

UTILISATION DE LA MÉTHODE H/V BRUIT DE FOND POUR L'ESTIMATION RAPIDE DE LA GÉOMÉTRIE D'UNE ZONE INSTABLE : CAS DU GLISSEMENT D'UNE ROUTE À LAKHDARIA (ALGÉRIE).

Mustapha HELLEL*, Jean-Luc CHATELAIN**.,***, Ghani CHEIKH-LOUNIS****, Djamel MACHANE***, Bertrand GUILLIER** et Hamid HADDOUM****

RÉSUMÉ

A la suite des pluies torrentielles ayant frappé la région de Lakhdaria au cours de l'hiver 2006, le glissement d'un talus routier a emporté la moitié de la chaussée sur une quarantaine de mètres laissant un escarpement de cinq mètres de haut. La chaussée restante ainsi que, quelques maisons étaient menacées par un éventuel second glissement comme l'attestaient les nombreuses fissures et déformations observées autour de l'escarpement. Des enregistrements de bruit de fond ont été réalisés 3 jours après cet événement, afin de circonscrire la zone instable autour de l'escarpement, caractérisée par un sol encore fortement remanié. Les résultats de cette étude ont montré que sur la zone étudiée, les courbes H/V montrent un pic de fréquence vers 6 Hz à l'arrière du bord de l'escarpement et un autre vers 2 Hz le long de la route, de part et d'autre de l'escarpement. Le premier pic a été attribué à la tranche de sol remaniée et instable d'une épaisseur de 6m (profondeur de la surface de rupture) en accord avec les observations de terrain et, qui a été confirmé plus tard par l'étude géotechnique. Le second pic a été attribué à une interface géologique plus profonde.

En amont de la route, notamment au niveau des maisons, les courbes H/V sont plates, indiquant l'absence de la tranche remaniée.

Ces résultats nous ont permis d'évaluer rapidement et de façon satisfaisante l'extension de la zone instable ainsi que son épaisseur. Cette étude démontre l'utilité de la méthode H/V bruit de fond dans la caractérisation géométrique de zones de glissements récents avec remaniement du sol.

Mots-clefs - Méthode H/V - Bruit de fond - Fréquence du sol - Glissement de terrain - Zone instable - Surface de rupture - Géométrie du glissement.

*ENSSMAL, BP. 19, Campus universitaire, Bois des Cars, Dely Ibrahim, 16320, Alger, Algérie.

**IRD-LGIT, Maison des Géosciences, BP. 53, 38000 Grenoble cedex, France.

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

****FSTGAT, USTHB, BP. 32, EL Alia, Bab Ezzouar, Alger, Algérie.

- *Manuscrit déposé le 25 Avril 2009, accepté après révision le 09 Septembre 2009.*

H/V AMBIENT NOISE FOR A RAPID ASSESSEMENT OF AN UNSTABLE ZONE GEOMETRY : ROAD SLIDE CASE IN LAKHDARIA (ALGERIA).

ABSTRACT

Following torrential rainfall that struck the area of Lakhdaria during the winter of 2006, a slide road slope carried away half of the road on forty meters length, leaving a five meters high scarp. The remaining part of the road and houses located upstream were threatened by a potential second slip as showed by the cracks and the deformations observed around the scarp. Ambient vibration recordings were carried out 3 days after this event, with the aim of circumscribing the unstable zone around the scarp, characterized by a strongly disturbed soil. The results of this study showed that in the investigated area, H/V curves exhibit a frequency peak around 6 Hz behind the edge of the scarp and another one around 2 Hz, along the road, on both sides of the scarp. The first peak is related to the disturbed and unstable section of the soil, which is about 6m thick (slip surface depth), in good agreement with field observations and confirmed by geotechnical investigations.

The second peak is related to a deeper geological interface. Upstream of the road, where there are some houses, H/V curves are flat, indicating the absence of the strongly disturbed soil section.

These results allowed us to rapidly evaluate the lateral extension and thickness of the unstable zone. This study shows the reliability of H/V ambient vibration method to characterize the geometry of "fresh" sliding zones or unstable disturbed soil masses.

Keywords - H/V method - Ambient vibration - Soil frequency - Landslide - Unstable zone - Slip surface - Landslide geometry.

INTRODUCTION

Les études de glissement de terrain sont généralement complexes, nécessitant l'utilisation de nombreux moyens de reconnaissance directe (sondages carottés, inclinomètre, GPS, radar.....) coûteux et longs à mettre en œuvre. Ces méthodes de reconnaissance directe sont incontournables pour la détermination des paramètres mécaniques du sol, nécessaires à tout calcul de stabilité. La contrainte de temps est d'autant plus importante que le glissement menace des infrastructures telles que des routes ou habitations. Dans ce cas, une évaluation rapide de l'extension d'un glissement avéré ou d'une zone potentiellement instable est primordiale pour la sécurité. Les méthodes d'exploration géophysiques classiques (sondage sismi-

que, sondage électrique....) non destructrices et peu coûteuses sont très largement utilisées dans les études de stabilité de terrain. Elles permettent souvent une caractérisation assez correcte de la géométrie de la masse instable (profondeur et extension latérale).

Néanmoins, ces méthodes nécessitent un certain temps et leur mise en œuvre peut être difficile surtout en terrain accidenté. L'utilisation de la méthode H/V bruit de fond, d'usage simple, peu coûteuse et rapide, peut répondre à cet impératif.

Cette méthode a d'abord été proposée par Nogoshi et Igarashi (1971) pour estimer la réponse sismique de couches sédimentaires au-dessus d'un rocher et fut ensuite diffusée par

Nakamura (1989). Depuis, la fiabilité du rapport H/V a été validée par de nombreuses études aussi bien expérimentales (e.g. Field et Jacob, 1995; Guéguen et al., 2000; Lebrun et al., 2001; Guillier et al., 2008; Chatelain et al., 2008a) que théoriques (e.g. Field et Jacob, 1993; Lachet et Bard, 1994; Cornou et al., 2004; Bonnefoy-Claudet, 2004).

