

Amplification de l'action sismique spatialement variable due aux conditions géologiques locales du site

Rachid Derbal^{1,3}, Nassima Benmansour¹, Mustapha Djafour¹, Mohammed Matallah¹ and Salvador Ivorra²

¹ *RISk Assesment & Management Laboratory (RISAM), University of Tlemcen, Po Box 230, Tlemcen, Algeria.*

² *Department of Civil Engineering, University of Alicante, San Vicente del Raspeig, Apartado 99, 03080, Spain.*

³ *Department of Civil Engineering, Ctr. Univ. Ain Temouchent, Po. Box 284, Ain Temouchent, Algeria.*

RESUME La communauté scientifique reconnaît l'effet de la variabilité spatiale des séismes. En effet, le mouvement du sol est spatialement et temporellement variable. Les causes principales de cette variabilité spatiale du mouvement sismique sont : l'effet d'incohérence, l'effet de passage d'ondes sismiques et particulièrement les conditions géologiques locales du site. Les structures étendues sont les plus concernées par ce phénomène de variabilité spatiale du mouvement sismique. La définition de l'input sismique qui sera appliqué à des structures étendues doit prendre en compte tous les causes de la variabilité spatiale du mouvement sismique. Le travail présenté consiste à définir l'input sismique à n'importe quelle structure étendue. Prendre en compte la variabilité spatiale du mouvement sismique contribue à une représentation fidèle de l'action sismique réelle. En fait, l'apport de l'effet de site dans la détermination des excitations sismiques spatialement variables est prépondérant. A cet effet, l'objectif principal de ce travail est d'évaluer l'impact de l'effet de site dans la représentation des chargement sismiques différentiels. Une méthode de simulation des signaux sismiques spatialement variables est développée en se basant sur l'approche inconditionnelle. Cette dernière consiste à considérer que le mouvement sismique cible est défini par une densité spectrale de puissance. Un modèle d'incohérence empirique et l'effet de passage d'onde sont utilisés pour définir le mouvement sismique au substratum rocheux. La projection de ce mouvement sismique vers la surface est réalisée en adoptant l'effet d'amplification du site. Les résultats de ce travail ont montré que les mouvements sismiques spatialement variables sont conditionnés par la nature géologique du site étudié. En effet, l'action sismique est susceptible d'être amplifiée tout dépend du type de site considéré conformément aux codes parasismiques en vigueur.

Mots-clés variabilité spatiale, modèle d'incohérence, passage d'onde, conditions géologiques locales du site, amplification du site.

I. INTRODUCTION

Il est reconnu que les structures étendues sont affectées par le phénomène de la variabilité spatiale du mouvement sismique. En effet, cette variabilité spatiale et temporelle du mouvement sismique

résulte de la combinaison de la propagation des ondes sismiques entre la source et le site d'enregistrement. Les principales causes de cette variabilité spatiale du mouvement sismique sont l'effet d'incohérence, l'effet de passage d'onde et l'effet de site (Der Kiureghian, 1996). L'effet d'incohérence provient des différences aléatoires dans les amplitudes et les phases des ondes sismiques dues aux réfractions et réflexions multiples. L'effet de passage d'onde n'est qu'un retard d'arrivée des ondes sismiques aux différents supports de la structure. Il dépend de la distance parcourue et la vitesse de propagation. L'effet de site est dû à la variation spatiale des caractéristiques géologiques locales du profil de sol.

Le travail élaboré par Bi et al. (2010) consiste à étudier la réponse sismique d'un portique d'un pont en tenant en considération la variabilité spatiale du mouvement sismique. Le mouvement sismique au substratum rocheux est défini en utilisant la fonction de densité spectrale de puissance Tajimi-Kanai filtrée. L'effet de site est pris en compte dans cette étude sous forme d'un sol reposant sur le substratum rocheux. Ensuite, les mouvements sismiques à la surface sont calculés en utilisant l'amplification de chaque site étudié. Les résultats ont montré que l'amplification des mouvements sismiques est liée directement à l'effet de site.

Les récentes recherches en matière de variabilité spatiale et temporelle du mouvement sismique ont montré que le fait de négliger l'effet du site entraîne une sous-estimation des excitations sismiques considérées (Derbal et al., 2017, 2018).

