

ANALYSE DES EFFETS DE SITE ET DES RÉPONSES DES BÂTIMENTS RÉSIDEN- TIELS DANS LA VILLE DE KHARROUBA (BOUMERDÈS)

A. LAIB¹, H. DJOUABI², D. BOUZIANE³ AND N. LAOUAMI⁴

¹ Attaché de recherche, Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique CGS, alaib@cgs-dz.org

² Attaché de recherche, Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique CGS, hdjouabi@cgs-dz.org

³ Ingénieur de Recherche, Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique CGS, dbouziane@cgs-dz.org

⁴ Directeur de recherche, Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique CGS, nlaouami@cgs-dz.org

RÉSUMÉ

Dans ce papier, on s'occupe du phénomène de la résonance des bâtiments résidentiels prévue dans la commune de Kharrouba à Boumerdès dans le nord de l'Algérie durant un futur séisme. L'estimation de ce phénomène est faite en tenant en compte la fréquence prédominante du sol obtenue à partir de la méthode de Nogoshi-Nakamura utilisant les enregistrements de vibrations ambiantes (bruit de fond) et la fréquence prédominante des bâtiments résidentiels utilisant aussi les enregistrements de vibrations ambiantes pour quelques bâtiments et une méthode empirique pour le reste. En d'autres termes, élaborer une carte de vulnérabilité pour les bâtiments résidentiels en termes de résonance sol-structure qui peut être utilisée pour l'évaluation du risque sismique à Kharrouba. En outre, la constitution de cette carte a été utile non seulement pour évaluer le comportement dynamique des bâtiments dans cette commune, mais aussi pour une évaluation quantitative et rapide des dommages des structures après un futur séisme.

La carte du phénomène de résonance probable à Kharrouba élaborée dans cet article montre qu'un nombre important de bâtiments peuvent avoir des fréquences prédominantes proches de celles du mouvement du sol et par conséquent le phénomène de résonance pourrait apparaître si un tremblement de terre se produit dans cette zone.

1. INTRODUCTION

Les effets de site constituent un enjeu majeur dans le domaine du génie parasismique, car l'amplification locale du mouvement sismique peut varier largement. Ce phénomène peut amplifier le mouvement sismique incident et rendre les conséquences sur les structures plus graves. Les sédiments meubles amplifient les mouvements sismiques lors d'un séisme et sont donc plus vulnérable aux dommages causés par les séismes que les couches fermes. Au cours des deux dernières décennies, de nombreuses villes ont connu une croissance considérable et les démographes s'attendent à une tendance similaire pour au moins les deux prochaines décennies. Ces zones urbaines sont fréquemment construites sur des sédiments meubles et un grand nombre est malheureusement situé dans des zones sismiques. Le séisme du Mexique du 19 Septembre 1985 est un bon exemple des dommages causés par le séisme aux cités modernes construites sur des sédiments meubles. Bien que l'épicentre du séisme ait été localisé à environ 350 Km de la ville, les sites avec des dépôts d'argile molle ont montré une énorme amplification du mouvement du sol entraînant des dommages considérables [1]. Durant le séisme de 1985, les ondes sismiques ont été piégées dans des couches meubles. La couche du sol meuble a permis aux ondes de cisaillement de se propager facilement vers le haut. Cependant, la stratification indurée au fond a agi comme un réflecteur et a fait rebondir les ondes se propageant vers le bas. Ce type de piégeage des ondes a créé une résonance et par conséquent a entraîné une amplification énorme du mouvement sismique. Comme résultat, la zone du lit de lac a subi des dommages catastrophiques. Toutefois, dans la partie sud-ouest de la ville, les mouvements sismiques étaient modérés et les dommages aux constructions étaient mineurs. L'accélération enregistrée dans les zones de colline était relativement de faible amplitude, les mouvements sismiques sont à hautes fréquences en comparaison aux mouvements sismiques enregistrés aux stations installées dans la zone du lac qui sont à basses fréquences et grandes amplitudes [2]. L'amplification du mouvement sismique a été observée dans des sites pareils lors du séisme de Loma Prieta d'Octobre 1989 [3]. Des dépôts d'argiles profonds dans des sites aux alentours du périmètre de la baie de San Francisco ont amplifié énormément le mouvement sismique dans la zone de San Francisco et Oakland entraînant des dommages sévères. Le pont de la baie de San Francisco-Oakland, fondé sur un site d'argile profonde, a été gravement endommagé lors de ce séisme.

Durant le séisme de Boumerdès du 21 Mai 2003, les stations les plus proches de l'épicentre installées en champ libre et qui ont enregistré le choc principal, sont les deux stations du barrage de Keddara situées dans la commune de Kharrouba, 20km de l'épicentre. Les effets de site sont confirmés dans cette région par les grandes valeurs de PGA

(Peak Ground Acceleration) enregistrées par ces stations (par rapport à d'autres stations dans la même gamme de distances) situées dans le bassin quaternaire de la Mitidja. Cela suggère l'existence d'effets de site importants qui peuvent affecter les structures dans cette zone, soulignant la nécessité d'une évaluation minutieuse et fiable de la fréquence de résonance du site et le phénomène d'amplification. La résonance du sol durant un séisme peut abattre une petite structure et épargner un gratte-ciel.

Cette question a été abordée depuis longtemps par les scientifiques et les ingénieurs qui ont développé de nombreuses techniques pour identifier les principales caractéristiques des réponses de site pour les dépôts (i.e., les fréquences de résonance et les facteurs d'amplification). Parmi ces techniques utilisées, la méthode utilisant l'enregistrement du bruit ambiant appelée la méthode des rapports spectraux H/V [4, 5, 6]. Cette technique est devenue de plus en plus populaire au cours des dernières décennies car elle offre un outil commode, pratique et peu coûteux pour être utilisé dans les zones urbanisées. Toute la communauté scientifique reconnaît ces capacités dans la détermination des fréquences de résonance, et elle est actuellement très utilisée dans les études de micro zonage sismique.

