

CONTRIBUTION AUX ANALYSES DES EFFETS DE SITE : CARTOGRAPHIE DE L'ÉPAISSEUR DES SEDIMENTS DANS LE BASSIN DE LA MITIDJA (ALGERIE) A TRAVERS LE BRUIT AMBIANT

CONTRIBUTION TO THE SITE EFFECTS ANALYSES: MAPPING THE THICKNESS OF SEDIMENTS IN THE MITIDJA BASIN (ALGERIA) USING AMBIENT NOISE

Réception : 03/12/2020

Acceptation : 13/12/2020

Publication : 02/01/2021

TEBBOUCHE Mohamed Yacine^{1,2}, Master, PhD Student,
AIT BENAMAR Dalila², Magister.

¹Laboratoire de Géophysique. (FSTGAT). Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB), BP32 El Alia, Bab Ezzouar, Alger, Algérie, ytebbouche@usthb.dz

²Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS), H-Dey, Alger, Algérie.

Résumé—Le bassin de la Mitidja se caractérise par un substratum rocheux très profond recouvert par un remplissage sédimentaire dépassant les 500 m d'épaisseur. Les propriétés de ce remplissage ainsi que son épaisseur jouent un rôle très important dans les analyses et la quantification des effets de site. Mis à part les zones bordières du bassin, aucun sondage n'a atteint le substratum rocheux, cependant une étude hydrogéologique réalisée sur l'ensemble du bassin, a pu mettre en évidence ces formations sédimentaires en termes de résistivité mais l'information dans toute son intégralité demeure méconnue. Dans le but d'analyser les effets de site, et estimer les épaisseurs des sédiments, la méthode H/V a été donc appliquée comme un outil complémentaire aux données des forages hydrogéologiques, pour permettre la cartographie de la base du Pliocène sur toute l'étendue du bassin. Dans un premier temps, les acquisitions H/V ont été mesurées à l'emplacement des SEV qui ont atteint le substratum rocheux et les fréquences de résonance ont été déterminées. Ainsi, une relation empirique entre l'épaisseur des sédiments et les fréquences de résonance a été établie. L'application de cette relation a révélé son utilité pour déterminer la profondeur d'un bassin avec une excellente qualité de précision et une erreur acceptable sur les profondeurs calculées. Ces erreurs sont dues à la simplification du problème que cette méthode implique : elle exige que la vitesse de propagation des ondes de cisaillement varie constamment avec la profondeur dans toute la région étudiée, ce qui n'est pas toujours le cas. Cette méthode n'est donc pas valable lorsqu'il n'y a pas de contraste d'impédance entre la colonne sédimentaire et le substratum rocheux ou lorsque la vitesse de cisaillement varie irrégulièrement (inversion de vitesses) avec la profondeur dans la zone d'étude.

Mots - clés : Méthode H/V, Bruit ambiant, Bassin de la Mitidja, Amplification.

Abstract—The Mitidja Basin is characterized by a very deep bedrock covered by a sedimentary formations exceeding 500 m thick. The properties of this fill as well as its thickness play a very important role in the site effects analysis and quantification. Apart from the basin's edge zones, no boreholes have reached the bedrock. However, a hydrogeological study carried out over the entire basin was able to highlight these sedimentary formations in terms of resistivity, but the information in its entirety remains unknown. In order to analyze the site effects, and to estimate the sediment thicknesses, the H/V method was thus applied as a complementary tool to the hydrogeological boreholes data, thus allow the mapping of the Pliocene basement over the whole basin. Initially, H/V acquisitions were measured at the location of SEV that reached the bedrock and resonance frequencies were determined. Therefore, an empirical relationship between sediment thickness and resonance frequencies was established. The application of this relationship has revealed its usefulness in determining the depth of a basin with an excellent quality of precision, and an acceptable error on the calculated depths. This error is due to the simplification of the problem that this method implies: it requires that the shear wave velocity varies constantly with depth over the entire studied region, which is not always the case. This approach is therefore not valid when there is no impedance contrast between the sedimentary column and the bedrock, or when the shear wave velocity varies unevenly (velocity inversion) with the depth in the study area.

Keywords: HVSR, Ambient noise, Mitidja basin, Amplification.

1-Introduction

Le comportement dynamique des formations meubles, dans les bassins sédimentaires, a une influence sur les ondes vibratoires sismiques [1, 2, 3]. Afin d'évaluer de manière complète les effets de résonance d'un bassin sédimentaire, un modèle 3D de la distribution des propriétés physiques du remplissage sédimentaire est nécessaire. Déterminer la distribution des vitesses des ondes de cisaillement (V_s) et les propriétés d'atténuation des couches sédimentaires meubles de grande étendue, revient à utiliser des méthodes d'exploration efficaces. Parmi ces méthodes, la méthode H/V bruit de fond qui exploite les propriétés du bruit ambiant. Nakamura [4] a suggéré d'utiliser le rapport spectral des composantes horizontales et verticales (H/V) comme mesure de la fonction d'amplification des couches sédimentaires meubles.

