

ÉVALUATION DES FRÉQUENCES DE RÉSONANCE DU SOL PAR LA MÉTHODE H/V-BRUIT AMBIANT DANS LA ZONE D'HUSSEIN DEY-CAROUBIER (BAIE D'ALGER).

Mustapha HELLEL*, Jean-Luc CHATELAIN**, Ghani CHEIKHLOUNIS***,
Djamel MACHANE****, El Hadi OUBAICHE****, Rabah BENSALAM****,
Bertrand GUILLIER**, Nadjim BENIDIR* et Lounès FERNANE*

RÉSUMÉ

Une étude H/V-bruit ambiant a été effectuée dans la zone d'Hussein Dey - Caroubier (baie d'Alger) dans le but d'évaluer les fréquences de résonance du sol. Cette zone fait partie de la frange littorale d'Alger où plusieurs projets immobiliers importants sont prévus, notamment celui de la Grande Mosquée d'Alger avec un minaret de 300 mètres de haut et le projet touristique 'Alger Médina'. Cette étude entre dans le cadre de l'évaluation des effets de sites locaux et a pour principal objectif, d'élaborer une carte de la distribution des fréquences de résonance du sol. Cette carte pourra servir de document d'appui aux aménageurs, afin d'éviter de concevoir de futurs bâtiments dont la fréquence propre serait voisine de celle du sol.

Soixante et un enregistrements ont été réalisés. La majorité des courbes H/V obtenues montre que la fréquence du sol varie entre 2 et 22 Hz. L'amplitude des pics H/V est assez faible, entre 1 et 2.

Les fréquences ont été regroupées en trois gammes : (1) 2-6 Hz; (2) 6.1-10 Hz et (3) 10.1-22 Hz. Ces gammes de fréquences ont été enregistrées dans des zones non-contiguës.

Par ailleurs, certaines courbes H/V, obtenues en quelques endroits épars sont plates. Ces courbes, dues à la présence du substratum en sub-surface, témoignent de l'absence d'effet de site.

Mots-clés - Effet de site - Fréquence de résonance - Méthode H/V - Bruit ambiant - Baie d'Alger.

SOIL RESONANCE FREQUENCY ESTIMATION USING HVSr AMBIENT VIBRATION TECHNIQUE IN THE HUSSEIN DEY-CAROUBIER ZONE (ALGIERS BAY, ALGERIA).

ABSTRACT

A HVSr ambient vibration study has been carried out in the Hussein Dey-Caroubier zone (Algiers Bay) for a soil resonance frequency evaluation and site effects study. In this zone, many important projects are planned as the Algiers Great Mosque and 'Algiers Medina' projects. The

*ENSSMAL, BP. 19, Dely Ibrahim, Alger, Algérie.

**IRD/ISTerre, Maison des Géosciences, BP. 53, 38041 Grenoble cedex 9, France.

***FSTGAT/USTHB, BP. 32, El Alia 16111, Bab Ezzouar, Alger, Algérie.

****CGS, 1 Rue Kaddour Rahim, BP. 252 Hussein Dey, Alger, Algérie.

- *Manuscrit déposé le 04 Avril 2011, accepté après révision le 19 Juin 2012.*

M. HELLEL, J.-L. CHATELAIN, G. CHEIKHLOUNIS, DJ. MACHANE, E.-H. OUBAICHE, R. BENSALÉM,
B. GUILLIER, N. BENIDIR ET L. FERNANE

main purpose of this study is to establish a resonance frequency variation map which can be used as a support document by planners in designing their future buildings. This document will allow to make futur buildings frequencies different of those of the soil.

Sixty-one recordings were carried out in this region. Most of the obtained H/V curves show a soil frequency varying between 2 and 22 Hz, with a low H/V peak amplitude (1-2).

The frequencies have been grouped into three ranges: **(1)** 2-6 Hz, **(2)** 6.1-10 Hz and **(3)** 10.1-22 Hz. These frequency ranges are distributed over a non-contiguous areas.

In addition, in some places, a flat H/V curves have been obtained, due to the presence of near-surface bedrock, indicating that there is not site effects.

Keywords - Site effects - Resonance frequency - Ambient vibrations - H/V technique - Algiers Bay.

INTRODUCTION

Depuis le séisme de Michoacán en 1985 au Mexique (e.g. Lermo et *al.*, 1988), qui a causé beaucoup de dégâts dans la ville de Mexico, située à près de 400 km de l'épicentre, l'importance des effets de site locaux ne sont plus à démontrer. Depuis, les séismes de Loma Prieta en 1989 (e.g. Hartzell et *al.*, 1996; Hartzell, 1998), de Northridge en 1994 (e.g. Trifunac et Todorovska, 2000) et de Kobe en 1995 (e.g. Kawase, 1996) n'ont fait que confirmer l'importance d'évaluer ces effets de site.

Les effets de sites peuvent être produits par : **(1)** des effets dus à la résonance des ondes sismiques dans les couches sédimentaires, ou effets 1-D (e.g. Aki et Richard, 1980); **(2)** des effets bi- ou tri-dimensionnels induits par la structure des bassins sédimentaires (e.g. Bard et Bouchon, 1985; Graves, 1993; Gao et *al.*, 1996) et **(3)** des effets provoqués par la topographie (e.g. Géli et *al.*, 1988; Pedersen et *al.*, 1994; Bensalem et *al.*, 2010).

L'évaluation des effets de site consiste à déterminer la fréquence du sol et le niveau d'amplification du mouvement du sol. La connaissance de ces paramètres permet, dans une région donnée, de construire des édifices ayant des fréquences propres différentes de celle du sol, pour

éviter un éventuel phénomène de résonance de ces édifices en cas de séisme.

Ainsi, l'estimation des fréquences de résonance du sol est aussi importante que la connaissance des autres contraintes liées à la constructibilité des sols.

L'évaluation de la fréquence de résonance du sol peut être obtenue par des méthodes géophysiques (cross-hole, down-hole, SASW...) ou par des méthodes basées sur l'enregistrement de séismes, telle que la méthode site-référence (Borcherdt, 1970) ou encore, plus récemment, par les méthodes basées sur l'enregistrement du bruit ambiant, notamment la méthode H/V (Nogoshi et Igarashi, 1971; Nakamura, 1989).

La méthode H/V est la plus simple et la moins couteuse de ces méthodes. Elle est basée sur l'enregistrement du bruit ambiant, lequel est généré par des sources naturelles (mouvement de la mer, vent...) et anthropiques (trafic routier, activités industrielles, piétons...). Elle consiste à enregistrer les vibrations ambiantes pendant quelques minutes à l'aide d'un capteur à trois composantes, puis de calculer le rapport du spectre de la composante horizontale (H) sur celui de la composante verticale (V) du bruit ambiant. Lorsqu'une courbe H/V présente un pic, il indique la fréquence de résonance du sol.

ÉVALUATION DES FRÉQUENCES DE RÉSONANCE DU SOL PAR LA MÉTHODE H/V-BRUIT AMBIANT DANS LA ZONE D'HUSSEIN DEY-CAROUBIER (BAIE D'ALGER).