Le but principal de cet article est d'estimer le phénomène de la résonance des bâtiments résidentiels prévue dans la commune de Kharrouba à Boumerdès durant un futur séisme, en tenant en compte la fréquence prédominante du sol obtenue à partir de la méthode de Nogoshi-Nakamura utilisant les enregistrements de vibrations ambiantes (bruit de fond) et la fréquence prédominante des bâtiments résidentiels en faisant appel aux enregistrements de vibrations ambiantes pour quelques bâtiments et une méthode empirique pour le reste. On élabore une carte de vulnérabilité pour les bâtiments résidentiels en termes de résonance sol-structure qui peut être utilisée pour l'évaluation du risque sismique à Kharrouba. En outre, la constitution de cette carte a été utile non seulement pour évaluer le comportement dynamique des bâtiments dans cette commune, mais aussi pour une évaluation quantitative et rapide des dommages des structures après un futur séisme.

2. SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

La commune de Kharrouba, connue par son important barrage de Keddara qui alimente en eau potable la capitale Alger, est située dans le nord de l'Algérie qui se trouve sur le bord nord de la plaque africaine. Cette plaque converge avec la plaque européenne depuis le Mésozoïque avec un taux de 5-6 mm/an. Cette convergence entre l'Afrique et l'Eurasie est la raison de l'activité sismique et tectonique récente.

Kharrouba est située dans la partie orientale du bassin

quaternaire de Mitidja où le sol est classé comme mou. La Mitidja est l'une des plaines côtières dans l'Atlas tellien et a été formée au Miocène dans une distension N-S. Elle a évolué dans un contexte de compression NS et NNO-SSE, à partir de la fin du villafranchien jusqu'à présent, avec une forme d'un synclinal Plio-Quaternaire [7]. Au Pliocène, dans la Mitidja, la mer dépose des marnes bleues à intercalations gréseuses (1000m). D'une extension d'environ 100 km d'est en ouest et une largeur de 20 km, le bassin de la Mitidja est bordé au nord-ouest par le bloc d'Alger, au sud par l'Atlas Blidéen et à l'est par le bloc cristallin de Thénia (fig.1).

La limite nord-est de la Mitidja est marquée par la faille de Thénia (TF) qui serait le lieu d'une activité sismique. La zone d'étude peut également être affectée par la faille de Kabylie (KF), la faille de Mitidja Sud (SMF) et une faille inverse située au large. Cette dernière serait le prolongement de la faille Mitidja sud dans la mer et elle a causé le séisme du 21 mai 2003, le plus important séisme qui a touché la région de Boumerdès [8].

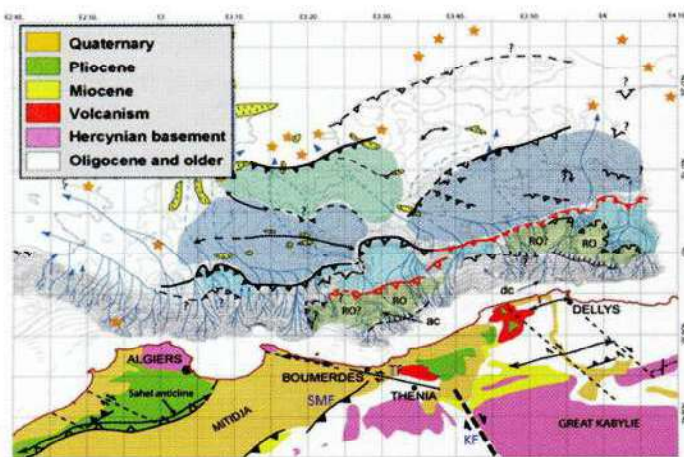


Figure 1. Carte montrant la distribution des dépôts quaternaires et les principales failles actives dans la région Alger-Boumerdès [9]

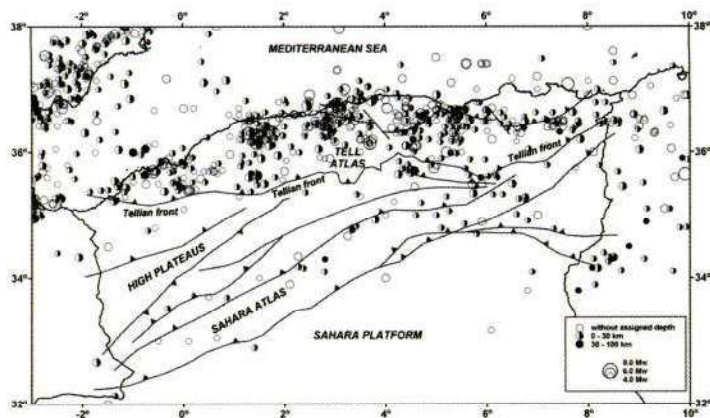


Figure 2. Sismicité et tectonique du nord d'Algérie [10]

Le nord de l'Algérie est une zone réputée être une zone de grande activité sismique, comme en témoigne la carte de la sismicité dans la figure 2 [10]. Au cours des deux dernières décennies, le nord de l'Algérie a connu plusieurs

séismes destructifs modérés à forts. Au niveau de la zone d'étude où les limites sont montrées dans la figure 3, l'activité sismique est moyen à fort (zone IIb) selon la classification du règlement parasismique algérien [11] avec un PGA de 0.35g. Un séisme fort peut causer des dommages graves aux structures et aux infrastructures dans la commune de Kharrouba comme ceux causés par le séisme du 21 Mai 2003 qui est le plus important événement récent dans le nord-est d'Alger qui a causé des dégâts considérables avec plus de 2300 morts et 11450 blessés. L'ensemble de bâtiments dans cette commune est fait en béton armé de type poteaux-poutres parmi lesquels les plus hauts bâtiments comprennent 5 étages.

3. ANALYSE DES DONNÉES

Des enregistrements de vibrations ambiantes ont été effectués en deux jours avec 52 points dans la commune de Kharrouba. Parce que les spectres de vibrations ambiantes peuvent être affectés par les sources proches comme les machines, un soin particulier a été pris dans la mesure du possible pour s'éloigner des perturbations telles que celles des voitures, des machineries lourdes et des appareils électroménagers, etc. Les points de mesure sont distants d'environ 100 à 200 m (fig.3). Dans certains cas, il est impossible de trouver le site approprié pour la mesure et la distribution des points de mesure était désignée pour accomplir une meilleure qualité de la carte des contours de la fréquence de résonance du site.