La méthode H/V bruit de fond a été largement utilisée dans les microzonages sismiques et les études des effets de site, notamment dans les bassins sédimentaires [5 & 6]. La principale condition de la réussite de son application réside dans un contraste d'impédance entre la colonne sédimentaire et un substratum rocheux sur lequel repose cette dernière. Cependant, les effets 3D et les fortes hétérogénéités rendent son utilisation délicate et peuvent empêcher son application dans de telles conditions. La méthode H/V, rapide et peu coûteuse, permet une estimation de la fréquence de résonance fondamentale des sédiments sans connaître la structure géologique ni les paramètres physiques du sol telle que la vitesse de cisaillement (V_s). La corrélation de cette technique avec d'autres essais géologiques et géophysiques (sondage électrique verticale SEV) atteignant le substratum permet d'établir une relation directe entre la fréquence de résonance et l'épaisseur des sédiments sans utiliser les V_s auxquelles les deux paramètres sont liés [7]. Des études de cas où la technique H/V a été utilisée, montrent qu'en général, pour un fort contraste d'impédance entre une colonne sédimentaire et un substratum rocheux, le pic H/V de la fréquence fondamentale, peut être corrélé empiriquement avec l'épaisseur globale des sédiments [8 & 9]. En revanche, si le bruit vibratoire ambiant est dominé par les ondes de surfaces, les spectres H/V donnent des

fonctions d'amplification qui ne sont pas représentatives [10].

L'analyse des effets de site nécessite une connaissance plus au moins détaillée des formations géologiques ainsi que leurs propriétés. Dans le cas des bassins sédimentaires où le substratum est surmonté par des formations sédimentaires, l'épaisseur de ces dernières est considérée comme un paramètre indispensable. Cette information peut être facilement connue dans les zones géologiquement bien documentées. Dans le cas contraire, l'épaisseur des sédiments peut être approchée rapidement et avec peu de contraintes grâce à la technique (H/V) tel que ça été fait dans plusieurs cas à travers le monde [11 – 20] et en Algérie [21 - 24]

Dans la présente étude, la méthode H/V a été appliquée dans le bassin de la Mitidja afin de déduire la réponse fréquentielle du sol qui sera d'une grande utilité pour l'étude des effets de site, notamment dans les bassins qui sont connus par leur nature amplifiante. Les résultats serviront à établir une corrélation entre les données géologiques (épaisseur des sédiments) et les fréquences propres du sol, ceci servira comme relation empirique dans l'évaluation des effets de site.

2-Cadre Géologique

Le bassin de la Mitidja fait partie de la série des bassins néogènes de l'Algérie du Nord qui se sont formés au cours de la phase de distension du Miocène suivant une direction N-S, l'évolution de cette distension est l'œuvre d'une déformation extensive, qui s'est poursuivie depuis pratiquement le Villafranchien jusqu'à l'Actuel par une déformation compressive. La morphologie de la dépression de la Mitidja montre les grands traits morpho-structuraux. Vers le sud, ce bassin est limité par une anomalie géomorphologique marquée par le chevauchement des terrains miocènes post-nappes sur le Pliocène. Vers le Nord, la Mitidja est limitée par le pli anticlinal du Sahel. A l'Est, ce bassin est limité par le massif de Thénia. Les études géologiques réalisées sur les bordures du bassin par Glangeaud [25], Lepvrier [26] montrent qu'il s'agit d'un synclinal mio-plio-quadernaire.

Des dépôts sédimentaires importants caractérisent le bassin de la Mitidja, ils vont du Quaternaire jusqu'au Tertiaire. Le quaternaire est formé essentiellement de sols meubles, de dépôts alluviaux en surface, reposant sur des limons et des argiles qui sont parfois sableuses. Ces facies quaternaires surmontent ceux du Tertiaire. L'ensemble repose sur des formations d'âge plaisancienne et astien marqués principalement par des grès et des marnes bleues (marne de la maison carrée). Selon Bonneton (1977) [27] les formations d'âge miocène sont recouvertes par ces facies plaisanciens et astiens, et recouvrent à leur tour le substratum mésozoïque d'âge Crétacé [28].

Les profondeurs du substratum du bassin de la Mitidja demeurent méconnues. Pour les besoins de notre étude, les épaisseurs obtenues par des sondages électriques verticaux (SEV) réalisés dans le cadre de l'étude hydrogéologique du bassin de la Mitidja [29], ont été utilisées pour la calibration des fréquences des rapports spectraux H/V.

3-Méthodologie

Les méthodes basées sur le bruit sismique ambiant, et notamment la méthode H/V, utilisent les propriétés du bruit ambiant pour estimer les fréquences de résonance du sol (effet de site 1D). Cette méthode a l'avantage d'être simple et rapide. Cette technique a été proposée pour la première fois au Japon par Nogoshi et Igarashi [30], puis diffusée par Nakamura [4]. Depuis, cette méthode connaît une utilisation plus fréquente surtout pour l'étude des effets de site.