Cette méthode est basée sur l'enregistrement numérique du bruit de fond ambiant, engendré par des sources d'origine naturelle (houle, vent...) ou anthropique (trafic routier...) pendant quelques minutes sur plusieurs points du site à l'aide d'un sismomètre à trois composantes. Ensuite, le rapport spectral entre les composantes horizontales et la composante verticale est calculé. Dans le cas d'une couche sédimentaire sur un substratum et lorsque le contraste d'impédance est suffisamment fort (e.g. Bonnefoy-Claudet, 2004), le rapport spectral H/V exhibe un pic, centré sur la fréquence de résonance f_0 de la colonne sédimentaire. Dans un milieu 1D, la fréquence de résonance est liée à l'épaisseur H et à la vitesse des ondes de cisaillement V_s par l'équation :

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

Il est donc possible, connaissant V_s , de calculer l'épaisseur H de la couche sédimentaire.

L'une des premières applications de la méthode H/V bruit de fond a été le microzonage sismique. De nombreuses études dans ce sens ont été menées à travers le monde (e.g. Fäh et al., 1997; Guéguen et al., 2000; Alfaro et al., 2001; Duval et al., 2001; Navarro et al., 2001; Panou et al., 2005).

D'autres études ont porté sur la corrélation entre les dégâts provoqués par un séisme et la fréquence et l'amplitude des pics H/V (e.g.

Fallahi, 2003; Gonzales et al., 2004; Panou et al., 2005; Teves-Costa et al., 2007; Cara et al., 2008; Chatelain et al., 2008b).

Par ailleurs, l'utilisation de la méthode H/V semble se prêter à la détermination de la géométrie d'une couverture sédimentaire au-dessus d'un substratum rocheux, à la condition de connaître V_s . La difficulté d'utiliser l'équation (1) réside dans le fait que ce paramètre n'est pas toujours disponible. Pour contourner cet obstacle, des auteurs ont établi des relations empiriques entre l'épaisseur des sédiments et la fréquence de résonance du sol (e.g. Ibs-von Seht et Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000; Delgado et al., 2002; Parolai et al., 2002).

Peu d'études ont porté, à notre connaissance, sur l'étude des glissements de terrain par la méthode H/V. Les résultats de ces études (e.g. Méric et al., 2005; Méric et al., 2007) ont montré une bonne correspondance entre profondeur de la surface de glissement déterminée à partir des fréquence de résonance du sol et celle donnée par d'autres méthodes (sondages carottés, sismique et électrique). D'autres études ont plus ou moins abordé l'utilisation de la méthode H/V dans le cas des glissements de terrain (e.g. Galippolli et al., 2000; Bindi et al., 2001).

Suite à un glissement, qui s'est produit le long d'une route dans la région de Lakhdaria durant l'hiver 2006, nous avons réalisé des mesures H/V dans le but de circonscrire une zone instable autour de l'escarpement du glissement. Dans cette zone, une partie de la chaussée restée en place présentait de nombreuses déformations et fissures, faisant craindre un nouveau glissement. Ceci était d'autant plus dangereux, que des maisons étaient menacées. Les mesures H/V ont été effectuées avant qu'aucune autre reconnaissance n'ait été réalisée.

I- DESCRIPTION DU GLISSEMENT

Le glissement a eu lieu près de la ville de Lakhdaria, à quelques 70 km au sud-est d'Alger, le long d'une route conduisant à un lotissement situé à plus d'un kilomètre au nord du chef-lieu (fig. 1).

Du point de vue morphologique, le site est dans son ensemble accidenté, le talus en contrebas de la route est raide avec une pente dépassant les 60%, alors qu'en amont elle est d'environ 20%. Le glissement s'est produit sur le passage d'une Châaba (talweg), siège régulier de ruissellements importants en période hivernale (EMSEG, 2006).

Sur le plan géologique, le site d'étude est formé par des marnes et marno-calcaires du Sénonien appartenant aux nappes telliennes (fig. 2). Il s'agit de marno-schistes avec des intercalations de calcaires disséminés sous forme d'amas, de bancs lenticulaires et de gros nodules à patine jaune (fig. 3). Le sondage carotté réalisé en 2006, un mois après l'événement, à l'arrière de l'escarpement montre, sous une couche de remblais de 60 cm, 7 mètres de marne schisteuse, friable, surmontant des marno-schistes compacts, traversés jusqu'à 14 mètres de profondeur (EMSEG, 2006).

Le glissement de terrain s'est produit dans les terrains marno-schisteux. Il se caractérise, en tête, par une rupture qui se manifeste par un escarpement de cinq mètres de haut sur environ quarante mètres de long (fig. 4a). Les débris de bitume et de béton du trottoir sont visibles sur le corps du glissement. La voie large de dix mètres a été complètement détruite sur six mètres. Des fissures et déformations ont affecté la chaussée sur 20-25 mètres le long de la route, de part et d'autre de l'escarpement (fig. 4b). Ainsi, la route a été complètement déstabilisée sur une longueur totale de 80 mètres.

Les désordres observés sur le terrain, notamment la forme de l'escarpement, indiquent un glissement de type rotationnel (fig. 4c). Aucune dégradation n'a été observée en amont de la chaussée, ni sur les maisons avoisinantes.

