partie Est de la plaine littorale d'Alger, nous a permis d'affirmer que le risque d'effet de site en cas de séisme est faible dans certains endroits (courbes H/V plates). Néanmoins, le risque est beaucoup plus important dans les endroits où les fréquences de résonance du sol se situent entre 0.6 et 2.8 Hz.

De plus, j'ai montré un risque potentiel, en cas de séisme, d'un phénomène de résonance sol/bâtiment dans le reste de la zone, du fait que les fréquences du sol et celles de certains bâtiments sont très proches.

Les pics H/V identifiés sur les courbes traduisent la réponse des couches de sédiment recouvrant les marnes. Ils montrent, qu'au niveau de ces enregistrements, le contraste de vitesse des ondes entre le recouvrement et le substratum marneux est fort, contrairement aux enregistrements ayant donné des courbes plate qui montre la dispersion des caractéristiques géotechniques (compacité) de la couche du sol dans le secteur étudié.

# *Conclusion Général*

## *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 ce soit spatiale ou temporelle.

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 sol de notre zone d'étude est peu détaillée pour pouvoir corréler les fréquences obtenues aux épaisseurs des grandes profondeurs qui existent donc il est important de faire des sondages à des 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. 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 ;
- respecter les normes et les règles parasismiques exigées par le RPA 99, 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 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.

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

**Boukhrouf, M. et Cherifi, E. (2012).** Évaluation des fréquences de résonance du sol par la méthode H/V-bruit de fond dans la région Est de la baie d'Alger, Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, Alger, 33p.

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

**Charakdji, F. et Djenidi. (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.

## **Références bibliographiques**

---

**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.

**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.

**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.

**Hamga, M. et 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. et 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.

**L.N.H.C.** (Laboratoire National d'Habitat et de Construction- Alger), (2000-2011).

**Meghraoui, M. (1988).** Géologie des zones sismiques du Nord de l'Algérie. Paléosismologie, 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.

**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**

**Annexes 1:** Tableau des enregistrements et leurs fréquences de résonances.

<b>Station</b>	<b>Latitude(m)</b>	<b>Longitude(m)</b>	<b>Nom du fichier</b>	<b>f<sub>0</sub>(Hz)</b>
<b>1</b>	521270	4071983	09101345.010	<b>03</b>
<b>2</b>	521230	4071621	09101411.011	<b>6.5</b>
<b>3</b>	521632	4071530	09101438.012	<b>5.5</b>
<b>4</b>	521665	4071891	09101502.013	<b>1.5</b>
<b>5</b>	522002	4071815	09101527.014	<b>1.8</b>
<b>6</b>	521942	4071449	09101548.015	<b>0.9</b>
<b>7</b>	522284	4071693	09101612.016	<b>2.5</b>
<b>8</b>	522258	4071232	09101634.017	<b>3.8</b>
<b>9</b>	522221	4070816	09101700.018	-
<b>10</b>	522203	4070300	09101724.019	-
<b>11</b>	521938	4069846	09101751.020	-
<b>12</b>	520973	4071305	1209110939.021	-
<b>13</b>	520840	4070883	1209111001.022	<b>2.2</b>
<b>14</b>	520748	4070475	1209111023.023	-
<b>15</b>	521139	4070258	1209111047.024	<b>3.3</b>
<b>16</b>	521492	4070048	1209111111.025	<b>4.6</b>
<b>17</b>	521686	4070584	1209111136.026	-
<b>18</b>	521306	4070739	1209111200.027	<b>0.8</b>
<b>19</b>	521414	4071121	1209111225.028	<b>1.9</b>
<b>20</b>	521830	4071054	1209111251.029	<b>5.1</b>
<b>21</b>	520635	4069326	04121252.006	<b>10</b>
<b>22</b>	520293	4069531	04121334.007	<b>4.5</b>
<b>23</b>	520587	4069745	04121402.008	<b>7.8</b>
<b>24</b>	520862	4069561	04121434.009	<b>15</b>
<b>25</b>	520782	4069998	04121502.010	<b>2.8</b>
<b>26</b>	521062	4069866	04121523.011	<b>10</b>
<b>27</b>	521367	4069732	04121545.012	-
<b>28</b>	521689	4069539	04121611.013	-
<b>29</b>	521429	4069210	04121635.014	-
<b>30</b>	521188	4069395	04121656.015	<b>9</b>

**Annexe2** : caractérisation des couche lithologiques avec des vitesses de cisaillement  $V_s$  et le nombre de coup NSPT (Duval et al, 2009).