La méthode « H/V bruit de fond » consiste à enregistrer le bruit de fond sismique du site et à calculer le rapport spectral entre les signaux obtenus sur les composantes horizontales et ceux des composantes verticales. Le pic de la courbe en fonction de la fréquence de ce rapport donne la fréquence de résonance du sol f_0 et sa valeur. La théorie de cette méthode est encore un domaine de recherche, sa validité expérimentale semble très bien établie. Pour des effets de site 1D, la fréquence de résonance f_0 de la couche, est proportionnelle à la vitesse des ondes de cisaillement V_s et inversement proportionnelle à quatre fois l'épaisseur H de cette couche [32], ainsi : $f_0 = \frac{V_s}{4H}$

Plusieurs études ont été menées afin d'obtenir une explication physique de cette méthode [32 - 39]. Un consensus assez général se dégage de la communauté scientifique quant à la fiabilité de ce rapport, notamment pour l'estimation de la fréquence propre du sol [11].

Les études portant sur la compréhension du rapport H/V sont cependant peu nombreuses par rapport à celles dédiées aux diverses applications de la méthode de Nakamura et surtout celles concernant le microzonage sismique [40 - 56].

En ce qui concerne la reconnaissance géologique, certains auteurs [31, 9, 35, 52, 53] ont élaboré des relations empiriques entre la fréquence de résonance du sol et l'épaisseur des sédiments. En effet, la méthode H/V peut être utilisée comme un outil de prospection dans les zones où les épaisseurs des formations géologiques sont méconnues [57]. Cette technique consiste à établir une corrélation entre la fréquence f_0 et l'épaisseur H et nécessite un nombre important de points dont l'épaisseur des sédiments est connue. Il s'agit généralement de données de sondages ou forages. Par ailleurs, les données géophysiques provenant de sondages électriques verticaux peuvent être exploitées. Il est important que la plage de profondeur des données d'entrée couvre toute la gamme de profondeurs que nous avons l'intention de cartographier.

Sur la base du diagramme fréquence (f) - épaisseur (Z), les paramètres (a , b) de la loi exponentielle sont définis [9] à l'aide des formules les mieux adaptées. L'équation ci-dessous Eq. (1) représente une simplification du problème, car les deux variables (f) et (z) sont liées à la vitesse V_s . Sachant que V_s augmente avec le poids des terres sous l'effet d'une contrainte verticale, qui est en revanche proportionnelle à la profondeur des sédiments.

$$Z = af^b(1)$$

Ibs-Von Seht et Wohlenberg [9] ont étudié les deux paramètres (f) et (z) et ont démontré qu'il est possible d'établir une relation directe entre ces deux paramètres sans connaître la valeur des V_s . Dans cette relation Eq. (1), on suppose que les propriétés des sédiments ne varient pas dans la zone d'étude. Dans les zones

où les caractéristiques géologiques des sédiments sont très variables, la fiabilité de la corrélation sera forcément faible [35].

Une étude comparative, entre les relations publiées faites par Gosar [58], montre que le paramètre (*b*) est plus au moins similaire, tandis que (*a*) est spécifique pour chaque région, confirmant ainsi ce qui a été déjà proposé par Delgado et al., [35]. Il convient également de considérer que le paramètre (*b*) a plus d'influence sur la relation fréquence-profondeur car il existe une dépendance exponentielle alors que la dépendance pour le paramètre (*a*) est uniquement linéaire.

Pour l'acquisition et le traitement des données ainsi que les critères d'identification des pics H/V, nous avons suivi les recommandations de SESAME [11] (<http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr>, projet européen) et de Châtelain et al., [14].

Plusieurs centaines d'enregistrements de bruit de fond ont été réalisés, au niveau du bassin de la Mitidja, à l'aide de la station CityShark II, décrite par Châtelain et al., [59 & 60], équipée d'un sismomètre Lennartz 5-secondes à trois composantes. Le sismomètre est positionné, nivelé d'une des composantes horizontales. Les enregistrements ont été réalisés avec un pas d'échantillonnage de 200 Hz pendant une durée de 30 minutes.

4-Relation entre l'épaisseur et la fréquence H/V (résultats et discussion)

Cent cinq (105) points d'acquisition H/V bruit de fond ont été considérés, dont 49 enregistrements ont été effectués directement au-dessus des emplacements des SEV. Pour assurer la fiabilité des courbes H/V, on a suivi les trois critères de traitement des recommandations de SESAME [11] : 1) choix de la fenêtre de traitement, 2) nombre de fenêtre et de cycle, 3) écart-type du pic d'amplitude H/V.

L'intercalation des couches géologiques avec un contraste d'impédance élevé a fait que plusieurs courbes sont marquées par la présence de plusieurs pics de basses fréquences, ce qui a rendu le choix des fréquences un peu difficile.