Durant les deux dernières décennies, de nombreuses études utilisant la méthode H/V-bruit ambiant ont été réalisées dans plusieurs villes dans le monde pour l'étude des effets de site ou le microzonage sismique, telles que Bâle (Fäh et al., 1997), Quito (Guéguen et al., 2000), Barcelone (Alfaro et al., 2001), Caracas (Duval et al., 2001), Thessalonique (Panou et al., 2005) et Boumerdes (Guillier et al., 2005; Hellel et al., 2010).

Cette méthode a également été utilisée pour étudier la corrélation entre les effets de site et les dégâts engendrés par un séisme (e.g. Guéguen et al., 1998; Teves Costa et al., 2007; Cara et al., 2008; Chatelain et al., 2008a; Theodulidis et al., 2008; Hellel et al., 2010; Bensalem et al., 2010).

Alger, une ville pourtant située en zone III de forte sismicité (CGS, 2003), n'a pas encore fait l'objet d'une étude sur les effets de site et aucune carte de distribution des fréquences du sol n'existe, contrairement à Boumerdes, par exemple, où une carte détaillée de distribution des fréquences de résonance du sol a été réalisée en 2010 (Hellel et al., 2010).

Il est nécessaire de disposer d'une telle carte pour Alger. La partie littorale de la ville, le long de la baie, constitue une priorité du fait de sa proximité de la mer et de la nature sableuse des sols. De plus, le cadre bâti de cette zone est appelé à se transformer à moyen terme, à la faveur de nouveaux aménagements, tels que Alger-Medina et la Grande Mosquée.

L'objectif de ce travail est d'évaluer les fréquences de résonance du sol et leur distribution dans la zone Hussein Dey-Caroubier, à partir d'enregistrements du bruit ambiant, réalisés durant le printemps 2010.

Les résultats seront présentés sous forme de carte qui pourra servir de document d'appui aux aménageurs pour concevoir des bâtiments ayant

des fréquences propres, différentes de celles du sol.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION D'ÉTUDE

La région d'Alger est affectée par un système de failles actives (fig. 1) capable de générer des séismes importants. Certaines de ces failles sont situées sur le continent (Meghraoui, 1988), à l'instar de la faille aveugle du Sahel, alors que d'autres, n'ayant pas encore fait l'objet d'un consensus, se situent en mer (Déverchère et al., 2005).

Dans la classification des zones sismiques d'Algérie, la région d'Alger est classée, en zone III, zone de forte sismicité (CGS, 2003).

Cette étude concerne une partie de la plaine littorale de la baie d'Alger (fig. 1). Elle est limitée par l'oued El Harrach à l'est, la rue des Fusillés à l'ouest, Makaria-Kouba au sud et la voie rapide (rocade nord) au nord (fig. 1). La zone d'étude présente un relief plat, se trouvant entre 2 et 10 m d'altitude, à l'exception des hauteurs d'Hussein-Dey qui se trouvent à 60 m d'altitude.

La zone d'étude est recouverte par des formations plio-quadernaires (fig. 2). On y distingue : **(1)** des sables de plages et de dunes actuelles, entre la rue de Tripoli et le rivage; **(2)** des sables argileux rubéfiés d'âge callabrien-villafranchien, principalement entre la rue de Tripoli et les piedmonts de Kouba; **(3)** des grès, sables et calcaires gréseux d'âge astien, sur les hauteurs d'Hussein-Dey (Mer-et-Soleil, Le Ruisseau). Il faut noter que les marnes plaisanciennes n'affleurent pas dans le secteur étudié.

Les coupes de sondages (voir tableau I pour les localisations) exploitables (Benidir et Fernane, 2010) révèlent une formation quaternaire constituée de sable et de sable argileux de 7 à 20 mètres d'épaisseur, qui surmonte une formation

astienne, constituée de sable et grès pouvant atteindre plus de 30 mètres d'épaisseur (fig. 2, coupe A-A'). La formation astienne repose sur les marnes bleues du Plaisancien, rencontrées à partir de 10 mètres de profondeur, dans la partie ouest du site d'étude et sur une soixantaine de mètres d'épaisseur (fig. 2, coupe A-A').

Les profils des vitesses des ondes de cisaillement (JICA, 2006) montrent que dans la couche

quaternaire, la vitesse des ondes de cisaillement varie de 200 à 290 m/s (fig. 2, coupe A-A').

Dans la formation astienne, la vitesse varie entre 290 et 380 m/s et dans la couche plaisancienne, elle varie de 300 à 400 m/s (fig. 2, coupe A-A'). Il faut noter que le contraste de vitesse entre les formations quaternaire, astienne et plaisancienne est faible (inférieur à 2).