L'objectif principal de cette étude est de simuler des mouvements sismiques en adoptant l'effet de la variabilité spatiale des séismes. Ce travail vise à quantifier l'influence que peut engendrer les conditions géologiques locales du site sur le mouvement sismique. Pour cela, une méthode de simulation des signaux sismiques en tenant en considération l'ensemble des causes de la variabilité spatiale du mouvement de sol est présenté. L'amplification du site est incorporée dans cette méthode en se basant sur la théorie de propagation des ondes, développée par Wolf (1988).

II. DESCRIPTION DES MOUVEMENTS SISMIQUES VARIABLES

II.1. Effet d'incohérence

L'effet d'incohérence est défini dans le domaine fréquentiel par la fonction suivante (Der Kiureghian, 1996 ; Bi et al., 2010) :

$$\gamma_{jk}(\omega) = \frac{S_{jk}(\omega)}{\sqrt{S_j(\omega)S_k(\omega)}} \quad (1)$$

Avec : ω est la fréquence angulaire. $S_j(\omega)$ et $S_k(\omega)$ sont les fonctions de densité spectrale de puissance. $S_{jk}(\omega)$ est la fonction d'inter-densité spectrale de puissance entre deux mouvements.

II.2. Effet de site

La fonction de transfert pour la propagation d'onde de cisaillement dans une couche horizontale de sol est donnée par l'équation suivante (Wolf, 1988) :

$$H_j(i\omega) = \frac{(1+r_j-i\xi_j)\exp(-i\omega\tau_j(1-2i\xi_j))}{1+(r_j-i\xi_j)\exp(-2i\omega\tau_j(1-2i\xi_j))} \quad (2)$$

Où : ξ_j est le coefficient d'amortissement, τ_j est le temps de propagation de l'onde sismique et r_j est le coefficient de réflexion.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Exemple numérique

La figure 1 représente un schéma de structure de pont supporté par quatre piles. La longueur des travées entre les piles est égale à 100 m. Les points de contact des piles avec le sol sont notés 1, 2, 3 et 4 tandis que leurs projections au substratum sont notées 1', 2', 3' et 4' respectivement.

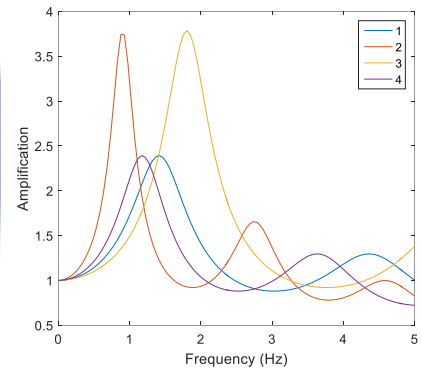
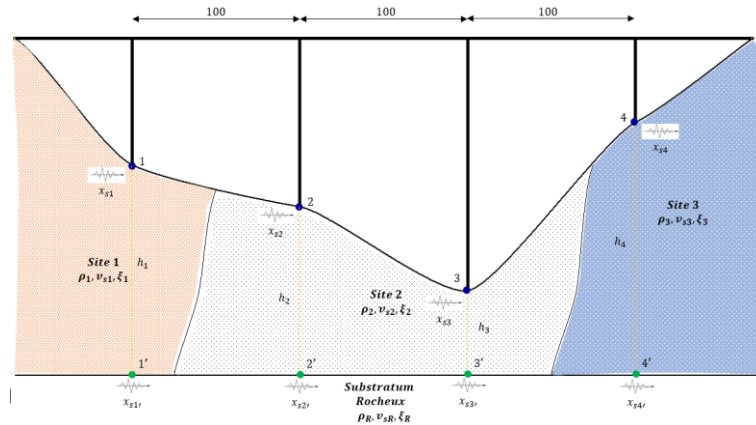


Figure 1. Schéma d'un pont implanté à des sites différents

Figure 2. Fonctions de transfert

III.2. Résultats

En premier lieu, la réponse du sol de fondation est étudiée où les fonctions de transfert des quatre points 1, 2, 3 et 4 situés à la surface sont illustrées dans la Figure 2. Ensuite, quatre cas de simulation des signaux sismiques en accélération et en déplacement ont été adoptés.

1. La variabilité spatiale sismique (SVG) est négligée (cas uniforme).
2. Seuls les effets de passage d'onde et de cohérence sont considérés (sans effet de site).
3. Seul l'effet de site est pris en compte (sans les effets de passage d'onde et de cohérence).
4. L'ensemble des facteurs de la SVG sont considérés.

Dans ce résumé, les résultats du 4^{ème} cas sont illustrés ci-dessous (Figure 3 et 4). Les autres résultats et des comparaisons seront présentés ultérieurement.