Pour les 49 points réalisés au-dessus des SEV, les fréquences de résonance obtenues ont été corrélées avec les profondeurs des SEV (Z_{sev}) atteignant la base du Pliocène. Ces données sont présentées dans le tableau Tab. 1. Les paramètres d'ajustement optimal (Fig.2) de la loi de régression sont obtenus comme suit:

$$Z = 125,28f_0^{-1.357} \quad (2)$$

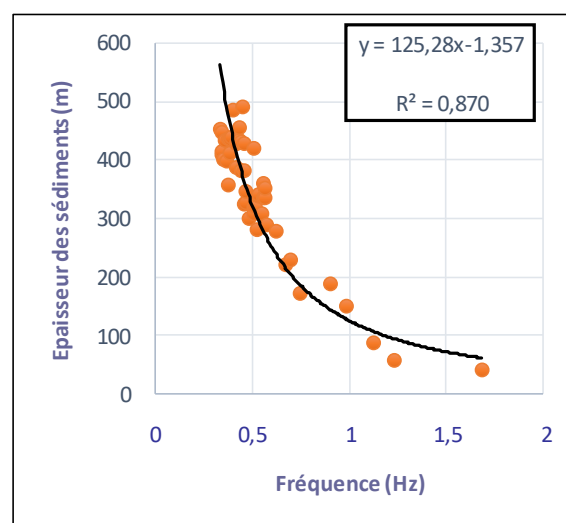


Figure 1 : Fréquences fondamentales des pics H/V en fonction de l'épaisseur totale des sédiments. L'équation exprime l'ajustement optimal de la relation exponentielle.

Figure 1: Frequencies of fundamental peaks of H/V ratios versus the total thickness of sediment. The equation describes the best fit of the exponential relation.

Tableau 1 : Données utilisées pour le calcul de la fonction de corrélation. (Z_{sev}) épaisseurs des sédiments basées sur les (SEV); (Z_{calc}) épaisseurs des sédiments calculées en utilisant la loi de régression obtenue par Eq. (1) ; ($\Delta Z / Z$) différence relative entre (Z_{sev}) et (Z_{calc}).

Table 1: Data used for the computation of the correlation function. (Z_{sev}) sediment thicknesses based on (SEV); (Z_{calc}) sediment thicknesses calculated using the regression law obtained by Eq. (1); ($\Delta Z / Z$) average relative difference between (Z_{sev}) and (Z_{calc}).

$f(\text{Hz})$	$Z_{sev} \text{ (m)}$	$Z_{calc} \text{ (m)}$	$\Delta Z/Z \text{ (%)}$
0,331	453	535	18
0,343	411	535	30
0,343	415	535	29
0,343	448	535	19
0,350	402	521	30
0,356	435	509	17
0,370	398	483	21
0,377	358	471	31
0,378	437	469	7
0,384	413	459	11
0,384	436	459	5
0,391	439	448	2
0,398	486	437	10
0,413	388	416	7
0,413	428	416	3
0,413	430	416	3
0,437	434	385	11
0,437	455	385	15
0,444	433	377	13
0,445	382	376	2
0,453	493	367	26
0,462	384	357	7
0,462	429	357	17
0,462	326	357	10
0,470	329	349	6
0,470	347	349	1
0,479	301	340	13
0,506	421	316	25
0,506	319	316	1
0,506	309	316	2
0,516	320	307	4
0,525	281	300	7
0,535	340	293	14

0,535	342	293	14
0,545	308	285	7
0,555	337	279	17
0,555	360	279	23
0,566	336	271	19
0,566	352	271	23
0,576	291	265	9
0,621	280	239	15
0,668	221	217	2
0,693	230	206	10
0,747	173	186	8
0,898	189	145	23
0,985	150	128	15
1,120	89	107	21
1,230	59	95	60
1,684	42	62	47

Différence relative moyenne ($\Delta H/H$) (%) 15

Les épaisseurs calculées (Z_{calc}) par rapport aux épaisseurs des données SEV présentent des écarts très acceptables (tab. 1) avec une erreur relative moyenne ($\Delta Z / Z$) de 15 %.

Dans le but de vérifier l'applicabilité de la relation obtenue dans l'exploration des sols, deux cartes du mur du Plio-Quaternaire ont été établies. La première est basée sur les profondeurs tirées de 434 SEV (Fig. 3). La seconde carte est basée sur les points de bruit de fond H/V répartis sur l'ensemble du bassin, pour lesquels la profondeur Z du toit du substratum a été calculée à l'aide de la formule Eq. (2). L'interpolation de toutes les profondeurs a permis d'obtenir la carte du toit du substratum (Fig. 4).

La carte du substrat établie sur la base des SEV montre 3 grandes zones (Fig. 3) qui occupent le bassin de la Mitidja : la zone (A) (hachure rouge) marquée par les plus grandes profondeurs qui dépassent 550 m, plus à l'Est la classe (B) (hachure verte) domine et est caractérisée par des profondeurs faibles à moyennes. On retrouve cette classe notamment dans la partie centrale du bassin qui apparaît comme une anomalie par rapport à la morphologie globale des bassins.