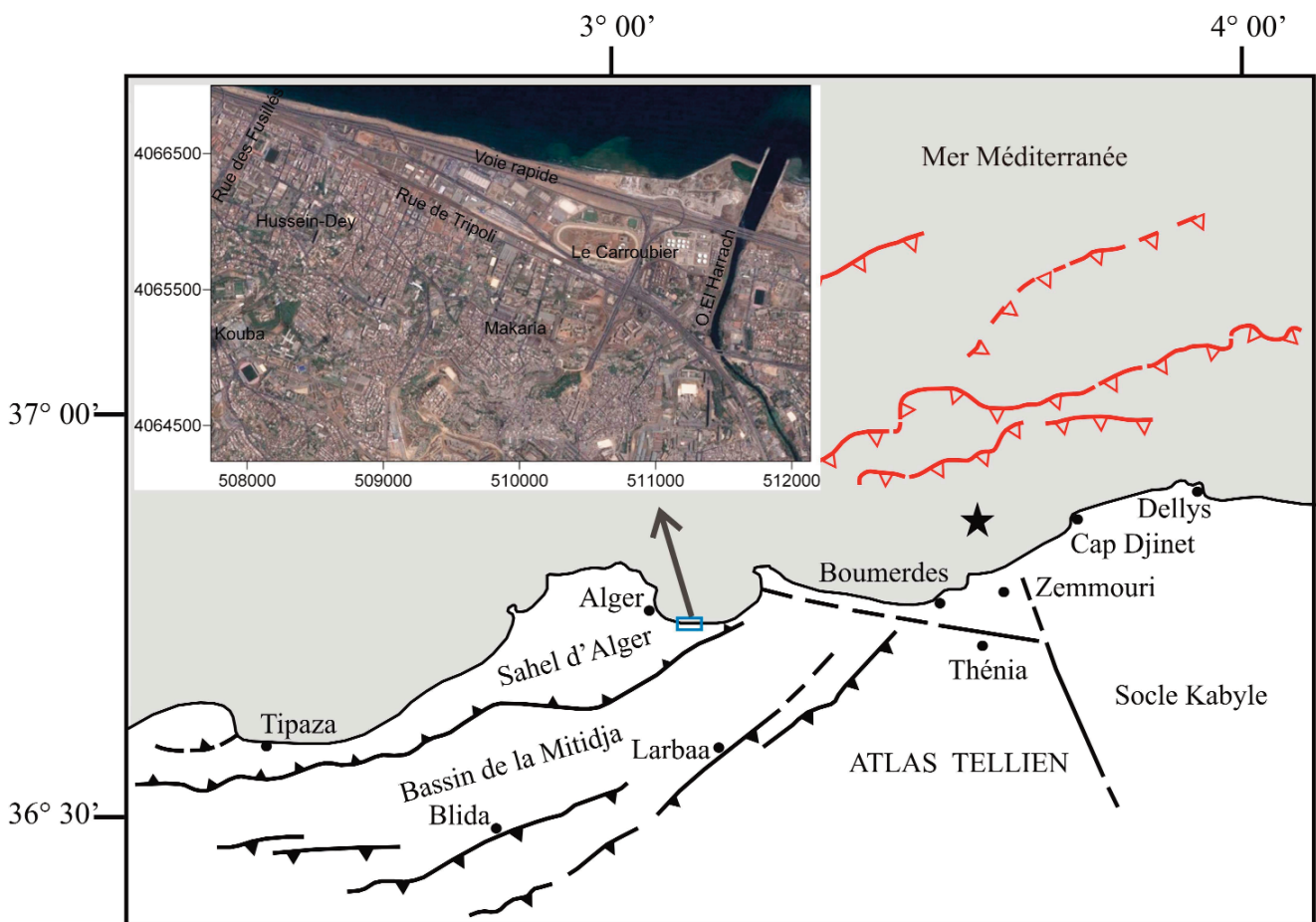


Fig. 1 - Situation de la zone d'étude (encadré) et cadre tectonique régional (Meghraoui, 1988). En trait noir, les failles localisées sur le continent. En trait rouge, les failles supposées, localisées en mer (Déverchère et al., 2005). L'étoile noire indique l'épicentre en mer du séisme du 21 mai 2003 d'après le CRAAG, relocalisé sur la côte par Bounif et al. (2004).

Localisation of the studied area and regional tectonic setting (Meghraoui, 1988). Solid lines represent the onshore faults and red lines the supposed offshore faults (Déverchère and al., 2005). The black star indicates the 21 may 2003 offshore earthquake epicenter (CRAAG), relocated on the coast by Bounif and al. (2004).

ÉVALUATION DES FRÉQUENCES DE RÉSONANCE DU SOL PAR LA MÉTHODE H/V-BRUIT AMBIANT DANS LA ZONE D'HUSSEIN DEY-CAROUBIER (BAIE D'ALGER).

Tableau I - Numéros et coordonnées UTM des sondages carottés.

Numbers and UTM coordinates of the boreholes

Sondages	X	Y
S1	511627	4066081
S2	509314	4066205
S3	508670	4066496
S4	507747	4066558

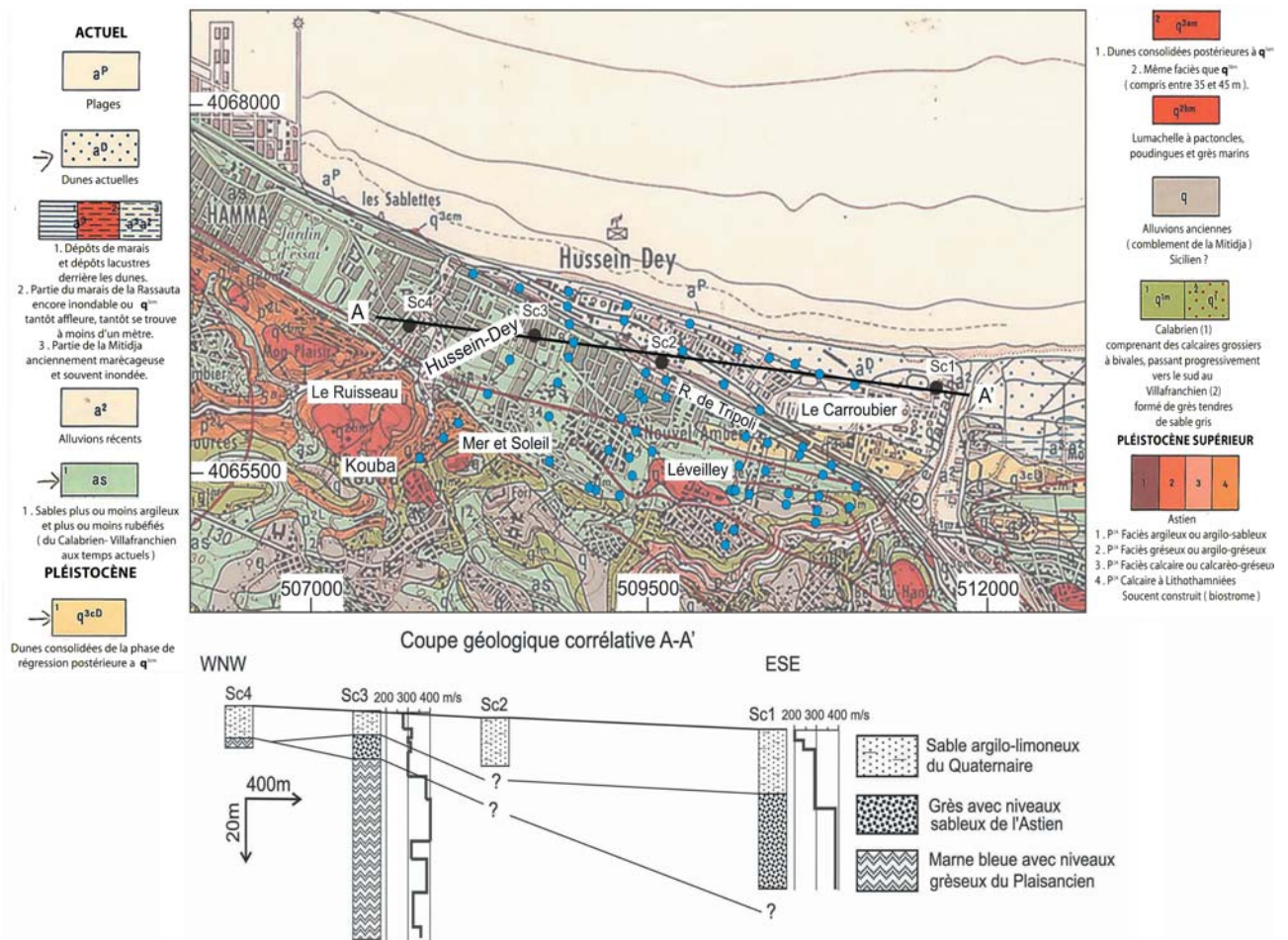


Fig. 2 - Géologie du site, extraite de la carte géologique d'Alger au 1/50 000 (Aymé, 1964). Les cercles pleins bleus indiquent la position des enregistrements H/V. Les cercles pleins noirs indiquent la position des sondages. Les logs de sondages, positionnés le long d'un profil WNW-ESE (A-A' sur la carte), révèlent une couche de sable quaternaire surmontant des grès et sables astiens, plus épais à l'est qu'à l'ouest (coupe géologique A-A'), le tout reposant sur des marnes plaisanciennes. Les profils de vitesse des ondes de cisaillement obtenus à partir de down-holes (JICA, 2006), réalisés au niveau des sondages S1 et S3, montrent un faible contraste entre les différentes couches lithologiques.