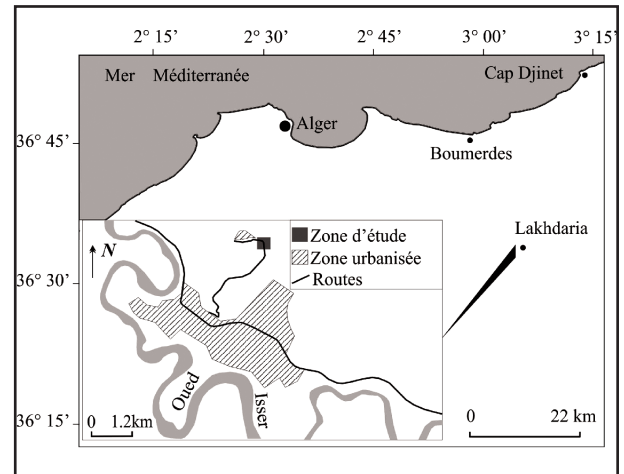


Fig. 1 - Situation du secteur d'étude.

Location of the studied area.

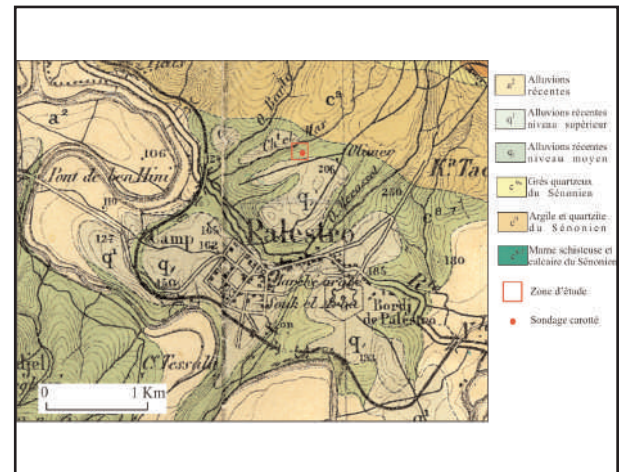
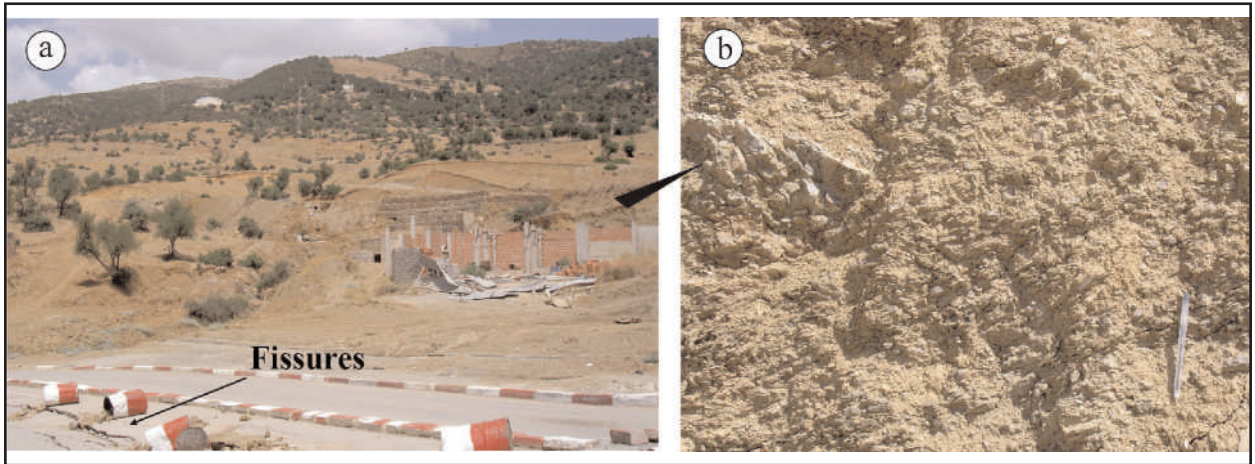


Fig. 2 - Géologie du secteur d'étude, extraite de la carte géologique au 1/50 000 de Palestro (Ficheur, 1895). Le carré rouge délimite le secteur d'étude et le rond rouge à l'intérieur indique la position du sondage carotté.

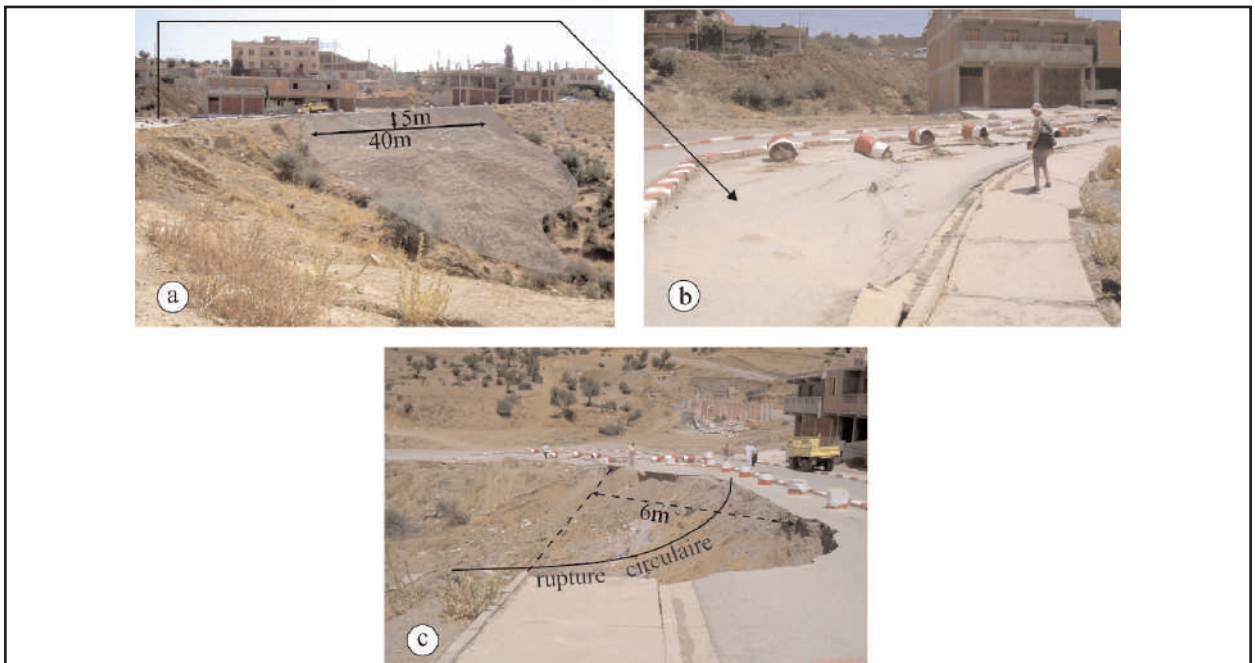
Geology of the studied area, from the 1/50 000 Palestro geological map (Ficheur, 1895). The red square delimits the studied area and the inside red circle indicates the location of borehole.