La zone (C) (hachure noire) occupe les bords du bassin où on observe une diminution abrupte de la profondeur, certainement liée aux failles. Dans la partie Sud cette diminution remonte parfois jusqu'à l'affleurement du Miocène [27 & 61]. La comparaison de la carte du substratum établie sur la base des SEV et celle établie par la formule Eq. (2) basée sur les mesures H/V, montre que ces deux cartes sont bien concordantes. On retrouve les 3 classes mentionnées ci-dessus avec une légère différence de dimension, les principales caractéristiques morphologiques en termes de profondeur étant pratiquement les mêmes sur les deux cartes. Ainsi, nous constatons que les profondeurs obtenues par la formule Eq. (2) sont proches des profondeurs réelles, même si une légère différence est observée à certains endroits, notamment là où le choix de la fréquence fondamentale était difficile à faire en raison de la présence de plusieurs pics. Une autre source d'erreur peut être liée aux variations latérales et aux hétérogénéités (effets 2D et 3D) qui sont fortement présentes dans les bassins [62]. De plus, le nombre de points d'acquisition H/V est inférieur aux nombres des SEV utilisés dans l'établissement de la carte du substratum, ce qui pourrait donner après interpolation, des profondeurs non représentatives dans les endroits qui ne sont pas couverts par les acquisitions H/V.

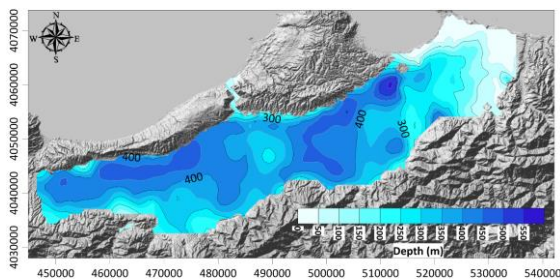


Figure 2 : Carte des profondeurs de la base du Pliocène dans le bassin de la Mitidja, établie à partir des données SEV (Zsev) (Campagne Générale de Géophysique CGG). Rapport d'étude (1967).

Figure 2: Depth map of the Pliocene basement in the Mitidja basin, based on SEV (Zsev) data (General Geophysical Survey CGG). Study report (1967).

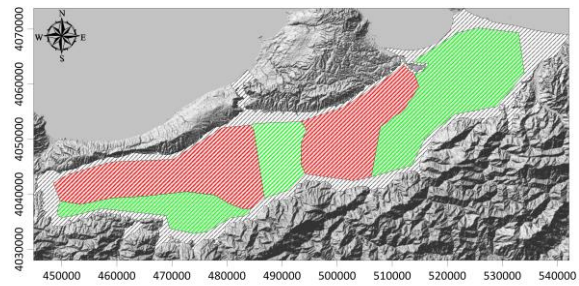


Figure 3 : Carte de la répartition des classes de profondeur. Zones peu profondes à affleurement (hachure noire), zones profondes (hachure verte), très profondes (hachure rouge).

Figure 3: Map of depth classes distribution. shallow to outcrop areas in black hatch, deep zones in green hatch, very deep in redhatch.

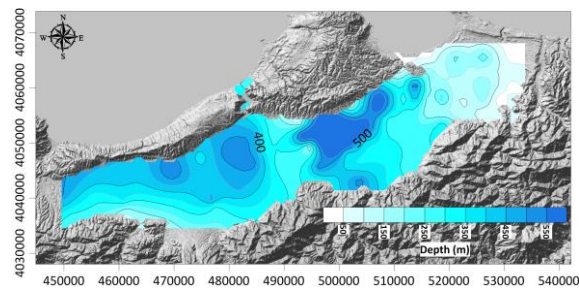


Figure 4 : Carte de profondeur de la base du Pliocène dans le bassin de la Mitidja, calculée à partir des fréquences H/V en utilisant la relation de la fonction de régression Eq. (2)

Figure 4: Pliocene basement depth map in Mitidja basin, calculated from H/V frequencies using the relationship of the regression function Eq. (2)

5-Conclusion

L'étude réalisée dans le bassin de la Mitidja, en se basant sur les données H/V a permis d'établir une relation entre la fréquence de résonance principale du sol et l'épaisseur des formations plio-quadernaires. Les résultats obtenus ont montré que la méthode H/V bruit ambiant peut être utilisée comme un outil complémentaire pour la cartographie des couches sédimentaires ainsi que l'estimation des épaisseurs. On constate qu'il est important de disposer : (i) d'un nombre de données suffisant pour établir une relation fréquence-épaisseur fiable et (ii) des informations géologiques et géophysiques supplémentaires pour sa validation.

Les résultats présentent clairement un coefficient de corrélation élevée entre les deux principales variables de notre analyse. L'application pratique de la relation obtenue a démontré que les estimations de l'épaisseur du sol sont extrêmement satisfaisantes, avec des valeurs très proches des valeurs expérimentales connues. Les résultats obtenus montrent également que la méthode peut être utile pour obtenir des informations sur la structure profonde d'un bassin. Les résultats de la cartographie de l'épaisseur des sédiments dans le bassin de la Mitidja pourraient être utilisés dans des études hydrogéologiques et géotechniques, notamment dans les études des microzonages sismiques et particulièrement dans l'évaluation des effets de site.