Les sismomètres utilisés pour la collection des données sont de type 1 Hz à 100 Hz Lennartz LE-3Dlite reliés aux digitaliseurs Kinometrics K2. Au niveau de chaque point de mesure, des vibrations ambiantes ont été enregistrées pour une durée de 30 ou 10 minutes selon le niveau de bruit. Concernant les points de mesure en bas des bâtiments dans lesquels les mesures ont été effectuées pour évaluer leurs fréquences de résonance, la durée d'enregistrement était 30 minutes. Le pas d'échantillonnage choisi pour l'acquisition est de 250 échantillons par seconde. Le sismomètre a été toujours placé directement sur le sol. Les enregistrements de vibrations ambiantes dans les structures sont acquis sur le toit dans le sens longitudinal de l'immeuble. En ce qui concerne les structures où aucune mesure n'a été faite, nous avons recueilli les hauteurs des structures pour estimer leurs fréquences de résonance à partir de la relation empirique période nombre d'étages:

$$T(s) = \frac{\text{Nombre d'étages}}{10} \quad (1)$$

Les courbes de H/V ont été calculées, dans ce travail à l'aide du programme Geopsy (<http://www.geopsy.org>) et les paramètres de traitement ont été choisis selon les recommandations de SESAME pour déterminer la fiabilité

lité de ces courbes (*Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations - measurements, processing and interpretations. SESAME European research project, deliverable D23.12, 2005*). Comme le bruit instrumental élevé peut limiter l'exploitabilité du bruit sismique aux fréquences inférieures à la fréquence propre du capteur et affecter l'estimation de la fréquence de résonance du site, il est donc utile d'analyser les densités spectrales de puissance (PSD) des trois composantes du mouvements du sol enregistrées par l'instrument (lennartz LE-3Dlite) avec un modèle de spectres de bruit sismique avant de passer à la méthode H/V. Peterson [12] présente par exemple deux modèles de spectres de bruit sismique, le New Low Noise Model et le New High Noise Model. La figure 4 montre les trois composantes de PSDs calculées avec le modèle de spectres de bruit sismique de Peterson. Il est clair qu'on ne peut pas mesurer les fréquences de résonance inférieures à celles du capteur dans le cas où le bruit sismique est bas (figure 4a).

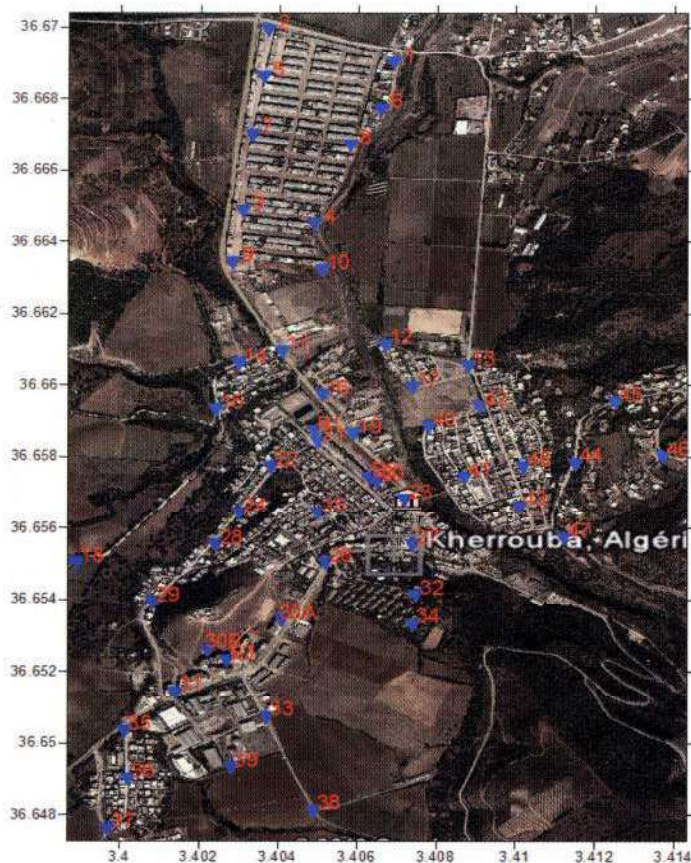


Figure 3. Carte de distribution des points de mesure du bruit de fond dans la région d'étude (commune de Kharrouba)

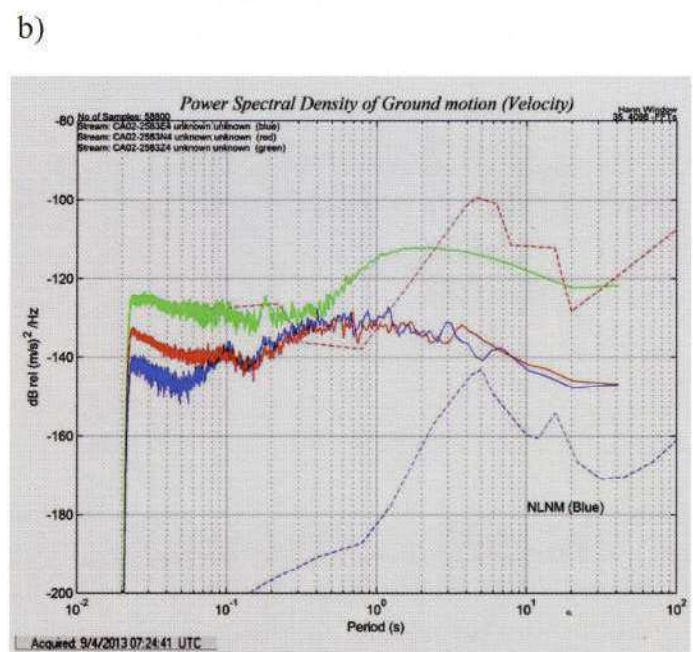
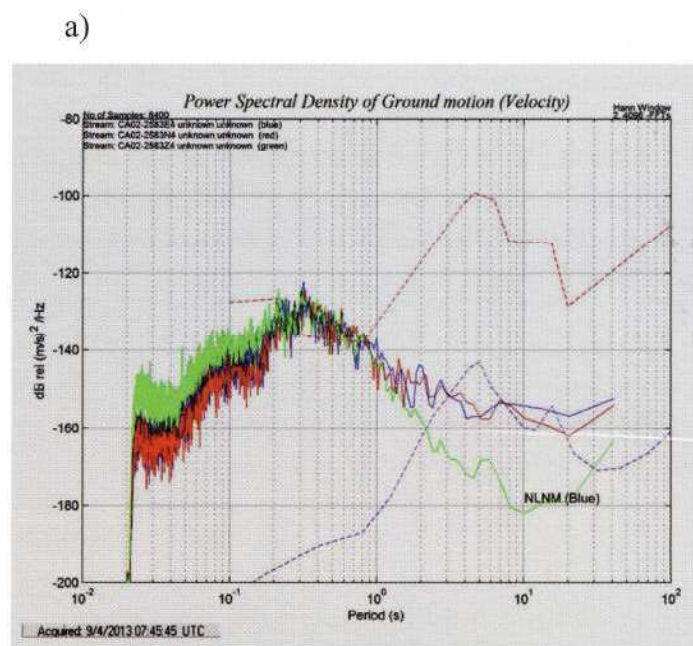