UTILISATION DE LA MÉTHODE H/V BRUIT DE FOND POUR L'ESTIMATION RAPIDE DE LA GÉOMÉTRIE D'UNE ZONE INSTABLE : CAS DU GLISSEMENT D'UNE ROUTE À LAKHDARIA (ALGÉRIE).



**Fig. 3 - (a) Vue générale sur les marno-schistes jaunes du Sénonien à l'arrière du glissement
(a general view of the yellow Senonian marls and schistes in the landslide background);**

- (b) Détail des marno-schistes sénoniens friables enrobant des nodules de calcaires, décrits au niveau du terrassement de la maison en construction de la photo a
(Detailed view of the disturbed yellow Senonian marls containing calcareous nodules observed behind the house under construction of photo a).**



**Fig. 4. (a) Vue depuis le nord-ouest sur le glissement du talus routier
(view from the North-West of the landslide);**

- (b) Déformation de la chaussée, accompagnée de fissures au nord de l'escarpement
(Deformations and cracks in the roadway in the North part of the scarp);**
- (c) Vue latérale depuis le sud sur l'escarpement décrivant une surface de rupture circulaire
(Lateral view from the South of the scarp, describing a circular rupture).**

II- ACQUISITION ET TRAITEMENT DES DONNÉES DE BRUIT DE FOND

Les enregistrements ont été faits à l'aide d'une station CityShark II (Chatelain et *al.*, 2000) équipée d'un sismomètre Lennartz 5-secondes à 3 composantes, pendant une durée de 15 minutes avec un échantillonnage à 200 sps.

Pour le traitement des données et les critères d'identification des pics H/V, nous avons suivi les recommandations de SESAME (2005). Les rapports spectraux H/V ont été calculés avec le logiciel *Geopsy* (<http://www.geopsy.org>) sur des fenêtres de 25-40 secondes en appliquant un critère d'anti-trigger LTA/ STA. Les spectres ont été lissés en utilisant la technique de Konno et Ohmachi (1998), avec un paramètre de lissage de 40.

Le traitement des trois traces sismiques (verticale, nord-sud et est-ouest) obtenues par l'enregistrement se fait en 4 étapes :

1- recherche des fenêtres de temps dans lesquelles le signal est stationnaire, simultanément

sur les 3 composantes (fig. 5a);

2- calcul puis lissage des spectres sur chaque composante et pour chaque fenêtre;

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 (fig. 5b);

5- calcul de la moyenne géométrique du rapport spectral H/V sur toutes les fenêtres (fig. 5b).

Huit enregistrements (fig. 6) ont été effectués trois jours après le glissement. Le sol se trouvait encore dans un état remanié comme cela a été vérifié sur le terrain. Deux enregistrements (3 et 5) ont été réalisés près du bord de l'escarpement, deux dans la partie non affectée de la chaussée (1 et 8), un à la limite d'une partie fissurée de la chaussée (7) et trois en amont de la route (2, 4 et 6).

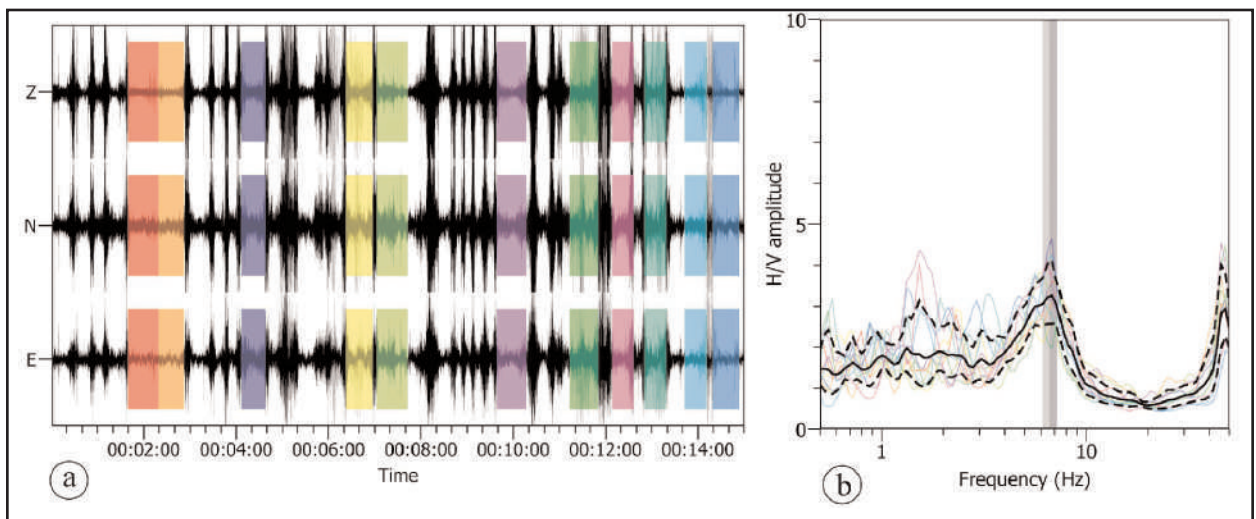


Fig. 5 - (a) Fenêtres du signal stationnaire sur les 3 composantes (*Stationary signal*);

(b) Rapport spectral sur chaque fenêtre (lignes colorées) et rapport spectral moyen de toutes les fenêtres (trait noir) avec son écart type (tirets noirs) (*Spectral ratio on each window (colored lines) and average spectral ratio of all windows (black line) with standard deviation (black dashed lines)*).