Geology of the studied area, taken from the 1/50 000 Algiers geological map (Aymé, 1964). The filled blue circles indicate the position of the H/V recordings. The filled black circles indicate the position of boreholes along a WNW-ESE profile (A-A' on the map). The WNW-ESE lithological cross-section through boreholes reveals, from top to bottom, a Quaternary sand layer, an Astian sandstone layer and Plaisancian marls. Shear wave velocity profiles (JICA, 2006), realized in the S1 and S3 boreholes, reveal a weak velocity contrast between the three layers.

ACQUISITION ET TRAITEMENT DES ENREGISTREMENTS DU BRUIT AMBIANT

L'acquisition et le traitement des données ont été effectués en suivant les recommandations de Chatelain et *al.* (2008b) et de SESAME (2005).

Acquisition des données

Soixante et un enregistrements ont été réalisés (fig. 2) à l'aide de stations CityShark (Chatelain et *al.*, 2000), équipées de sismomètres Lenartz 5-secondes à trois composantes, pendant une durée de 15 minutes avec un échantillonnage à 200 sps. Ces enregistrements ont été réalisés sur le trottoir, pendant la journée.

Les coordonnées UTM des enregistrements (tabl. II) ont été déterminées sur le terrain à l'aide d'un GPS de poche avec une précision qui varie entre 4 et 10 m.

Certains endroits étant inaccessibles, nous n'avons pas pu effectuer les enregistrements selon un maillage régulier. Ainsi, l'espacement entre les enregistrements varie de 40 à près de 600 m.

Traitement des données

Les rapports spectraux H/V ont été calculés avec le logiciel geopsy (www.geopsy.org). Ces rapports sont obtenus entre la moyenne (H) des

Tableau II - Numéros et coordonnées UTM des enregistrements H/V.

Numbers and UTM coordinates of the H/V recordings.

Numéro	X	Y	Numéro	X	Y	Numéro	X	Y
1	510773	4065187	22	510136	4065706	42	508853	4065224
2	510897	4065359	23	509987	4065758	43	509077	4065163
3	510443	4065144	24	510103	4065902	44	508650	4065407
4	510474	4065233	25	510380	4066229	45	508714	4065732
5	510523	4065371	26	510133	4066287	46	508792	4065946
6	510579	4065491	27	509917	4066328	47	508861	4066134
7	510661	4065547	28	509820	4066096	48	508898	4066271
8	510855	4066065	29	509567	4066238	49	509585	4066447
9	510547	4066167	30	509424	4066059	50	509223	4066555
10	510401	4065679	31	509273	4066117	51	509201	4066429
11	510380	4065592	32	509237	4065921	52	508885	4066407
12	510326	4065407	33	509454	4065852	53	508872	4066513
13	510317	4065294	34	509280	4065844	54	508902	4066646
14	509829	4064981	35	509095	4065753	55	508597	4066620
15	509929	4065120	36	509211	4065616	56	508295	4066756
16	509753	4065154	37	509367	4065541	57	508545	4066127
17	510011	4065365	38	508943	4065483	58	508384	4065882
18	509857	4065408	39	509148	4065403	59	508286	4065581
19	509808	4065417	40	509161	4065283	60	508203	4065476
20	510177	4065525	41	508794	4065255	61	507931	4065287
21	509893	4065591						

composantes horizontales nord-sud et est-ouest et la composante verticale (V), sur des fenêtres temporelles stables de 30-40 secondes, sélectionnées à l'aide d'un anti-trigger STA/LTA.

Le traitement des trois signaux (vertical, nord-sud et est-ouest) obtenus par l'enregistrement peut être résumé en 4 étapes :

- 1- sélection des fenêtres de temps stables de 30-40, sélectionnées à l'aide d'un anti-trigger STA/LTA ;
- 2- pour chaque fenêtre sélectionnée, calcul et lissage des spectres de chaque composante, en utilisant la technique de Konno et Ohmachi (1998), avec un paramètre de lissage de 40;
- 3- calcul de la moyenne quadratique des spectres horizontaux (composantes nord-sud et est-ouest) pour chaque fenêtre;
- 4- calcul des rapports spectraux H/V pour chaque fenêtre;
- 5- calcul de la moyenne géométrique du rapport spectral H/V sur toutes les fenêtres.

RÉSULTATS H/V

Traditionnellement, les courbes H/V sont présentées entre 0.2 et 20 Hz, car c'est la gamme de fréquence de la majorité des édifices. Dans cette étude, les courbes H/V ont été analysées et présentées entre 0.4 et 30 Hz. En effet, en dessous de 0.4 Hz, les courbes ne sont pas très cohérentes et présentent souvent un écart type très important sur l'amplitude du rapport spectral, ce qui peut être attribué à l'effet de la houle. Par ailleurs, elles sont présentées jusqu'à 30 Hz pour mieux faire apparaître les pics proches de 20 Hz.

Les courbes H/V ont été classées en deux catégories : les courbes exhibant un pic (fig. 3), qui sont majoritaires et les courbes plates (fig. 4).

Les courbes de la première catégorie montrent des pics dont la fréquence varie entre 2 et 22 Hz, avec une amplitude variant entre 1 et 2 (fig. 3). Certains de ces pics sont étroits, avec une amplitude entre 1.5 et 2 (exemple des courbes 1, 4, 31 et 32 de la figure 3), alors que d'autres, correspondent à des bombements de plus faible amplitude (exemple des courbes 14, 15, 19, 23 et 49 de la figure 3). Ces bombements, malgré leur faible amplitude, sont significatifs et à prendre en compte. En effet, certains auteurs (e.g. Guillier *et al.*, 2005; Hellel *et al.*, 2010) ont montré que ces bombements traduisent la réponse de la colonne sédimentaire lorsqu'ils sont observés en nombre dans une même zone.

Les courbes plates, présentent, le plus souvent, de très faibles ondulations d'amplitude inférieure à 1, entre 1 et 20 Hz (fig. 4), indiquant la présence du substratum en sub-surface.

Les fréquences de résonance du sol ont été groupées en trois gammes: **(1)** 2-6 Hz; **(2)** 6.1-10 Hz et **(3)** 10.1-22 Hz (fig. 5).

Les fréquences entre 2 et 6 Hz apparaissent essentiellement dans la partie sud du site d'étude et au nord-est, près du rivage (fig. 5). Les deux autres gammes, (6.1-10 Hz et 10.1-22 Hz), sont principalement observées dans la partie centrale du site, entre Le Caroubier et Makaria d'une part, et au niveau d'Hussein-Dey d'autre part (fig. 5).

Les courbes H/V plates sont assez dispersées, avec toutefois une plus grande concentration entre Le Caroubier et Makaria, ainsi que près du rivage, au nord-ouest du site d'étude (fig.5).