Figure 4. Les trois composantes de PSDs du mouvement calculées avec le modèle de spectre de bruit sismique de Peterson [12]

- a) le bruit sismique est bas
- b) le bruit sismique est élevé

La figure 5 montre un exemple d'enregistrement des vibrations ambiantes et la courbe H/V associée. La majorité des courbes H/V calculées pour la commune de Kharrouba montre un pic clair au niveau de la fréquence de résonance du sol f_0 . Il paraît évident que le site d'étude présente un grand contraste d'impédance en profondeur et il est très probable que le mouvement du sol sera amplifié. f_0 est la fréquence de résonance du site. On prévoit que l'amplification actuelle du site pour les spectres de Fourier, autour de la fréquence de résonance f_0 , est plus large

que l'amplitude de H/V [13]; l'amplification commence à $f_0/2$ et devrait être maximale à f_0 , mais peut se produire au niveau des hautes fréquences même si l'amplitude de H/V reste faible. Si l'épaisseur des couches de sol sous la sta-

tion de mesure est connue, la vitesse moyenne des ondes de cisaillement de la couche de surface peut être estimée par la formule $V_s = f_0 \cdot 4h$

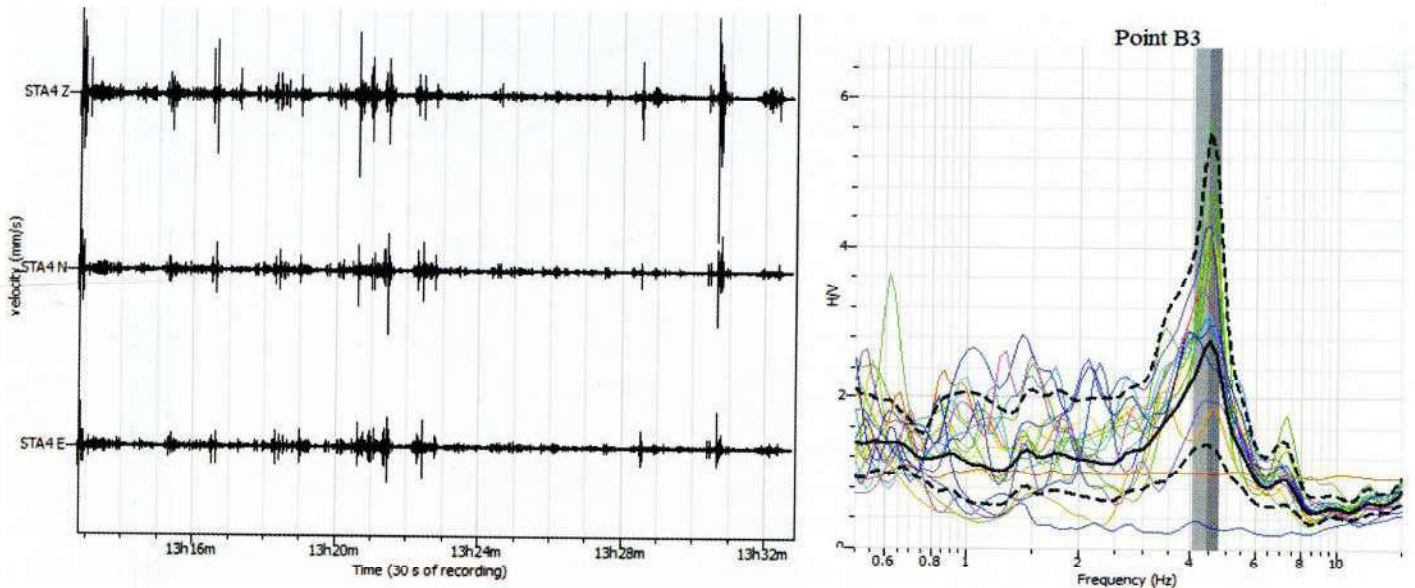


Figure 5. Enregistrements des vibrations ambiantes au point de mesure B3 et courbe H/V respective

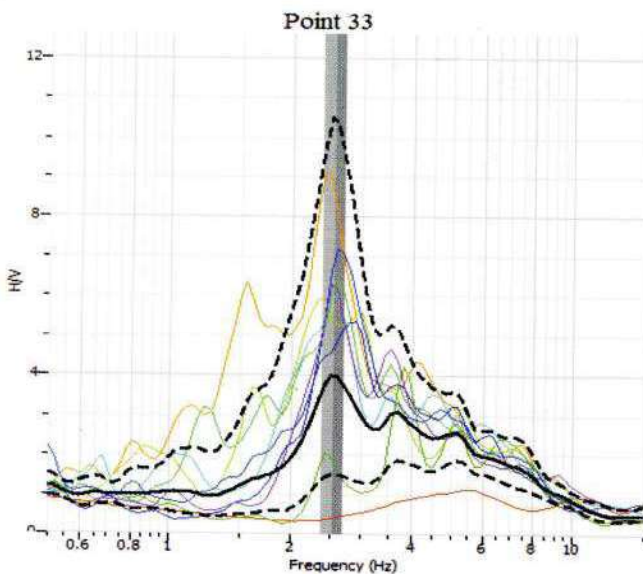


Figure 6. Les courbes H/V estimées au point 33

Néanmoins, les résultats de quelques points de mesure sont différents de ceux cités ci-dessus et le pic n'est pas clair. Les courbes H/V estimés par exemple au point 33 (voir figure 3) sont représentées sur la figure 6. Les courbes ne présentent pas une seule valeur de la fréquence de résonance, mais une large gamme de fréquences de résonance (2,5 Hz - 4 Hz).