Mis à part leur exploitation dans la corrélation, les fréquences des réponses spectrales obtenues dans le bassin de la Mitidja, sont d'une importance majeure et serviront dans l'orientation des études, en particulier le choix des sites d'implantation des structures de grandes hauteurs à l'exemple de la grande mosquée d'Alger et des ouvrages d'art connus par leurs basses fréquences tel que le pont haubané de Mila [62].

6- Références bibliographiques

- [1] Vidale, J. E., Helmberger, D. V., Elastic finite-difference modeling of the 1971 San Fernando, California earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78(1), 122-141.2, 1988.
- [2] Bard, P. Y., Gariel, J. C., The seismic response of two-dimensional sedimentary deposits with large vertical velocity gradients. *Bulletin of the seismological Society of America*, 76(2), 343-366, 1986.
- [3] Rial, J. A., Saltzman, N. G., Ling, H., Earthquake-induced resonance in sedimentary basins. *American Scientist*, 80(6), 566-578, 1992.
- [4] Nakamura, Y., A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using micro tremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1), 1989.
- [5] Lermo, J., Chávez-García, F. J., Are micro tremors useful in site response evaluation, *Bulletin of the seismological society of America*, 84(5), 1350-1364, 1994.
- [6] Bard, P. Y., Micro tremor measurements : a tool for site effect estimation. *The effects of surface geology on seismic motion*, 3, 1251-1279, 1999.
- [7] Bouchelouh, A., Bensalem, R., Zaourar, N., Machane, D., Moulouel, H., & Oubaiche, E. H., The Miocene roof mapping using microtremor recording and electrical survey method in Blida City, Algeria, *Pure and Applied Geophysics*, 175(1), 287-301.
- [8] Yamanaka, H., Takemura, M., Ishida, H., & Niwa, M., Characteristics of long-period micro tremors and their applicability in exploration of deep sedimentary layers. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(6), 1831-1841, 1994.
- [9] Ibs-Von Seht, M., & Wohlenberg, J., Micro tremor measurements used to map thickness of soft sediments. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89(1), 250-259, 1999.

- [10] Scherbaum, F., Hinzen, K. G., Ohrnberger, M., Determination of shallow shear wave velocity profiles in the Cologne, Germany area using ambient vibrations. *Geophysical Journal International*, 152(3), 597-612, 2003.
- [11] SESAME project., Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: measurements, processing and interpretation. European Commission Research General Directorate Project No. EVG1-CT-2000-00026 SESAME, report D23.12, 62 pp. <http://SESAME-fp5.obs.ujf-grenoble.fr>, 2005.
- [12] Guillier, B., Chatelain, J. L., Hellel, M., Machane, D., Mezouer, N., Ben Salem, R., Oubaiche, E. H., 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 Boumerdès (Algeria) case. *Geophysical Research Letters*, 32(24), 2005.
- [13] Bonnefoy-Claudet, S., Cotton, F., Bard, P. Y., The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies : A literature review, *Earth-Science Reviews*, 79(3-4), 205-227, 2006.
- [14] Chatelain, J. L., Guillier, B., Cara, F., Duval, A. M., Atakan, K., Bard, P. Y., Evaluation of the influence of experimental conditions on H/V results from ambient noise recordings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 6(1), 33-74, 2008.
- [15] Pilz, M., Parolai, S., Leyton, F., Campos, J., Zschau, J., A comparison of site response techniques using earthquake data and ambient seismic noise analysis in the large urban areas of Santiago de Chile. *Geophysical Journal International*, 178(2), 713-728, 2009.
- [16] Gallipoli, M. R., Mucciarelli, M., Comparison of site classification from VS 30, VS 10, and HVSR in Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99(1), 340-351, 2009.
- [17] Mainsant, G., Larose, E., Brönnimann, C., Jongmans, D., Michoud, C., Jaboyedoff, M., Ambient seismic noise monitoring of a clay landslide : Toward failure prediction. *Journal of Geophysical Research : Earth Surface*, 117, 2012.
- [18] Vella, A., Galea, P., D'Amico, S., Site frequency response characterization of the Maltese islands based on ambient noise H/V ratios. *Engineering geology*, 163, 89-100, 2013.
- [19] Matsushima, S., Hirokawa, T., De Martin, F., Kawase, H., Sánchez-Sesma, F. J., The Effect of Lateral Heterogeneity on Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio of Micro tremors Inferred from Observation and Synthetics Effect of Lateral Heterogeneity on H/V Spectral Ratio of Micro tremors from Observation and Synthetics. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104(1), 381-393, 2014.
- [20] Rincon, O., Shakoor, A., Ocampo, M., Investigating the reliability of H/V spectral ratio and image entropy for quantifying the degree of disintegration of weak rocks. *Engineering Geology*, 207, 115-128, 2016.
- [21] Bensalem, R., Chatelain, J. L., Machane, D., Oubaiche, E. H., Hellel, M., Guillier, B., Djadia, L., Ambient vibration techniques applied to explain heavy damages caused in Corso (Algeria) by the 2003 Boumerdès earthquake : under standing seismic amplification due to gentle slopes. *Seismological Research Letters*, 81(6), 928-940, 2010.
- [22] Layadi, K., Semmane, F., Yelles-Chaouche, A. K., Site-Effects Investigation in the City of Chlef (Formerly El-Asnam), Algeria, Using Earthquake and Ambient Vibration Data Site-Effects Investigation in the City of Chlef (Formerly El-Asnam), Algeria. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106 (5), 2185-2196, 2016.