DISCUSSION

Les fréquences varient dans une large gamme (2-22 Hz) et sont dispersées dans l'espace, ce qui témoigne des fortes variations de la compa-

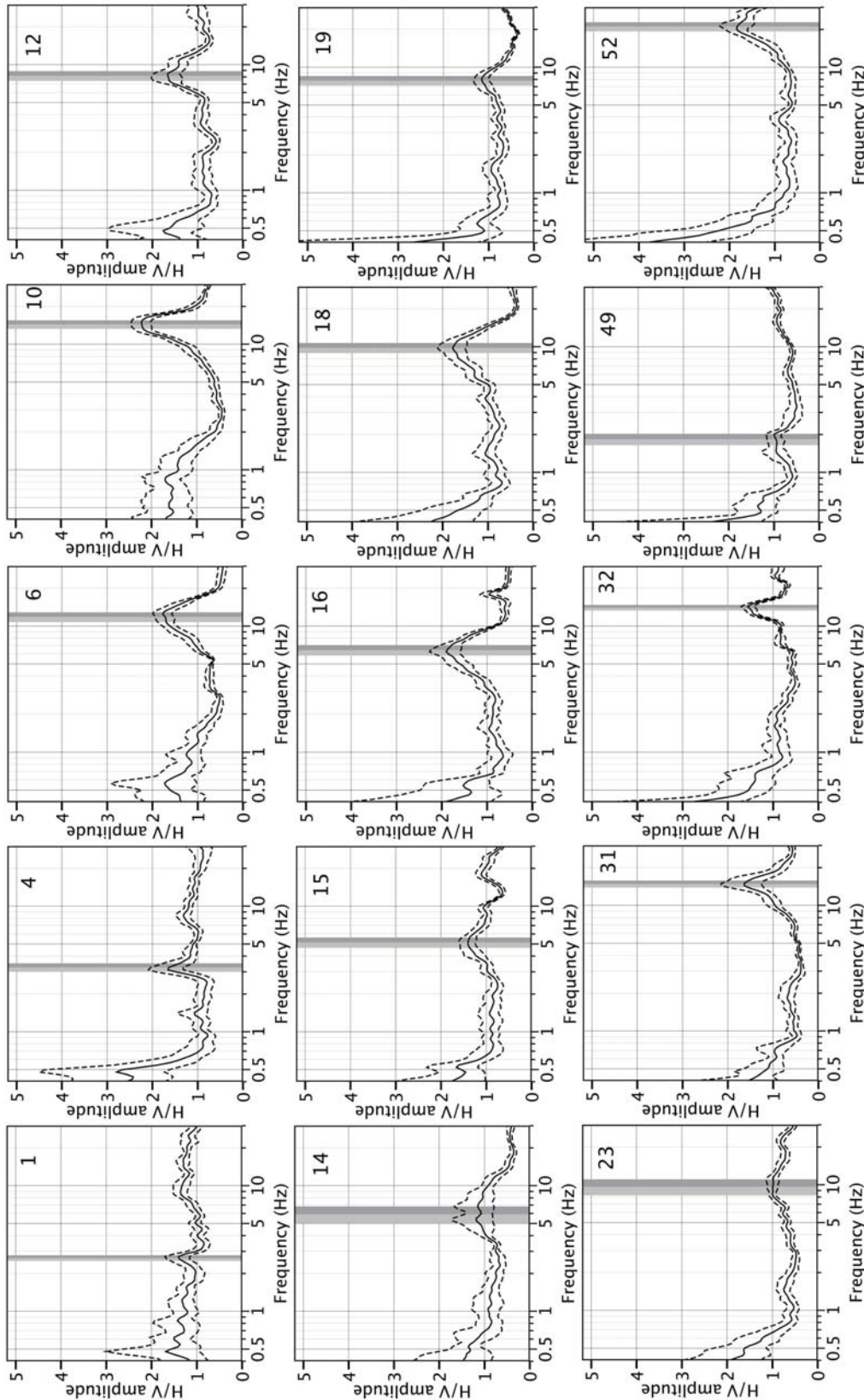


Fig. 3 - Exemples de courbes H/V exhibant un pic. L'axe des ordonnées représente l'amplitude du rapport spectral H/V. L'axe des abscisses représente les fréquences. Les chiffres sur les courbes indiquent les numéros des enregistrements H/V. Les courbes H/V montrent des pics qui sont soit étroits, soit en forme de bombement, à des fréquences allant de 2 à 22 Hz avec une amplitude variant de 1 à 2.

Examples of H/V curves exhibiting peaks. X-axis corresponds to H/V spectral ratio amplitude and Y-axis to frequencies. Numbers on curves indicate H/V recording numbers. H/V curves show narrow peaks or bumps, between 2 to 22 Hz frequency with a 1-2 amplitude.

ÉVALUATION DES FRÉQUENCES DE RÉSONANCE DU SOL PAR LA MÉTHODE H/V-BRUIT AMBIANT DANS LA ZONE D'HUSSEIN DEY-CAROUBIER (BAIE D'ALGER).

ité et/ou de l'épaisseur de la couverture sédimentaire du site étudié.

Les fréquences de résonance des deux premières gammes, comprises entre 2 et 10 Hz, peuvent correspondre à la réponse d'une colonne de sédiments composée de sable quaternaire et de grès astien, reposant sur un substratum marneux plaisancien. En effet, si on considère une V_s moyenne dans les couches quaternaire et astienne de 280 m/s (fig. 2), et en utilisant la relation 1-D, $f_0 = V_s/4H$, nous obtenons des épaisseurs de

l'ordre de 7 à 35 mètres, qui sont en accord avec les épaisseurs données par les sondages (fig. 2).

En revanche, pour les fréquences de la troisième gamme, entre 10.1 et 22 Hz, le même calcul nous donnent des épaisseurs, allant de 3.1 à 6.9 m, plus réduites que celles données par les sondages (fig. 2).

Lorsqu'elles ne sont pas plates, les courbes H/V exhibent des pics de faible amplitude (≤ 2), ce qui peut s'expliquer par le faible contraste de