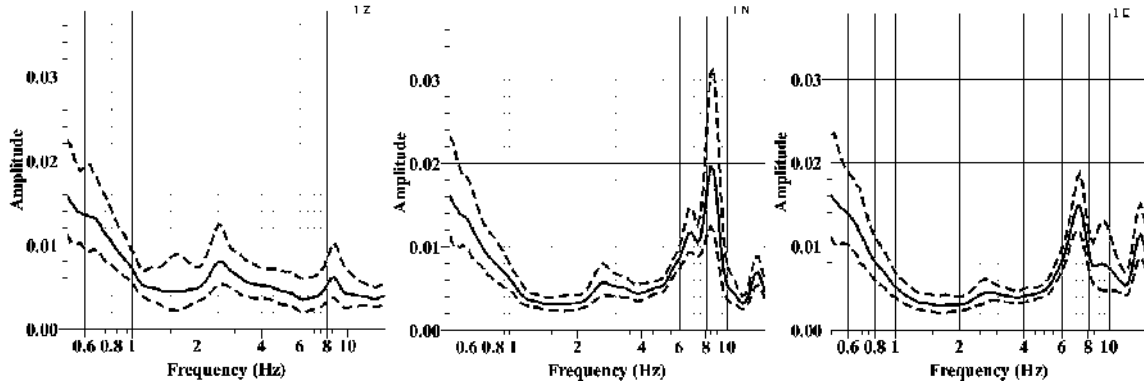
	<b>description</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>NSPT</b>
A	Rocher ou formation géologique se comportant comme un rocher et pouvant être recouvert par 5m de matériaux caractérisés par des vitesses moindres.	>800	-
B	Dépôt de sable dense, de graviers ou d'argile compacte (au moins quelques dizaine de mètre de profondeur), 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 3:** Tableau relatif aux paramètres physique

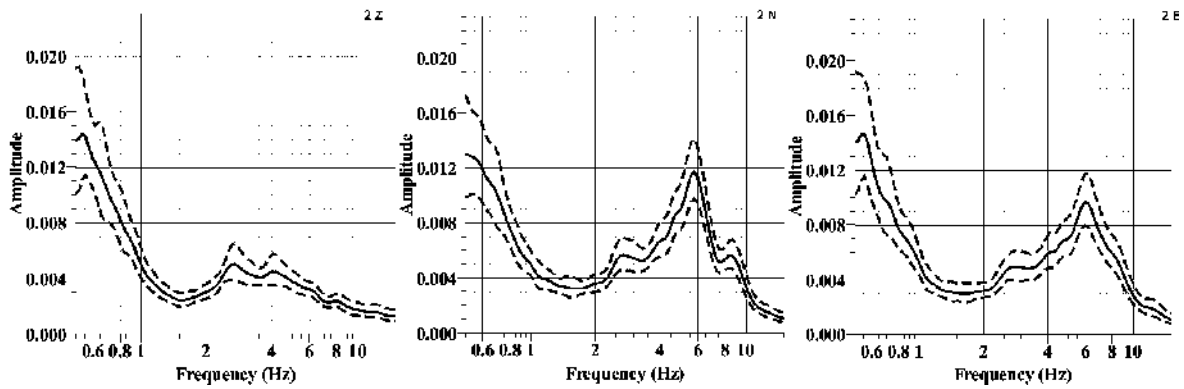
<b>Paramètres d'identification</b>	<b>Unité</b>	<b>Symbole</b>
Poids volumique sec	$t/m^3$	$\gamma_d$
Poids volumique humide	$t/m^3$	$\gamma_h$
Teneur en eau	%	W
Degré de saturation	%	Sr
Passants au tamis de 2mm	%	<2mm
Passants au tamis de 0.1mm	%	<0.1mm
Passant au tamis de $2\mu$	%	< $2\mu$
Limite de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