- [23] Machane, D., Bouhadad, Y., Cheikhounis, G., Chatelain, J. L., Oubaiche, E. H., Abbes, K., Bensalem, R., Examples of geomorphologic and geological hazards in Algeria. *Natural Hazards*, 45(2), 295-308, 2008.
- [24] Meziani, B., Machane, D., Bendaoud, A., Lounis, G. C., Oubaiche, E. H., Chabane, S., Moulouel, H., Geotechnical and geophysical characterization of the Bouira-Algiers Highway (Ain Turck, Algeria) landslide. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(5), 117, 2017.
- [25] Glangeaud, L., *Étude géologique de la région littorale de la province d'Alger*, 1932.
- [26] Lepvrier, C., Magne, J., Sigal, J., Données stratigraphiques et structurales sur les formations telliennes d'une partie du Tell septentrional (secteur compris entre Cherchell, Miliana, El Asnam et Ténès, Algérie). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7(5), 794-804, 1970.
- [27] BONNETON, J.R., *Géologie de la zone de contact entre Mitidja et Atlas de Blida au Sud d'Alger* (Doctoral dissertation), 1977.
- [28] Bonneton, J. R., Mise en évidence, dans la plaine de la Mitidja, d'accidents profonds. conséquences hydrologiques et pédologiques (Algérie septentrionale), 1979.
- [29] C.G.G (Campagne générale de géophysique)., Etude par prospection électrique dans la plaine de la Mitidja et du Hamiz, 1967.
- [30] Nogoshi M, Igarashi T., On the amplitude characteristics of micro tremor (Part 1), *J. Seismol. Soc. Jpn.* 23:281–303, 1970.
- [31] Haskell, N. A., Crustal reflection of plane SH waves. *Journal of Geophysical Research*, 65(12), 4147-4150, 1960.
- [32] Lermo, J., Chávez-García, F. J., Are micro tremors useful in site response evaluation, *Bulletin of the seismological society of America*, 84(5), 1350-1364, 1994.
- [33] Lachetl, C., Bard, P. Y., Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique. *Journal of Physics of the Earth*, 42(5), 377-397, 1994.
- [34] Kudo, K., Practical Estimates of Site Response State of Art Report. In Proc. 5th International Conf. Seismic Zonation, 1995.
- [35] Delgado, J., Casado, C. L., Estevez, A., Giner, J., Cuenca, A., Molina, S., Mapping soft soils in the Segura river valley (SE Spain): a case study of micro tremors as an exploration tool. *Journal of Applied Geophysics*, 45(1), 19-32, 2000.
- [36] Luzon, F., Al Yuncha, Z., Sanchez-Sesma, F. J., Ortiz-Aleman, C., A numerical experiment on the horizontal to vertical spectral ratio in flat sedimentary basins. In *Earthquake Microzoning* (pp. 2451-2461). Birkhäuser, Basel, 2002.
- [37] Rodríguez, V. H., & Midorikawa, S., Comparison of spectral ratio techniques for estimation of site effects using micro tremor data and earthquake motions recorded at the surface and in boreholes. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 32(11), 1691-1714, 2003.
- [38] Al Yuncha, Z., Luzon, F., Posadas, A., Martin, J., Alguacil, G., Almendros, J., & Sanchez, S., The use of ambient seismic noise measurements for the estimation of surface soil effects: The Motril City case (southern Spain). *Pure and Applied Geophysics*, 161(7), 1549-1559, 2004.
- [39] Bonnefoy-Claudet, S., Nature du bruit de fond sismique : implications pour les études des effets de site (Doctoral dissertation, Grenoble 1), 2004.
- [40] Ansary, M. A., Yamazaki, F., Katayama, T., Statistical analysis of peaks and directivity of earthquake ground motion. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 24(11), 1527-1539, 1995.