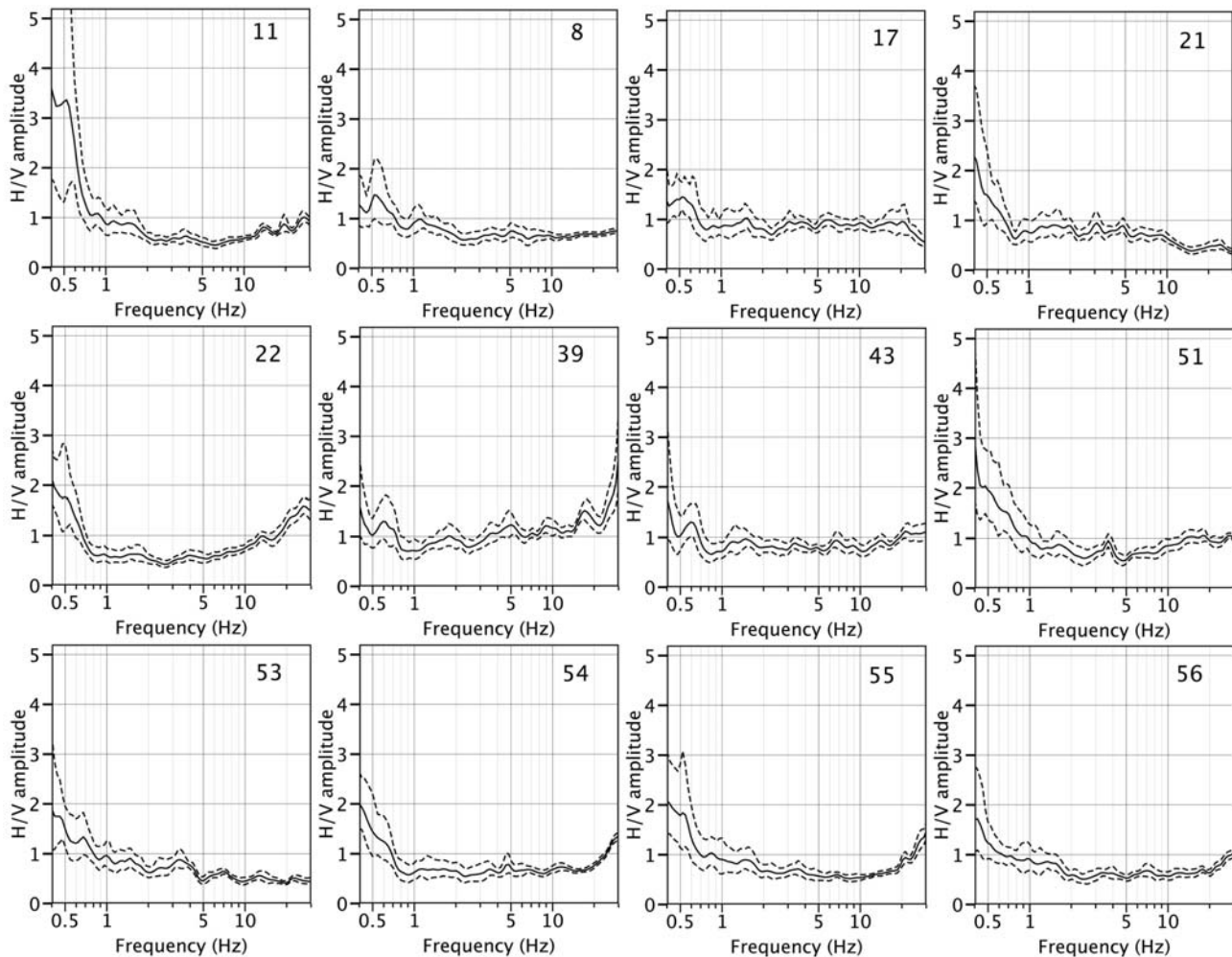


Fig. 4 - Exemples de courbes H/V plates. L'axe des ordonnées représente l'amplitude du rapport spectral H/V. L'axe des abscisses représente les fréquences. Les chiffres sur les courbes indiquent les numéros des enregistrements H/V.

Examples of flat H/V curves. X-axis corresponds to H/V spectral ratio amplitude and Y-axis to frequencies. Numbers on curves indicate H/V recording numbers.

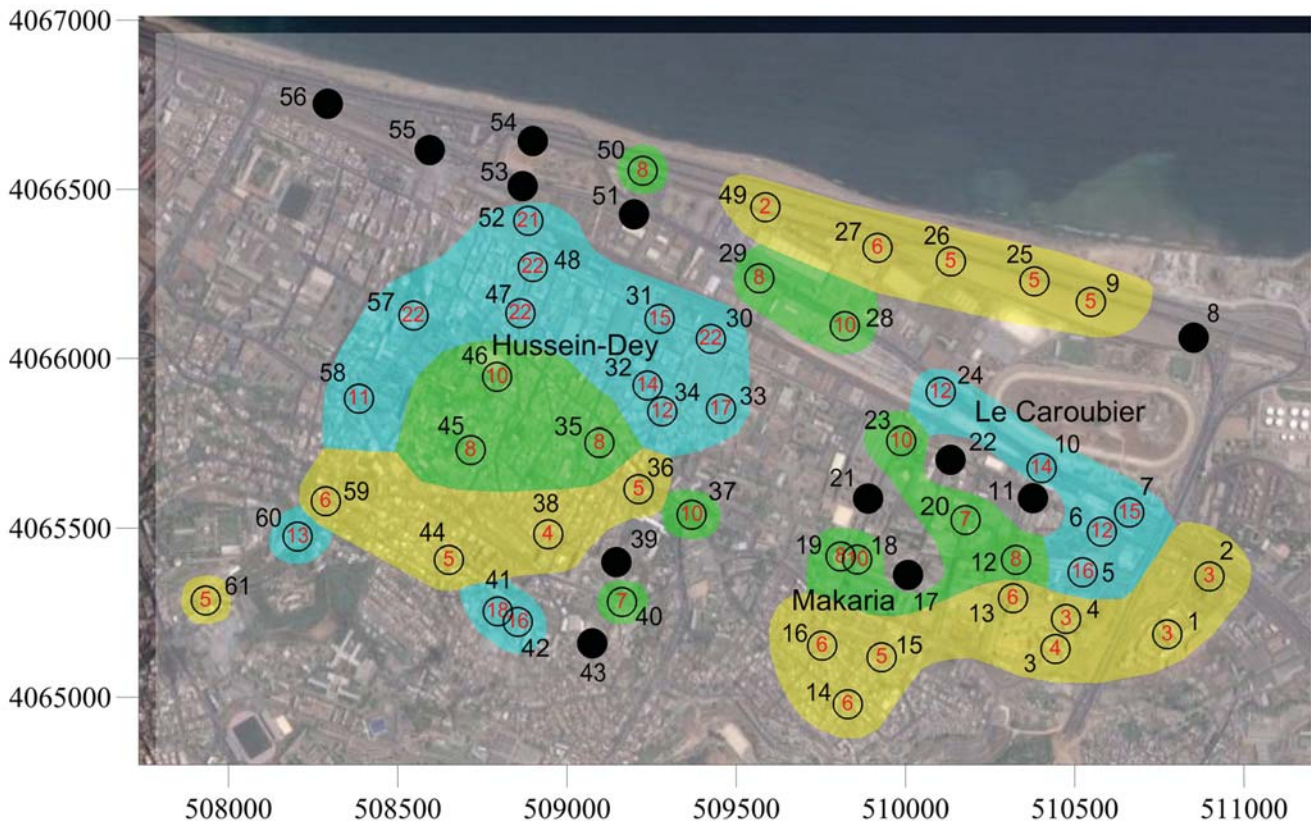


Fig. 5 - Distribution des fréquences de résonance du sol (chiffres rouges à l'intérieur des cercles noirs) dans la zone d'Hussein Dey-Caroubier. Les chiffres noirs indiquent les numéros des enregistrements H/V. Trois gammes de fréquences du sol, réparties sur des surfaces non-contiguës, ont été définies : (1) 2-6 Hz (zones en jaune); (2) 6.1-10 Hz (zones en verts); (3) 10.1-22 Hz (zones en bleu). Les courbes H/V plates (cercles pleins noirs) ont été obtenues, en des endroits épars

Soil resonance frequencies distribution (red numbers inside circles) in the Hussein Dey-Carroubier zone. Black numbers correspond to H/V recording numbers. Three soil frequencies ranges, distributed over non-contiguous areas, are defined: (1) 2-6 Hz (yellow areas); (2) 6.1-10 Hz (green areas); (3) 10.1-22 Hz (blue areas). Flat H/V curves (filled circles) are obtained over scattered places.

vitesse des ondes entre les couches quaternaire, astienne et plaisancienne (fig. 2).