**Annexes 4 : Fréquences de résonances des bâtiments à l'aide de module spectrum.**

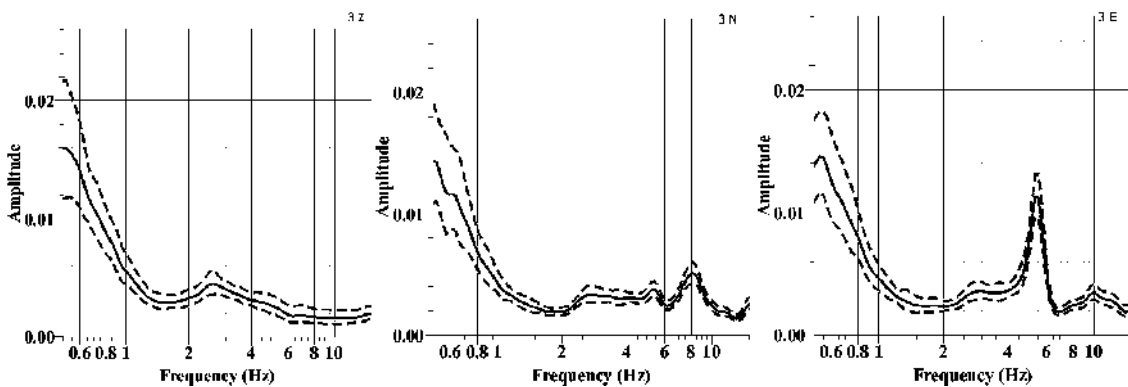
**-Bâtiment 1 (R+3), ( $F_0= 7,5$  Hz)**



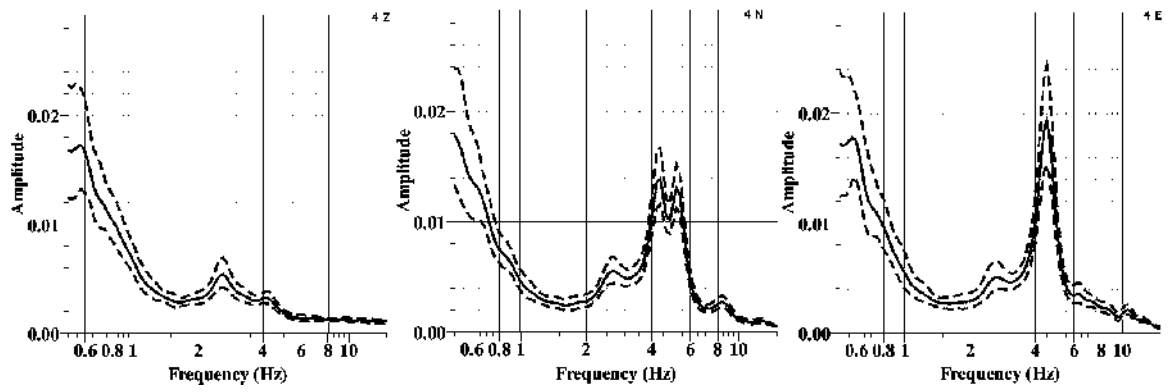
**-Bâtiment 2 (R+2), ( $F_0= 6$  Hz)**



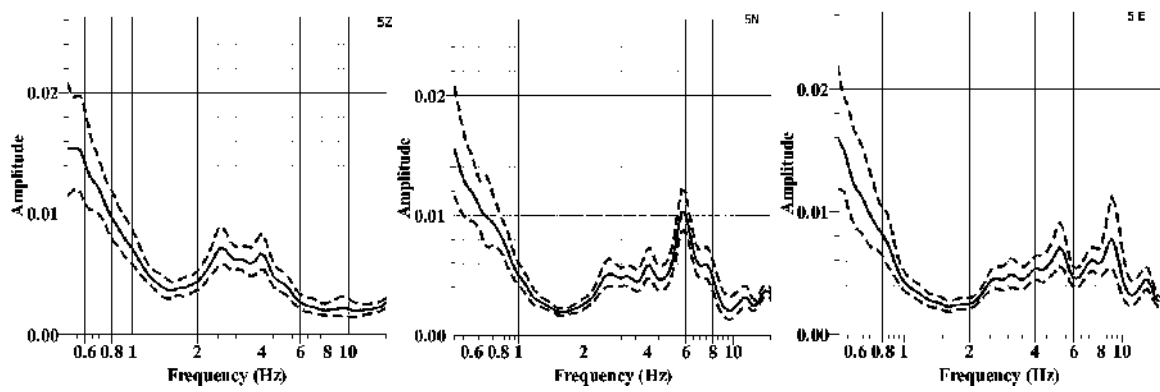
**-Bâtiment 3 (R+3), ( $F_0= 5.8$  Hz)**