En utilisant les données mesurées dans les bâtiments et la surface environnante du sol, les fréquences prédominantes des bâtiments sont calculées par le biais de l'estimation de la fonction de transfert du bâtiment en calculant le rapport spectral entre le signal de l'entrée et celui de la sortie. La figure 7 montre un exemple du rapport spectral évalué en utilisant les

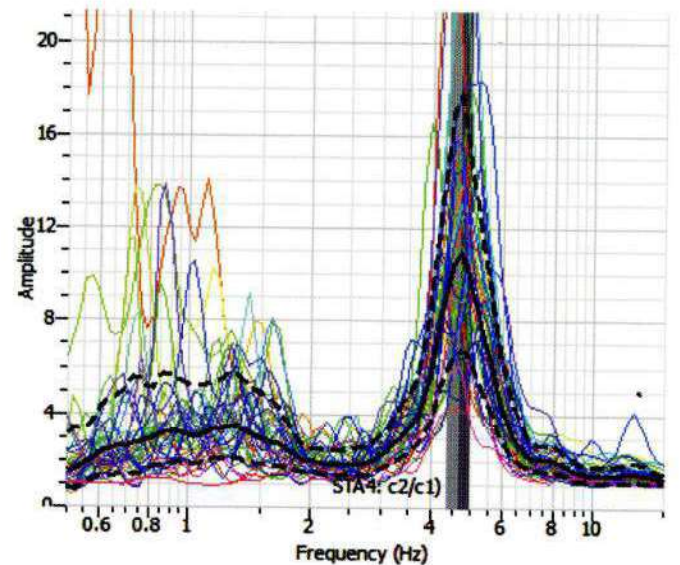


Figure 7. Rapport spectral évalué en utilisant les données horizontales mesurées dans un bâtiment de 5 étages B1

données horizontales mesurées dans un bâtiment B1 de 5 étages (fig. 3) dont la fréquence correspondante est de 4,57 Hz.

4. DISCUSSION DES RÉSULTATS

Afin d'analyser le phénomène de résonance probable dans la commune de Kharrouba, nous avons comparé la fréquence prédominante des bâtiments résidentiels avec la fréquence de résonance de sol sous-jacent. Lorsque les deux fréquences sont presque égales, le rapport entre la fréquence de résonance du sol f_0 et la fréquence prédominante du bâtiment f_{bg} étant compris entre 0.8 et 1.2, nous considérons qu'un effet de

résonance fort est très probable. Ces structures sont marquées sur la carte de vulnérabilité par une couleur rouge. D'autre part, si les deux fréquences sont très différentes, le rapport entre f_0 et f_{bg} est inférieur à 0.5 ou supérieur à 1.5. Les effets de résonance sur le bâtiment sont moins susceptibles et les structures correspondantes sont marquées par une couleur verte sur la carte. Entre ces deux situations, les structures sont marquées par une couleur orange.

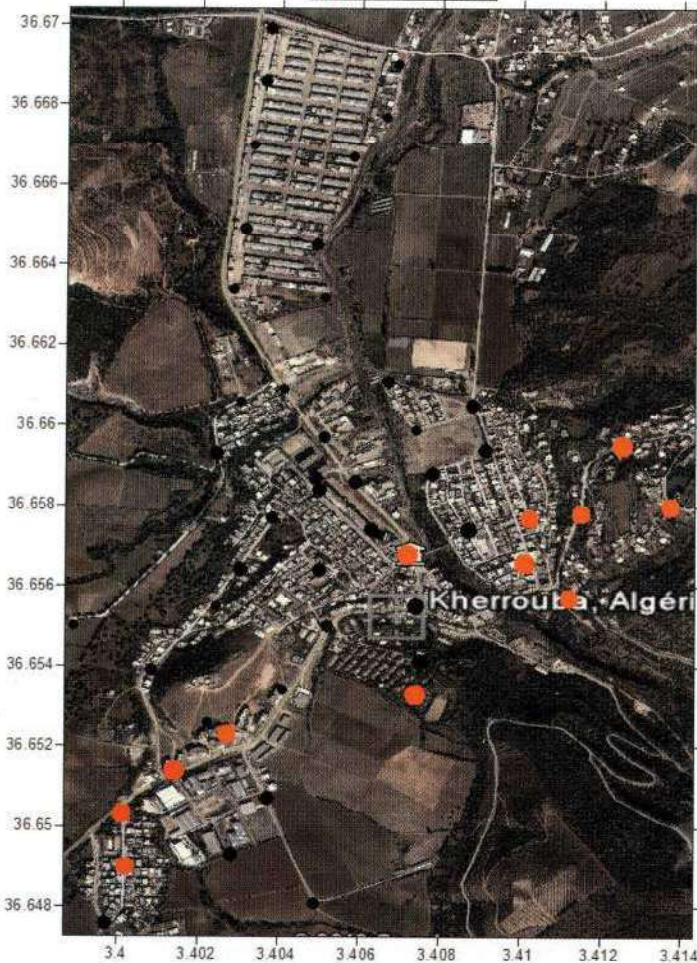
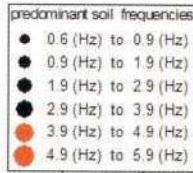


Figure 8. Carte de distribution spatiale des fréquences prédominantes du site dans la commune de Kharrouba