UTILISATION DE LA MÉTHODE H/V BRUIT DE FOND POUR L'ESTIMATION RAPIDE DE LA GÉOMÉTRIE D'UNE ZONE INSTABLE : CAS DU GLISSEMENT D'UNE ROUTE À LAKHDARIA (ALGÉRIE).

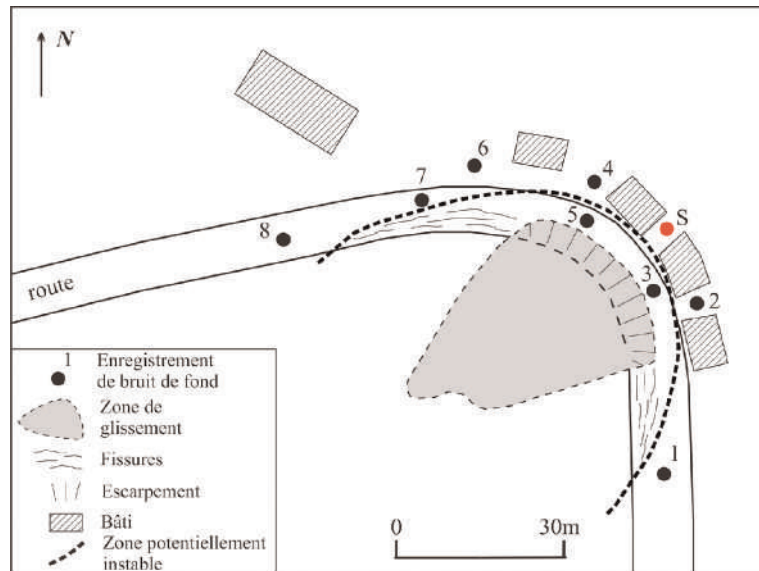


Fig. 6 - Position des points d'enregistrement du bruit de fond autour de l'escarpement du glissement. Le rond rouge correspond au sondage carotté. Les tirets en gras correspondent à la limite de la zone instable obtenue par l'étude H/V.

Location of ambient noise recordings around the landslide scarp. The borehole is indicated by the red circle. The thick dashed line indicates the unstable zone obtained by H/V study.

III- RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

Les courbes H/V (fig. 7) montrent un pic de fréquence vers 6 Hz pour les enregistrements 3 et 5, situés près du bord de l'escarpement (fig. 7). Les enregistrements 1, 7 et 8 situés sur la partie de la chaussée non affectée, montrent un pic de fréquence vers 2 Hz. Les enregistrements réalisés à l'arrière de la route (2, 4 et 6) montrent des courbes plates (fig. 7).

Les résultats du sondage carotté révèlent une marne schisteuse friable d'environ 6.5 mètres d'épaisseur surmontant une marne compacte et saine et l'étude géotechnique donne une surface de glissement vers 5 mètres de profondeur (EMSEG, 2006).

Nous ne disposons pas d'information sur la vitesse des ondes de cisaillement puisque aucune reconnaissance sismique n'a été effectuée. Néanmoins, vu l'état saturé et remanié de la marne schisteuse friable nous pouvons penser que V_s est faible. Dans une étude sur un

glissement plus important, affectant des argiles, Méric *et al.* (2007) ont trouvé dans les premiers mètres de la masse argileuse instable une V_s inférieure à 300 m/s. Dans une autre étude sur le bassin de Santiago du Chili, Bonney-Claudet *et al.* (2007) ont trouvé que la vitesse des ondes S variaient entre 120 et 300 m/s dans les 20 premiers mètres d'une formation argileuse. Par ailleurs, Delgado *et al.* (2000) donnent une V_s égal à 146 m/s dans les 10 premiers mètres d'une formation marneuse. Il est donc raisonnable d'estimer que V_s soit inférieure à 200 m/s dans notre cas.

Considérons $f_0 = 6\text{Hz}$, obtenue par les enregistrements 3 et 5, en appliquant, à titre d'indication, la relation empirique proposée par Delgado *et al.* (2000), donnant V_s en fonction de f_0 pour des sédiments argilo-sableux :

$$V_s = 222.57 f_0^{0.268} \quad (2)$$

nous obtenons une valeur de $V_s = 137$ m/s pour la marne schisteuse friable, qui tombe dans la