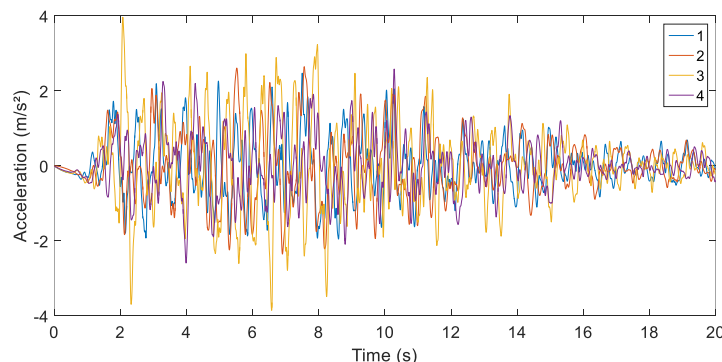


Figure 3. Accélérations simulées dans le cas considérant tous les facteurs de la SVG

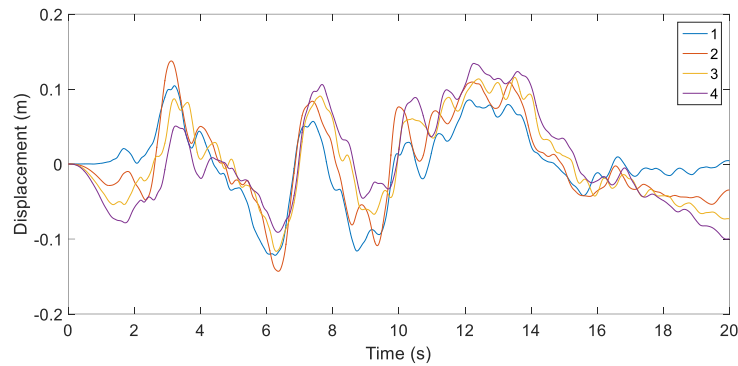


Figure 4. Déplacements simulés dans le cas considérant tous les facteurs de la SVGM

REFERENCES

- Der Kiureghian, A. (1996). A coherency model for spatially varying ground motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25(1), 99-111.
- Benmansour, N., Djafour, M., Bekkouche, A., Zendagui, D., & Benyacoub, A. (2012). Seismic response evaluation of bridges under differential ground motion: a comparison with the new Algerian provisions. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 16(7), 863-881.
- M. Djafour, N. Meddane, R. Derbal, D. Zendagui, & A. Bekkouche. (2007). Étude du comportement dynamique d'un barrage poids-voûte face au mouvement sismique différentiel. *18ème Congrès Français de Mécanique, Grenoble, 27-31 Août*.
- M. Djafour, N. Meddane, R. Derbal, A. Megnounif, D. Zendagui, & A. Bekkouche. (2006). Response of a gravity arch dam to spatially varying earthquake ground motion. *8th National Conference on Earthquake Engineering*. San Francisco, California.
- Bi, K., Hao, H., & Ren, W. (2010). Response of a frame structure on a canyon site to spatially varying ground motions. *Structural Engineering and Mechanics*, 36(1), 111-127.
- Bi, K. & Hao, H. (2012). Modelling and simulation of spatially varying earthquake ground motions at sites with varying conditions, *Probabilistic Engineering Mechanics*, 29, 92-104.
- Adanur, S., Altunişik, A.C., Soyuluk, K., Bayraktar, A., & Dumanoglu, A.A. (2016). Multiple-support seismic response of Bosphorus Suspension Bridge for various random vibration methods. *Case Studies in Structural Engineering*, 5, 54-67.
- Shiravand, M.R., & Parvanehro, P. (2019). Spatial variation of seismic ground motion effects on nonlinear responses of cable stayed bridges considering different soil types. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 119, 104-117.
- R. Derbal, N. Benmansour, & M. Djafour. (2017). Influence de l'effet de site sur le comportement dynamique des ponts. *23ème Congrès Français de Mécanique, Lille, 28 Août au 1er Septembre*.
- Derbal, R., Benmansour, N., & Djafour, M. (2018). Impact of spatial variability of earthquake ground motion on seismic response of a railway bridge. *International journal of computational methods*, 6(5), 910-920.
- Benmansour, N. (2013). Effet de la variabilité spatiale du mouvement sismique sur le comportement dynamique des ponts. *Thèse de Doctorat, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie*.
- Shinozuka, M. (1971). Simulation of multivariate and multi-dimensional random processes. *Journal of Acoustic Society of America*, 49, 357-367.