Une carte montrant la distribution spatiale des fréquences prédominantes du site, comme des disques rouges et noirs dont les diamètres sont proportionnels à la valeur de la fréquence, est montrée sur la Figure 8. Les fréquences du sol dans la commune de Kharrouba varient entre 0.64 et 5.8 Hz. On peut constater que 77% des mesures ont des fréquences fondamentales du site inférieures 4 Hz (avec des disques noirs dans la figure 8) ce qui est en accord avec les hypothèses dues au caractère quaternaire des sédiments dans la région. La zone avec des valeurs de fréquences supérieures à 4 Hz (la couleur rouge dans la figure 8) correspond aux frontières de la colline. Ces résultats expliquent les valeurs élevées des accélérations

enregistrées dans cette région lors du séisme de Boumerdès le 21 mai 2003 (0.58 et 0.35g dans la direction E-W et N-S, respectivement). Généralement, les sédiments sont épais à côté de la bande d'Oued. Pour cette raison, des basses fréquences fondamentales sont observées proche d'Oued dans le centre de la commune.

Une carte montrant les contours iso-fréquence, i.e., contours des fréquences prédominantes égales du site, est également tracée avec le Software SURFER [14] dans le cadre de cette étude. Cette carte est montrée sur la Figure 9. Cependant, pour cette carte, prudence doit être prise lors de l'utilisation des données se basant sur l'interpolation entre les stations de mesure. Ceci est particulièrement important lorsque la topographie et la géologie peuvent varier très rapidement sur des distances courtes.

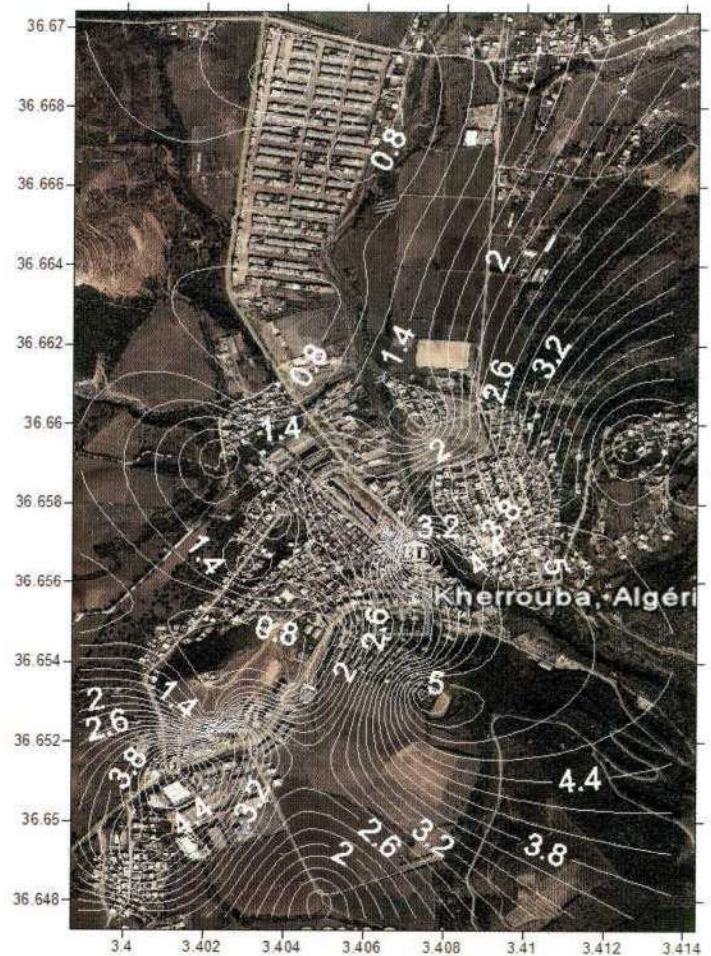


Figure 9. Carte des contours iso-fréquence dans la commune de Kharrouba

Le niveau probable du phénomène de résonance des bâtiments résidentiels dans la commune de Kharrouba a été aussi bien estimé. Une carte du probable phénomène de résonance durant un prochain séisme est montrée sur la figure 10. Cette carte compare la fréquence prédominante du sol f_0 et la fréquence naturelle des bâtiments f_{bg} . Il est montré qu'un nombre important des bâtiments (couleur rouge dans la carte) ont des fréquences prédominantes proches de celles du probable mouvement sismique et par conséquent le phénomène de résonance ferait fortement exciter les bâtiments si un

séisme a lieu dans cette région. Les bâtiments marqués par la couleur jaune dans la carte sont supposés être moins affectés par le phénomène de résonance. En ce qui concerne la couleur verte, la fréquence de résonance du sol et celles des bâtiments sont très différentes.

Le comportement dynamique des bâtiments subit des variations lorsque l'amplitude des secousses augmente. Leurs propriétés modales, i.e. les fréquences de résonance, seront modifiées avec le niveau des dommages [15]. Récemment, l'étude de ce sujet a été réactualisée avec l'hypothèse que la fréquence fondamentale varie avec l'amplitude de la secousse [16, 17, 18]. Plusieurs auteurs montrent une diminution de la fréquence fondamentale dans les bâtiments en béton armé [in 15]. L'ouverture des fissures dans le matériau de construction entraîne une diminution permanente ou transitoire de la rigidité et donc une diminution de la fréquence fondamentale.

Dunand [19] a estimé la chute de la fréquence de résonance dans quelques bâtiments endommagés par le séisme de Boumerdès le 21 Mai 2003 et a noté que les bâtiments classés en orange peuvent être reclassés en vert ou rouge sur la base de la diminution de la fréquence fondamentale. L'auteur a trouvé que la chute de la fréquence peut atteindre 30% pour les bâtiments classés verts, entre 10% et 70% pour ceux classés oranges et entre 50% et 70% pour ceux classés rouges. Michel et Gueguen [20] ont noté qu'une chute rapide de fréquence suivie par une augmentation lente est observée dans la bibliothèque de R. Millikan (Pasadena, California) et attribuée à la perte de rigidité. Des chutes transitoires de 20 à 35% dans les directions N et E, respectivement, ont été observées alors que la chute permanente était de 7% et 16.6%, respectivement.