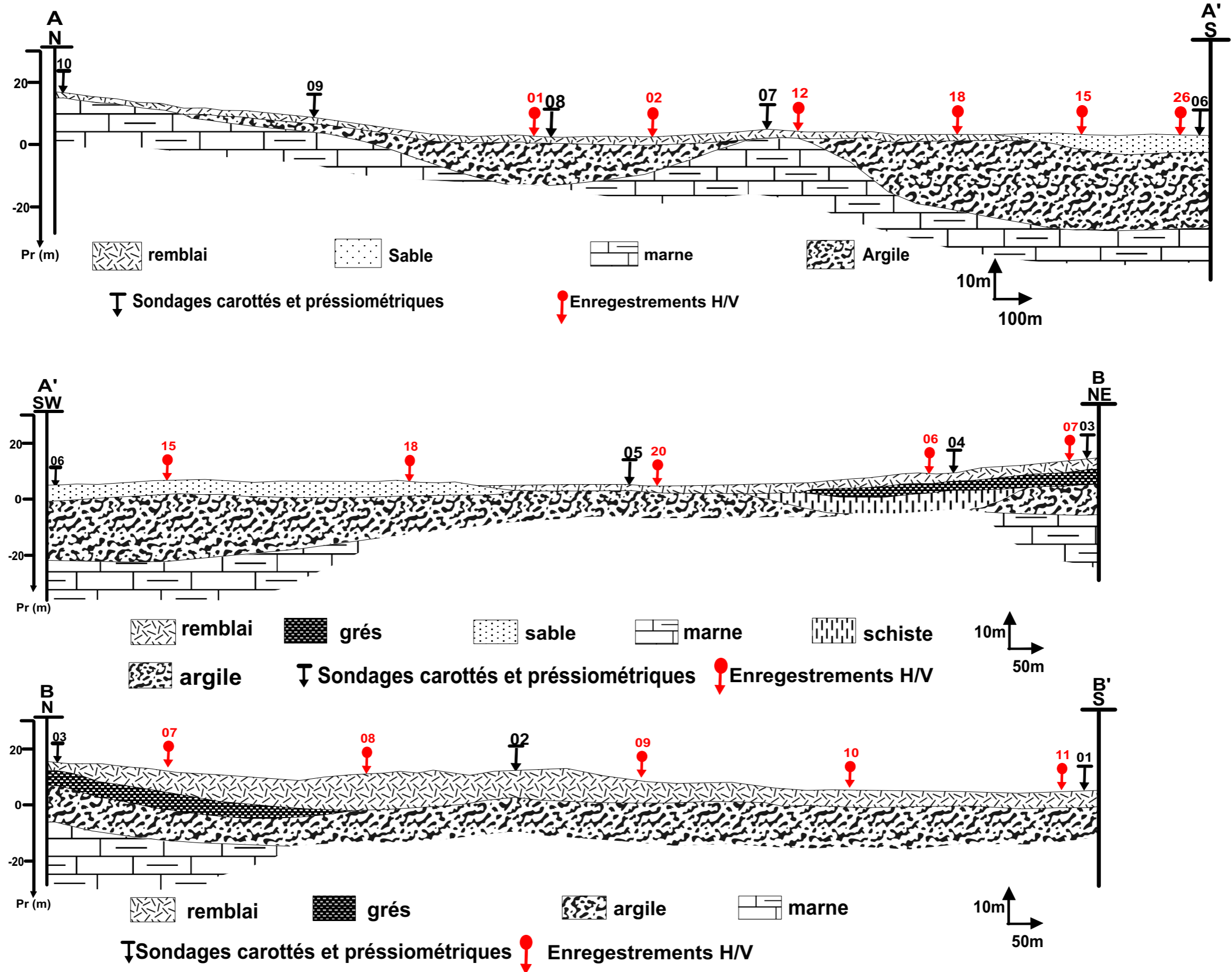


**-Bâtiment 4 (R+4), ( $F_0 = 4,4$  Hz)**



**-Bâtiment 5 (R+5), ( $F_0 = 6$  Hz)**





**Figure 11 : Coupes lithologiques corrélatives AA' (N-S), A'B (NE-SW) et BB' (N-S).**