Dans la zone d'Hussein Dey-Caroubier, le bâti existant est majoritairement composé d'immeubles d'habitation de R+2 à R+5 (Benidir et Fernane, 2010). En utilisant la relation empirique $f = 25.5/(N+1)$, proposée par Clotaire et *al.* (2007), qui permet d'avoir une estimation de la fréquence d'un bâtiment en utilisant le nombre d'étages (N), ces immeubles auraient une fréquence propre entre 4.2 et 8.5 Hz, ce qui est en

adéquation avec les deux premières gammes de fréquence du sol, entre 2-10 Hz.

CONCLUSION

Les résultats de l'étude H/V-bruit ambiant effectuée dans la région d'Hussein Dey-Caroubier ont permis, pour la première fois, d'évaluer les fréquences de résonance du sol qui varient entre 2 et 22 Hz. Trois gammes de fréquences ont été définies, 2-6 Hz; 6.1-10 Hz et 10.1-22 Hz, distribuées irrégulièrement, témoignant des variations

ÉVALUATION DES FRÉQUENCES DE RÉSONANCE DU SOL PAR LA MÉTHODE H/V-BRUIT AMBIANT DANS LA ZONE D'HUSSEIN DEY-CAROUBIER (BAIE D'ALGER).

importantes dans la géométrie de la colonne sédimentaire.

Les fréquences propres de la plupart des bâtiments de la région d'étude, estimées de manière empirique, se situeraient dans la même gamme des fréquences de résonance du sol. Néanmoins, pour confirmer ce résultat, il est absolument nécessaire d'avoir les fréquences précises des différentes catégories de bâtiments qui composent le bâti de la région étudiée. Pour cela, l'enregistrement des vibrations ambiantes dans les bâtiments reste le meilleur moyen.

La carte des fréquences de résonances du sol, montre que les édifices ayant des fréquences propres inférieures à 2 Hz sont les plus adaptées dans la région étudiées, car elles seront en dehors de la gamme des fréquences du sol. C'est le cas, par exemple, des tours de plus de 12 étages, qui présentent généralement des fréquences propres inférieures à 2 Hz.

Enfin, il s'avère nécessaire de compléter cette étude par une densification des enregistrements H/V pour affiner la carte de distribution des fréquences du sol, puis d'étendre l'étude à toute la baie d'Alger. Il sera également nécessaire, pour une meilleure évaluation des effets de site, notamment du niveau de l'amplification, d'acquérir plus de donnée sur la colonne de sol et sur les vitesses des ondes de cisaillement soit par le biais de downhole ou par l'enregistrement du bruit ambiant en réseau, méthode beaucoup moins coûteuse.

BIBLIOGRAPHIE

- AKI, K. AND RICHARDS, P.-G. 1980.** Quantitative Seismology, Theory and Methods. *W. H. Freeman, San Francisco.*
- ALFARO, A., PUJADES, L.-G., GOULA, X., SUSAGNA, T., NAVARRO, M., SANCHEZ, Z. AND CANAS, J.-A. 2001.** Preliminary map of soil's predominant period in Barcelona using microtremors. *Pure and Applied Geophysics*, 158, pp. 2499-2511.
- AYMÉ, A. 1964.** Carte géologique d'Alger au 1/50 000. *Service de la Carte Géologique de l'Algérie.*
- BARD, P.-Y. AND BOUCHON, M. 1985.** The two-dimensional resonance of sediment-filled valleys. *Bulletin of the seismological Society of America*. 75, pp. 519-541.
- BENSALEM, R., CHATELAIN, J.-L., MACHANE, D., OUBAICHE, EL.-H., HELLEL, M., GUILLIER, D., DJEDDI, M. AND DJADIA, L. 2010.** Ambient vibration techniques applied to explain heavy damages caused in Corso (Algeria) by the 2003 Boumerdes Earthquake: understanding seismic amplification due to gentle slopes. *Seismological Research Letter*, 81, 6. doi : 10.1785 / gssr.1.81.6. 928p.
- BENIDIR, N. ET FERNANE, L. 2010.** Détermination des fréquences de résonance du sol par la méthode H/V-bruit de fond dans la région d'Hussein Dey. *Mémoire d'Ingénieur, ENSSMAL*, 40 p.
- BORCHERDT, R.-D. 1970.** Effects of local ground motion near San Francisco Bay. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 60, pp. 29-61.
- BOUNIF, A., DORBATH, C., AYADI, A., MEGHRAOUI, M., BELDJOUDI, H., LAOUAMI, N., FROGNEUX, M., SLIMANI, A., ALASSET, P.-J., KHARROUBI, A., OUSADOU, F., CHIKH, M., HARBI, A., LARBES, S. AND MAOUCHE, S. 2004.** The 21 May 2003 Zemmouri (Algeria) earthquake Mw = 6.8: relocation and aftershocks sequence analysis. *Geophysical Research Letters*, 31, L19606; doi: 10.1029/2004GL020586.
- CARA, F., CULTRERA, G., AZZARA, R.-M., DE RUBEIS, V., DI GIULIO, G., GIAMMARINARO, M.-S., TOSI, P., VALLONE, P. AND ROVELLI, A. 2008.** Microtremor measurements in the city of Palermo, Italy: analysis of the correlation with local geology and damage. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98, doi: 10.1785/ 01200 60 260, pp. 1354-1372.
- CGS. 2003.** Règles Parasismique Algériennes, RPA99/ version 2003. D.T.R.-B.C 2, 48.

M. HELLEL, J.-L. CHATELAIN, G. CHEIKHLOUNIS, D. MACHANE, E.-H. OUBAICHE, R. BENSALÉM,
B. GUILLIER, N. BENIDIR ET L. FERNANE.