A cause de l'indisponibilité des enregistrements de vibrations ambiantes avant et après un séisme dans les bâtiments de la zone d'étude et selon la bibliographie ci-dessus, on suppose, dans ce travail, une chute transitoire de fréquence de 35% et 16.6% pour la chute permanente pour tous les bâtiments dans la commune de Kharrouba.

Dans la figure 11, le niveau probable du phénomène de résonance des bâtiments résidentiels est montré en tenant compte de la chute transitoire de la fréquence de 35% causée par l'ouverture des fissures dans le matériau de construction durant un mouvement fort. On peut constater qu'il y a quelques bâtiments classés verts et oranges sont reclassés en rouge sur la base de la diminution de la fréquence fondamentale. Une observation pareille peut être faite en tenant compte de la chute permanente de 16.6% (fig.12). Il est important de tenir en compte la chute de fréquence dans les bâtiments pour l'évaluation des dommages après un séisme, parce que le changement de la fréquence naturelle après un séisme est lié à la dégradation de la rigidité des éléments structuraux des structures [21].

La mise en œuvre de ces cartes pourrait être utilisée pour la réduction des risques des catastrophes à travers l'introduction des mesures de mitigation dans les bâtiments vulnérables. Les

autorités locales peuvent aussi utiliser ces informations fournies par ce type de carte pour la hiérarchisation des actions à prendre.

5. CONCLUSION

Les effets de site et la vulnérabilité des bâtiments résidentiels dans la commune de Kharrouba face au phénomène de résonance sont estimés et analysés dans cet article. Les résultats indiquent clairement l'existence et l'importance des effets de site dans cette région. Il est constaté que 77% des fréquences du sol mesurées à Kharrouba sont inférieures à 4 Hz ce qui est en accord avec les hypothèses dues au caractère quaternaire des sédiments dans la région. La carte de probable phénomène de résonance durant un prochain séisme dans la commune de Kharrouba élaborée dans ce travail montre qu'un nombre important des bâtiments ont des fréquences prédominantes proches de celles du probable mouvement sismique. Par conséquent, le phénomène de résonance ferait fortement exciter les bâtiments si un séisme a lieu dans cette région. Il est important de tenir en compte la chute de fréquence dans les bâtiments pour l'évaluation des dommages après un séisme.

Des données géotechniques et des mesures des vibrations ambiantes comme des outils géophysiques sont nécessaires afin de développer des modèles qui peuvent être utilisés pour estimer la réponse du site dans Kharrouba. Des enregistrements de mouvement fort sont indispensables pour vérifier les résultats numériques.

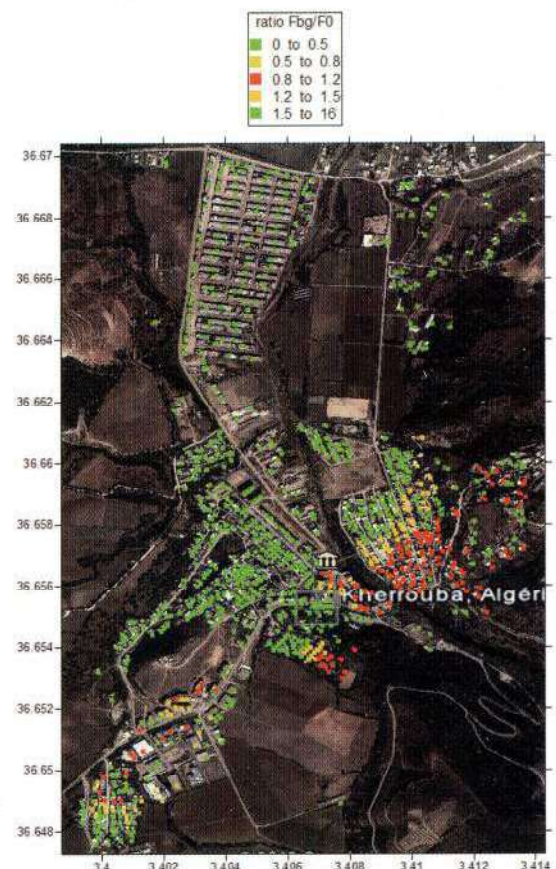


Figure 10. Carte du probable phénomène de résonance durant un prochain séisme dans la commune de Kharrouba

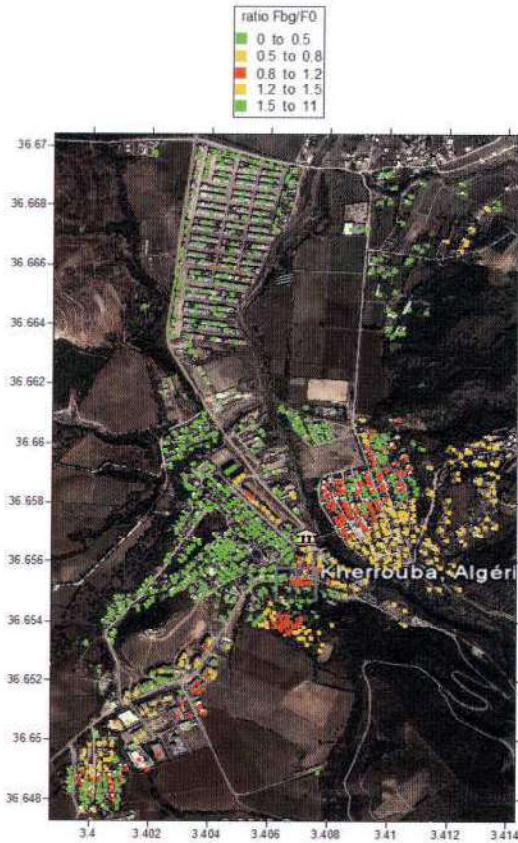


Figure 11. Carte du probable phénomène de résonance en tenant compte de la chute transitoire de fréquence dans la commune de Kharrouba