- [41] Theodulidis, N. P., & Bard, P. Y., Horizontal to vertical spectral ratio and geological conditions : an analysis of strong motion data from Greece and Taiwan (SMART-1). *Soil dynamics and earthquake engineering*, 14(3), 177-197, 1995.
- [42] Teves-Costa, P., Matias, L., Bard, P. Y., Seismic behavior estimation of thin alluvium layers using micro tremor recordings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 15(3), 201-209, 1996.
- [43] Alfaro, A., Gutierrez, F., Sugagna, T., Figueras, S., Goula, X., Pujades, L., Measurements of micro tremors in Barcelona : a tool for seismic microzonation, In *Proceedings of IAMG (Vol. 97, pp. 22-27)*, 1997.
- [44] Fäh, D., Rüttener, E., Noack, T., Kruspan, P., Microzonation of the city of Basel. *Journal of Seismology*, 1(1), 87-102, 1997.
- [45] Duval, A. M., Méneroud, J. P., Vidal, S., Singer, A., Relation between curves obtained from micro tremor and site effects observed after Caracas 1967 earthquake. In *11th European Conference on Earthquake Engineering*, 1998.
- [46] Guéguen, P., Chatelain, J. L., Guillier, B., Yepes, H., Egred, J., Site effect and damage distribution in Pujili (Ecuador) after the 28 March 1996 earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 17(5), 329-334, 1998.
- [47] Mucciarelli, M., Reliability and applicability of Nakamura's technique using micro tremors : an experimental approach. *Journal of earthquake engineering*, 2(04), 625-638, 1998.
- [48] Al Yuncha, Z., & Luzón, F., On the horizontal-to-vertical spectral ratio in sedimentary basins. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90(4), 1101-1106, 2000.
- [49] Alfaro, A., Pujades, L. G., Goula, X., Susagna, T., Navarro, M., Sanchez, J., & Canas, J. A., Preliminary map of soil's predominant periods in Barcelona using micro tremors. In *Earthquake Microzoning (pp. 2499-2511)*. Birkhäuser, Basel, 2002.
- [50] Ansal, A. M., Iyisan, R., & Güllü, H. (2002). Micro tremor measurements for the microzonation of Dinar. In *Earthquake Microzoning (pp. 2525-2541)*. Birkhäuser, Basel.
- [51] Duval, A. M., Vidal, S., Méneroud, J. P., Singer, A., De Santis, F., Ramos, C., Griman, C., Caracas, Venezuela, site effect determination with micro tremors. In *Earthquake Microzoning (pp. 2513-2523)*. Birkhäuser, Basel, 2002.
- [52] Delgado, J., Alfaro, P., Galindo-Zaldívar, J., Jabaloy, A., Garrido, A. L., De Galdeano, C. S., Structure of the Padul-Nigüelas basin (S Spain) from H/V ratios of ambient noise: application of the method to study peat and coarse sediments. *Pure and Applied Geophysics*, 159(11-12), 2733-2749, 2002.
- [53] Parolai, S., Bormann, P., & Milkereit, C., New relationships between Vs, thickness of sediments, and resonance frequency calculated by the H/V ratio of seismic noise for the Cologne area (Germany). *Bulletin of the seismological society of America*, 92(6), 2521-2527, 2002.
- [54] Maresca, R., Castellano, M., De Matteis, R., Saccorotti, G., Vaccariello, P., Local site effects in the town of Benevento (Italy) from noise measurements. *Pure and Applied Geophysics*, 160(9), 1745-1764, 2003.
- [55] Uebayashi, H., Extrapolation of irregular subsurface structures using the horizontal-to-vertical spectral ratio of long-period micro tremors. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(2), 570-582, 2003.

- [56] Panou, A. A., Theodulidis, N., Hatzidimitriou, P., Stylianidis, K., Papazachos, C. B., 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(4), 261-274, 2005.
- [57] Tebbouche, M. Y., Machane, D., Chabane, S., Oubaiche, E. H., Meziani, A. A., Benamar, D. A., Bendaoud, A., Imagery of the metamorphic bedrock roof of the Sahel active fault in the Sablettes (Algiers) reclaimed area by ambient vibration HVSR. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(13), 292, 2017.
- [58] Gosar, A., & Lenart, A., Mapping the thickness of sediments in the Ljubljana Moor basin (Slovenia) using micro tremors. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8(3), 501-518, 2010.
- [59] Chatelain, J. L., Gueguen, P., Guillier, B., Fréchet, J., Bondoux, F., Sarrault, J., Neuville, J. M., CityShark: A user-friendly instrument dedicated to ambient noise (micro tremor) recording for site and building response studies. *Seismological Research Letters*, 71(6), 698-703, 2000.
- [60] Chatelain, J. L., Guillier, B., Gueguen, P., Fréchet, J., & Sarrault, J., Ambient vibration recording for single-station, array and building studies made simple: City Shark II, 2012.
- [61] Bellon, H., Guardia, P., & Magné, J., Les associations volcaniques du Miocène supérieur de la région oranaise (Algérie occidentale). Conséquences géodynamiques. *Géologie Méditerranéenne*, 11(3), 255-264, 1984.
- [62] Guéguen, P., Cornou, C., Garambois, S., Banton, J., On the limitation of the H/V spectral ratio using seismic noise as an exploration tool : application to the Grenoble valley (France), a small apex ratio basin. *Pure and applied geophysics*, 164(1), 115-134, 2007.
- [63] Kibboua, A., Farsi, M. N., Chatelain, J. L., Guillier, B., Bechtoula, H., & Mehani, Y., Modal analysis and ambient vibration measurements on Mila-Algeria cable stayed bridge. *Structural Engineering and Mechanics*, 29(2), 171-186, 2008.