- CHATELAIN, J.-L., GUÉGUEN, P., GUILLIER, B., FRÉCHET, J., BONDOUX, F., SARRAULT, J., SULPICE, P. AND NEUVILLE, J.-M. 2000. Cityshark: a user-friendly instrument dedicated to ambient noise (microtremor) recording for site and building response studies. *Seismological Research Letters*, 71(6), pp. 698–703.
- CHATELAIN, J.-L., GUILLIER, B. AND PARVEZ, I.-B. 2008a. False site effects: the Anjar case, following the 2001 Bhuj (India) earthquake. *Seismological Research Letters*, 79 (6), doi: 10.1785/gssrl.79.6.816. pp. 816-819.
- CHATELAIN, J.-L., GUILLIER, B., CARA, F., DUVAL, A.-M., ATAKAN, K. AND BARD, P.-Y. THE WP02 SE-SAME TEAM. 2008b. Evaluation of the influence of experimental conditions on H/V results from ambient noise recordings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 6, doi: 10.1007/s1 0518-007-9040-7. pp. 33-74.
- CLOTAIRE, M., GUÉGUEN, P. ET BARD, P.-Y. 2007. Comparaison entre calculs de vulnérabilité sismique et propriétés dynamiques mesurées. 7^{ème} Colloque National AFPS 2007 – Ecole Centrale Paris.
- DEVERCHÈRE, J., YELLES, K., DOMZIG, A., MERCIER DE LÉPINAY, B., BOUILLIN, J.-P., GAULLIER, V., BRACÈNE, R., CALAIS, E., SAVOYE, B., KHERROUBI, A., LE ROY, P., PAUC, H. AND DAN, G. 2005. Active thrust faulting offshore Boumerdes, Algeria, and its relations to the 2003 Mw 6.9 earthquake. *Geophysical Research Letter*, 32, L04311, doi:10.1029/2004GL021646.
- DUVAL, A.-M., VIDAL, S., MÉNEROUD, J.-P., SINGER, A., DE SANTIS, F., RAMOS, C., ROMERO, G., RODRIGUEZ, R., PERNIA, A., REYES, N. AND GRIMAN, C. 2001. Caracas, Venezuela, site effect determination with microtremors. *Pure and Applied Geophysics*, 158, pp. 2513-2523.
- FAH, D., RUTTENER, E., NOACK, T. AND KRUSPAN, P. 1997. Microzonation of the city of Basel. *Journal of Seismology*, 1, pp. 87–102.
- GAO, S., LIU, H., DAVIS, P.-M. AND KNOPOFF, L. 1996. Localized amplification of seismic waves and correlation with damage due to the Northridge earthquake: evidence for focusing in Santa Monica. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 6, 1B, S209-S230.
- GUÉGUEN, P., CHATELAIN, J.-L., GUILLIER, B., YEPES, H. AND EGRED, J. 1998. Site effect and damage distribution in Pujili (Ecuador) after the 28 March 1996 earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 17, pp. 329-334.
- GUÉGUEN, P., CHATELAIN, J.-L., GUILLIER, B. AND YEPES, H. 2000. An indication of the soil topmost layer response in Quito (Ecuador) using noise H/V spectral ratio. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 19, 2, doi:10.1016/S0267-7261(99)00035-4.
- GÉLI, L., BARD, P.-Y. AND JULLIEN, B. 1988. The effect of topography on earthquake ground motion: a review and new results. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78, pp. 42-63.
- GRAVES, W.G. 1993. Modeling three-dimensional site response effects in the Marina district basin, San Francisco, California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83, pp. 1042-1063.
- GUILLIER, B., CHATELAIN, J.-L., HELLEL, M., MACHANE, D., MEZOUEUR, N., BEN SALEM, R. AND OUBAICHE, E.-H. 2005. Smooth bumps in H/V curves over a broad area from single-station ambient noise recordings are meaningful and reveal the importance of Q in array processing : the Boumerdes (Algeria) case. *Geophysical Research Letter*, 32 (24), L24306, doi:10.1029/2005GL023726.
- HARTZELL, S.-H., LEEDS, A., FRANKEL, A. AND MICHAEL, J. 1996. Site response for urban Los Angeles using aftershocks of the Northridge earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86, S168–S192.
- HARTZELL, S. 1998. Variability in nonlinear sediments response during the 1994 Northridge, California, earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88, pp. 1426–1437.
- HELLEL, M., CHATELAIN, J.-L., GUILLIER, B., MACHANE, D., BEN SALEM, R., OUBAICHE, E.-H. AND HADDOUM, H. 2010. Heavier damages without site effects and site effects with lighter damages : Boumerdes city (Algeria) after the May 2003 earthquake. *Seismological Research Letter*, doi: 10.1785/gssrl. vol. 81, n°1, pp. 34-40.

ÉVALUATION DES FRÉQUENCES DE RÉSONANCE DU SOL PAR LA MÉTHODE H/V-BRUIT AMBIANT DANS LA ZONE D'HUSSEIN DEY-CAROUBIER (BAIE D'ALGER).

- JICA. 2006.** Étude de Microzonage Sismique de la Wilaya d'Alger. *Rapport interne*, 319p.
- KAWASE, H. 1996.** The cause of the damage belt in Kobe : "The basin-edge effect" Constructive interference of the direct s-wave with the basin-induced diffracted/rayleigh waves. *Seismological Research Letter*, 67(5), pp. 25–34.
- KONNO, K. ET OHMACHI, T. 1998.** Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88-1, pp. 228-241.
- LERMO, J., RODRIGUEZ, M. AND SINGH, S.-K. 1988.** The Mexico earthquake of September 19, 1985: natural period of sites in the valley of Mexico from microtremor measurements and from strong motion data. *Earthquake Spectra*, 4, 4, pp. 805-814.
- MEGHRAOUI, M. 1988.** Géologie des zones sismiques du Nord de l'Algérie. Paléosismologie, tectonique active et synthèse sismotectonique. *Thèse de Doctorat Université Paris VI, France*, 356p.
- NAKAMURA, Y. 1989.** A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Report Railway Technological Research Institute*, 30, 1, pp. 25–33.
- NOGOSHI, M. ET IGARASHI, T. 1971.** On the amplitude characteristics of microtremor (part. 2). *Journal of Seismological Society of Japan*, 24, pp. 26-40.
- PANOU, A.-A., THEODULIDIS, N., HATZIDIMITRIOU, P., STYLIANIDIS, K. AND PAPAACHOS, C. 2005.** Ambient noise horizontal-to-vertical spectral ratio in site effects estimation and correlation with seismic damage distribution in urban environment: the case of the city of Thessaloniki (Northern Greece). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25, pp. 261-274, doi :10.1016/j.soildyn. 2005. 02.004.
- PEDERSEN, H., SANCHEZ-SESMA, F.-J. AND CAMPILLO, M. 1994.** Three-dimensional scattering by two dimensional topographies. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, pp. 1169-1183.
- SESAME PROJECT 2005.** User Guideline for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibration: measurement, processing and interpretation. *European Commission – Research General Directorate Project N°. EVG1-CT-2000-00026 SESAME*, report D23.12, <http://SESAME-fp5.obs.ujf-grenoble.fr>, 62 p.
- TEVES-COSTA, P., OLIVEIRA, C.-S. AND SENOS, M.-L. 2007.** Effects of local site and building parameters on damage distribution in Angra do Heroísmo - Azores. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27, doi: 10.1016/j.soildyn.2007.03.006. pp. 986–999.
- THEODULIDIS, N., CULTRERA, G., DE RUBEIS, V., CARA, F., PANOU, A., PAGANI, M. AND TEVES-COSTA, P. 2008.** Correlation between damage distribution and ambient noise H/V spectral ratio: the SESAME project results. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 6, doi :10.1007/s10518-008-9060-y, pp. 109-140.
- TRIFUNAC, M.-D. AND TODOROVSKA, M.-I. 2000.** Long period microtremors, microseism and earthquake damage: Northridge, C.A. earthquake of 17 January 1994. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2000, 19(4), 253–67. [3], pp. 253-267.