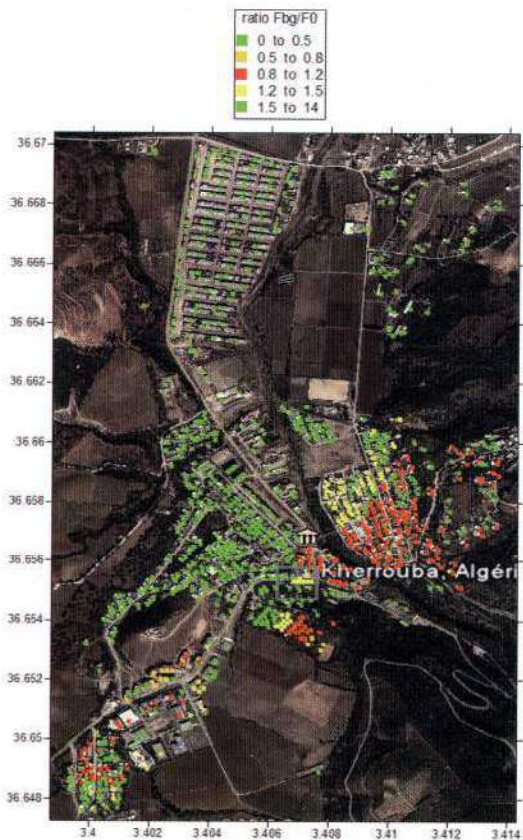


Figure 12. Carte du probable phénomène de résonance en tenant compte de la chute permanente de fréquence dans la commune de Kharrouba

RÉFÉRENCES

[1] Seed H.B., Romo M.P., Sun J.I., Jaime A., and Lysmer J., The Mexico Earthquake of September 19, 1985 – Relationships Between Soil Conditions and Earthquake Ground Motions, *Earthquake Spectra*, 4(4):687- 729, 1988.

[2] Seed H.B., Romo M.P., Sun J.I., Jaime A. and Lysmer J., Relationships Between Soil Conditions and Earthquake Ground Motions in Mexico City in The Earthquake of Sept. 19, 1985, *Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-87/15*, 1987.

[3] Benuska L., Loma Prieta : Earthquake Reconnaissance Report, *Earthquake Spectra*, Supplement to vol. 6, May, 1990.

[4] Nogoshi M. and Igarashi T., On the Amplitude Characteristics of Microtremor (Part 2) (in Japanese with English abstract), *Journal of Seismology Society Japan*, 24:26-40, 1971.

[5] Nakamura Y., A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface, *Quarterly Report of RTRI*, 30(1):25-33, 1989.

[6] Kudo K., Practical estimates of site response. State-of-art report, *Proceedings of the fifth International Conference on Seismic Zonation, Nice, France, 1995*.

[7] Ouyed M., Idres M., Bourmatte A., Boughacha M.S., Samai S., Yelles A., Haned A. and Aidi C., Attempt to identify seismic sources in the eastern Mitidja basin using gravity data and aftershock sequence of the Boumerdes (May 21, 2003; Algeria) earthquake, *Journal of Seismology*, doi 10.1007/s10950-010-9218-3, 2010.

[8] Meghraoui M., Maouche S., Chemaï B., Cakir Z., Aoudia A., Harbi A., Alasset P.J., Ayadi A., Bouhadad Y., Benhamouda F., Coastal uplift and thrust faulting associated with the Mw = 6.8 Zemmouri (Algeria) earthquake of 21 May, 2003, *Geophysical Research Letters*, 31, L19605, doi:10.1029/2004GL020466, 2004.

[9] Deverchere J., Yelles K., Domzig A., Mercier de Lepinay B., Bouillin J.P., Gaullier V., Bracene R., Calais E., Savoye B., Kherroubi A., Le Roy P., Pauc H. and Dan G., Active thrust faulting offshore Boumerdes, Algeria, and its relations to the 2003 Mw 6.9 earthquake, *Geophysical Research Letters*, 32, 2005.

[10] Hamdache M., Pelaez J.A., Talbi A. and Lopez C., A unified catalog of main earthquakes for Northern Algeria from A.D. 856 to 2008, *Seismological Research Letter*, 81:732-739, 2010.

[11] RPA 99 (2003 version), Règlement Parasismique Algérien, CGS, Centre National de recherche appliquée en génie parasismique, Rue Kaddour Rahim, BP 252, Hussein Dey, Alger, Algérie.

[12] Peterson J., Observations and modeling of seismic background noise, *United States Geological Survey, Open-File Rept. 93-322-95*, 1993.

[13] SESAME, Guidelines for the implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations, *Research Report WP12*, available online at: <http://sesamefp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>, 2004.

[14] Surfer 6.00 Version User's Guide, *Golden Software Inc Publications. U.S.A., 2004*.

[15] Michel C., Zapico B., Lestuzzi P., Molina F.J. and Weber F., Quantification of fundamental frequency drop for unreinforced masonry buildings from dynamic tests, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 40:1283-1296, 2011.

[16] Calvi G.M., Pinho R. and Crowley H., State-of-the-knowledge on the period elongation of RC buildings during strong ground shaking, *Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 3-8 Sept., 2006*.

[17] Dunand F., Guegen P., Bard P.Y., Rodgers J. and Celebi M., Comparison of the dynamic parameters extracted from weak, moderate and strong motion recorded in buildings, *Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 3-8 Sept., 2006*.

[18] Todorovska M., Trifunac M. and Hao T.Y., Variation of apparent Building Frequencies. Lessons from Full- Scale Earthquake Observation, *Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 3-8 Sept., 2006*.

[19] Dunand F., Effets de site : Pertinence du bruit de fond sismique pour la caractérisation dynamique et l'aide au diagnostic sismique des structures de génie civil, *Ph.D. Thesis, Université Joseph-Fourier - Grenoble I, Grenoble, France, 2005*.

[20] Michel C. and Gueguen P., Time-frequency analysis of Transitory/Permanent frequency decrease in civil engineering structures during earthquakes, *Structural Health Monitoring*, 9:159-171, 2010.

[21] Navarro M., Vidal F., Feriche M., Enomoto T., Sánchez F.J. and Matsuda I., Expected ground-RC building structures resonance phenomena in granada city (southern Spain), *13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, BC, Canada, August 1-6, 2004*.