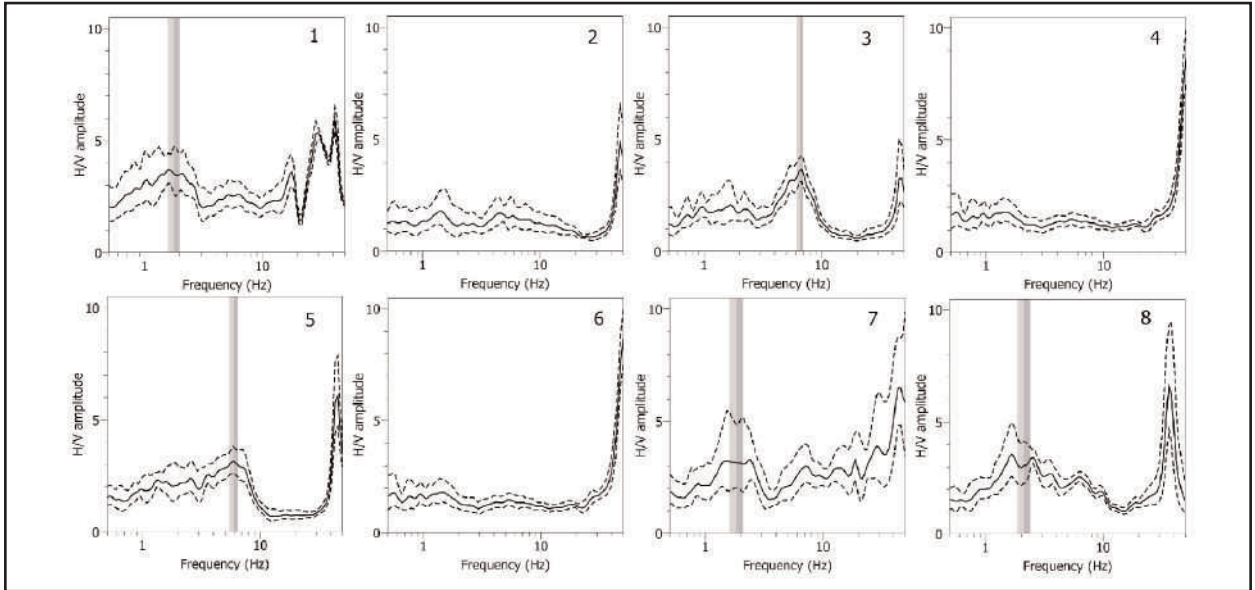


Fig. 7 - Courbes H/V (trait noir) avec l'écart type (tirets noirs).
La barre grise indique la fréquence du pic avec son écart type.

**H/V curves (black line) with standard deviation (black dashed lines).
The grey bar indicates the peak frequency and its standard deviation)**

gamme de vitesse donnée par les différents auteurs cités précédemment.

Avec une valeur approximative $V_s = 140$ m/s et une fréquence de résonance de 6 Hz, l'équation (1) donne une épaisseur $H = 5.8$ m.

En utilisant la relation empirique de Delgado et al. (2000), donnant l'épaisseur H en fonction de la fréquence f_0 avec une erreur de 15%:

$$H = 55.64 f_0^{-1.268} \quad (3)$$

nous obtenons une épaisseur $H = 5.7$ m pour $f_0 = 6$ Hz. Cette valeur est assez proche de la profondeur de glissement (5m) trouvée par EMSEG (2006) avec une erreur d'environ 16%. La surface de glissement coïncide, plus ou moins, avec la limite marne friable-marne compacte (fig. 8).

Les enregistrements 1, 7 et 8 situés sur la partie de la chaussée non affectée, montrent un

pic de fréquence vers 2 Hz. Avec $V_s = 140$ m/s, l'épaisseur de la couche est de 19.4 mètres. Le fait que ces enregistrements soient situés dans des endroits où aucune déformation de la chaussée n'a été observée laisse penser que le sol n'est pas aussi remanié que dans la partie où la chaussée est déformée. La vitesse des ondes S serait alors plus forte et, par conséquent l'épaisseur de la couche serait plus importante. Le pic de fréquence vers 2 Hz est donc certainement dû à une interface géologique plus profonde que la surface de rupture du glissement.

Les enregistrements 2, 4 et 6, situés en amont de la route, présentent des courbes plates, indiquant qu'il n'y a pas de contraste de vitesse important au sein de la couche marneuse, excluant ainsi l'existence d'une couche remaniée. Cette zone n'est donc pas affectée par le glissement de terrain.

Ces résultats nous permettent de circonscrire, derrière l'escarpement, une zone potentiellement

UTILISATION DE LA MÉTHODE H/V BRUIT DE FOND POUR L'ESTIMATION RAPIDE DE LA GÉOMÉTRIE D'UNE ZONE INSTABLE : CAS DU GLISSEMENT D'UNE ROUTE À LAKHDARIA (ALGÉRIE).

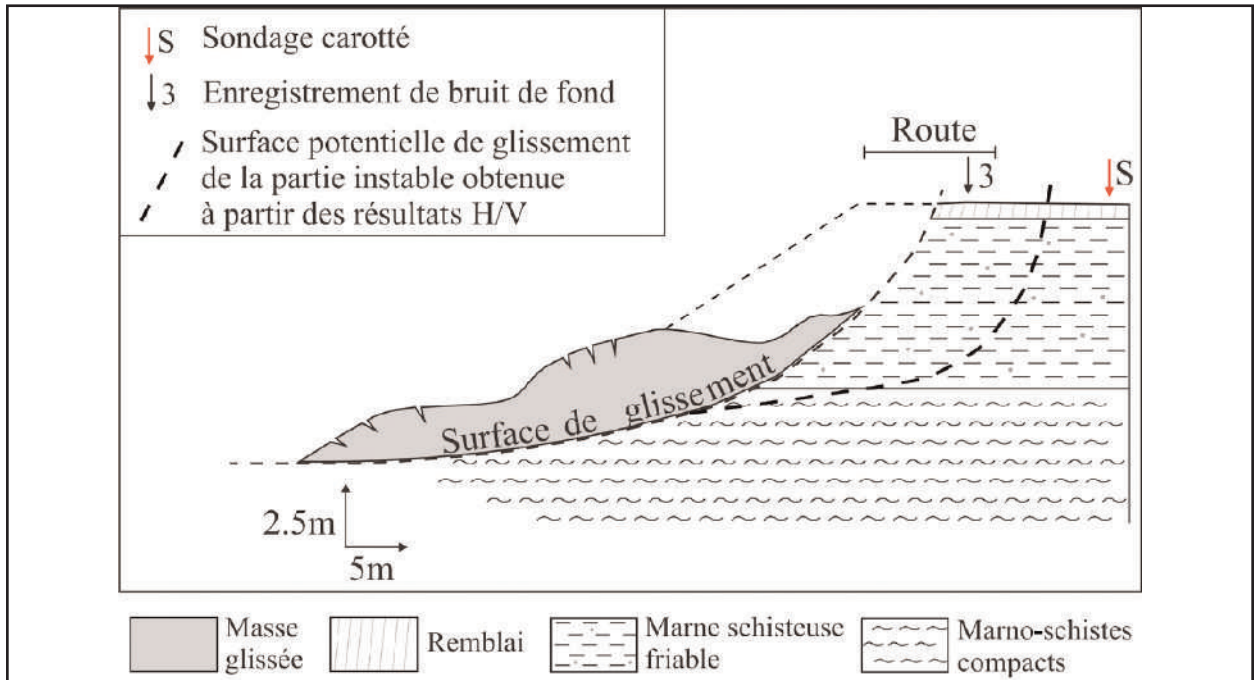


Fig. 8 - Coupe transversale est-ouest à travers le sondage carotté, l'enregistrement de bruit de fond n°3 et le glissement.

E-W cross section through the borehole, ambient noise recording n°3 and the landslide

instable (fig. 6). Les limites de la zone circonscrite, correspondent globalement aux limites de la zone déformée, observée sur le terrain.

IV- CONCLUSIONS

L'étude menée sur le glissement de Lakhdaria a montré que l'utilisation de la méthode H/V bruit de fond peut donner de bons résultats pour caractériser la géométrie d'un glissement de terrain. L'originalité de cette étude est d'avoir entrepris une campagne de mesure immédiatement après un glissement brutal d'un talus routier avant tout autre type de reconnaissance. Le but principal était de définir (par prévention) l'extension de la zone instable à l'arrière de l'escarpement caractérisé par un sol remanié, attesté par les déformations visibles en surface. Partant de l'hypothèse d'un glissement sur quelques mètres (observations de terrain, notamment la hauteur de l'escarpe-

ment) ayant eu lieu au sein d'une même formation géologique (vérifiée sur le terrain) avec un contraste de vitesse significatif entre une tranche remaniée du sol et la partie saine, il s'agissait alors de vérifier si les courbes H/V exhibent un pic de fréquence. En combinant les résultats des mesures H/V avec des observations de terrain, nous avons délimité une zone potentiellement instable.

En l'absence d'informations sur la vitesse des ondes de cisaillement dans le sol, l'épaisseur de la couche remaniée a été estimée à l'aide de relations empiriques. L'épaisseur ainsi obtenue, correspond de manière satisfaisante à la profondeur du glissement définie par l'étude géotechnique. Ceci démontre l'efficacité de la méthode H/V bruit de fond, combinée avec des méthodes de reconnaissance directes dans l'étude de glissements récents où la masse instable, constituée de sol remanié, repose sur un niveau sain et compact.

De plus, par sa rapidité d'exécution, l'utilisation de la méthode H/V, immédiatement après ce type d'événement permet d'avoir une première appréciation de l'étendue de la masse instable et d'orienter par la suite une campagne de reconnaissance directe.

Enfin, il nous semble nécessaire de bien stabiliser ce glissement de terrain pour la sécurité des habitations qui se trouvent en amont de la route.

Remerciement : Au terme de cette étude, nous tenons à remercier le bureau d'étude EMSEG pour avoir mis à notre disposition les résultats de leur étude de stabilité sur le glissement du talus routier de la ville de Lakhdaria.

BIBLIOGRAPHIE

- 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.
- BINDI, D., PAROLAI, S., ENOTARPI, M., SPALLAROSSA, D., AUGLIERA, P. AND CATTANEO, M. 2001. Microtremor H/V spectral ratio in two sediment-filled valleys in Western Liguria (Italy). *Bolletino di Geofisica Teorica e Applicata*, vol., 42, n°3-4, pp. 305-315.
- BONNEFOY-CLAUDET, S. 2004. Nature du bruit de fond sismique : implications pour les études des effets de site. *PhD thesis, Grenoble University, France*, 241p.
- BONNEFOY-CLAUDET, S., BAIZE, S., BONILLA, F., BERGE THIERRY, C., CAMPOS, J., PASTEN, C., VERDUGO, J. ET VOLANT, P. 2007. Comment caractériser les effets de site des structures complexes à partir du bruit sismique ambiant. Application au bassin de Santiago du Chili. *7^{ème} Colloque National, AFPS*.
- 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, pp. 1354-1372. DOI : 10.1785/0120060260.
- 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., CARA, F., DUVAL, A.M., ATAKAN, K. AND BARD, P.Y. The WP02 SESAME team. 2008a. Evaluation of the influence of experimental conditions on H/V results from ambient noise recordings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 6, pp. 33-74. DOI: 10.1007/s10518-007-9040-7.
- CHATELAIN, J.-L., GUILLIER, B. AND PARVEZ, I.A. 2008b. False Site Effects: The Anjar Case, following the 2001 Bhuj (India) Earthquake. *Seismological Research Letters*, 79, pp. 816-819. DOI : 10.1785/gssrl.79.6.816.
- CORNOU, C., KRISTEK, J., OHRNBERGER, M., DIGUILIO, G., SCHISSELLE, E., GUILLIER, B., BONNEFOY-CLAUDET, S., WATHELET, M., FAEH, D., BARD, P.-Y. AND MOCZO, P. 2004. Simulation of seismic ambient vibrations – II: H/V and array techniques for real sites Eds., *13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, BC Canada*, 1130p.
- DELGADO, J., LOPEZ CASADO, C., GINER, J., ESTEVEZ, A., CUENCA, A. AND MOLINA, S. 2000. Microtremors as a geophysical exploration tool: applications and limitations. *Pure and Applied Geophysics*, 157, pp. 1445-1462.
- DELGADO, J., LOPEZ CASADO, C., GINER, J., ESTEVEZ, A., CUENCA, A. AND MOLINA, S. 2002. Structure of the Padul-Niguëlas Basin (Spain) from H/V ratios of Ambient Noise : Application of the method to study peat and coarse sediments. *Pure and Applied Geophysics*, 159, pp. 2733-2749.
- DUVAL, A.M., VIDAL, S., MÉNEROU, 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.

UTILISATION DE LA MÉTHODE H/V BRUIT DE FOND POUR L'ESTIMATION RAPIDE DE LA GÉOMÉTRIE
D'UNE ZONE INSTABLE : CAS DU GLISSEMENT D'UNE ROUTE À LAKHDARIA (ALGÉRIE).

- EMSEG. 2006.** Etude géotechnique pour la stabilité du glissement de la voie B, Lakhdaria.
- FÄH, D., RÜTTENER, E., NOACK, T. AND KRUSPAN, P. 1997.** Microzonation of the city of Basel. *Journal of Seismology*, 1, pp. 87–102.
- FALLAHI, A. 2003.** Microtremor Measurements and Building Damage during the Changureh-Avaj, Iran Earthquake of June 2002. *Journal of Natural Disaster Science*, 5, pp. 37-46.
- FICHEUR, M. 1895.** Carte géologique de Palestro au 1/50 000. Service Géographique de l'Armée.
- FIELD, E. AND JACOB, K. 1993.** The theoretical response of sedimentary layers to ambient seismic noise. *Geophysical Research Letters*, 20, pp. 2925-2928.
- FIELD, E. AND JACOB, K. 1995.** A comparison and test of various site-response estimation techniques including three are not reference-site dependent. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85, pp. 1127-1143.
- GALLIPOLI, M., LAPENNA, V., LORENZO, P., MUCCIARELLI, M., PERRONE, A., PISCITELLI, S. AND SDAO, F. 2000.** Comparison of geological and geophysical prospecting techniques in the study of a landslide in Southern Italy. *European Jour. of Envi. and Engineering Geo.*, 4, pp. 17–128.
- GONZALES, J., SCHMITZ, M., AUDEMARD, F., CONTRERAS, R., MOCQUET, A., DELGADO, J. AND DE SANTIS, F. 2004.** Site effects of the 1997. Cariaco, Venezuela earthquake. *Engineering Geology*, 72, pp. 143–177.
- GUÉGUEN, P., CHATELAIN, J.L., GUILLIER, B. AND YEPES, H. 2000.** An indication of the soil top-most layer response in Quito (Ecuador) using noise H/V spectral ratio. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, v.19, n°. 2, DOI: 10.1016/S0267-7261(99)00035-4.
- GUILLIER, B., ATAKAN, K., CHATELAIN, J.L., HAVSKOV, J., OHRNBERGER, M., CARA, F., DUVAL, A.M. AND ZACHAROPOULOS, S. The SESAME team. 2008.** Influence of instruments on the H/V spectral ratios of ambient vibrations. *Bull. of Earthquake Engineering*, 6, pp. 3-31. DOI: 10.1007/s10518-007-9039-0.
- IBS-VON SEHT, M. AND WOHLLENBERG, J. 1999.** Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89, pp. 250–259.
- KONNO, K. AND 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.
- LACHET, C. AND BARD, P.-Y. 1994.** Numerical and theoretical investigation on the possibilities and limitations of the Nakamura's technique. *Jour. of Physics of the Earth*, 42, pp. 377-397.
- LEBRUN, B., HATZFELD, D. AND BARD, P.Y. 2001.** A site effect study in urban area: experimental results in Grenoble (France). *Pure and Applied Geophysics*, 158, pp. 2543-2557.
- MERIC, O., GARAMBOIS, S., JONGMANS, D., WATHELET, M., CHATELAIN, J.-L. AND VENGEON, J.-M. 2005.** Application of geophysical methods for the investigation of the large gravitational mass movement of Séchilienne, France. *Canadian Geotechnical Journal*, 42, pp. 1105-1115.
- MERIC, O., GARAMBOIS, S., MALET, J.P., CADET, H., GUÉGUEN, P. AND JONGMANS, D. 2007.** Seismic noise-based methods for soft-rock landslide characterization, *Bulletin de la Société Géologique de France*, 78, pp. 137-148.
- NAKAMURA, Y. 1989.** A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface. *Report Railway Tech. Research Institute*, 30, 1, pp. 25–33.
- NAVARRO, M., ENOMOTO, T., SÁNCHEZ, F.J., MATSUDA, I., IWATATE, T., POSADAS, A.M., LUZON, F., VIDAL, F. AND SEO, K. 2001.** Surface soil effects study using short-period microtremor observations in Almería City, Southern Spain. *Pure and Applied Geophysics*, 158, pp. 2481-2497. DOI : 10.1007/PL00001181.
- NOGOSHI, M. AND IGARASHI, T. 1971.** On the amplitude characteristics of microtremor (part 2). *Journal of Seismological Society of Japan*, 24, pp. 26-40.

- PANOUE, 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.
- PAROLAI, S., BORMANN, P. AND MILKEREIT, C. 2002.** New Relationships between V_s , 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, pp. 2521-2527.
- 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.ujs-grenoble. fr](http://SESAME-fp5.obs.ujs-grenoble.fr), 62 p.
- TEVES-COSTA, P., OLIVEIRA, CS. AND SENOS ML. 2007.** Effects of local site and building parameters on damage distribution in Angra do Heroísmo–Azores. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 27: pp. 986–999. DOI: 10.1016/j. soildyn. 2007. 03. 006.