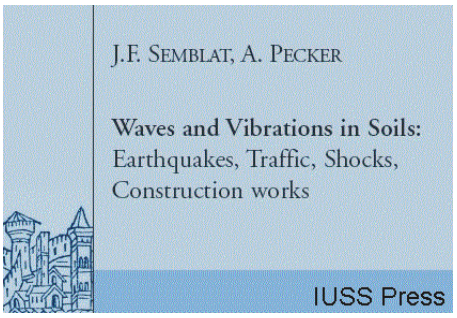
Activités de recherche et d'enseignement de Jean-François Semblat
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France, semblat_at_lcpc.fr (at=@)

Enseignement :

- Ecole Polytechnique (Mécanique des milieux continus, Sismologie et tectonique)
- ENTPE (Méthodes numériques)
- Université Pierre & Marie Curie (Dynamique du solide)
- Rose School (Advanced Computational Methods)

Publications :

- Livre **"Waves and Vibrations in Soils: Earthquakes, Traffic, Shocks, Construction Works"**, (IUSS Press, 2009)
- Liste partielle
- Publications récentes en version auteur : http://hal.archives-ouvertes.fr/aut/semblat/



Recherches :

Modélisation numérique de la propagation et de l'amplification des ondes sismiques.

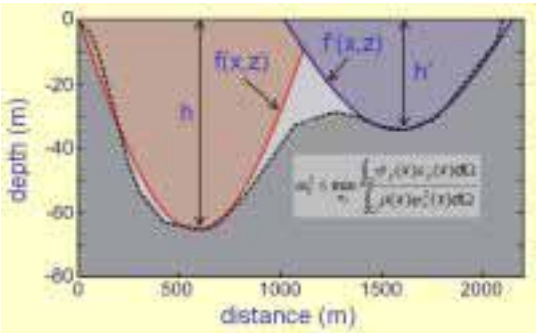
1 Amplification des ondes sismiques dans les bassins sédimentaires

L'amplification des ondes sismiques en surface, ou *« effets de site »* [1], peut accroître fortement l'impact d'un séisme dans certaines zones (e.g. Mexico 1985). En effet, lorsque les ondes se propagent dans des couches d'alluvions ou interagissent avec des irrégularités topographiques marquées, les phénomènes de réfraction/diffraction peuvent augmenter fortement l'amplitude du mouvement sismique. Il est alors possible d'avoir des mouvements plus importants en s'éloignant de l'épicentre !

A l'échelle d'un bassin sédimentaire, l'analyse de la propagation d'ondes sismiques est un problème complexe : résonance de l'ensemble du bassin [2], propagation en milieu hétérogène [3], création d'ondes de surface en bord de bassin [5], comportement non linéaire des géomatériaux de surface [6].

1.1 Approche modale : caractérisation de la fréquence fondamentale

Les effets de site peuvent ainsi être interprétés comme une mise en résonance globale des bassins sédimentaires. Des approches modales simplifiées, basées sur la méthode du quotient de Rayleigh, ont donc été considérées [2]. A partir de déformées modales 2D ou 3D admissibles, ces approches fournissent une estimation rapide et fiable de la fréquence fondamentale de structures géologiques [2].

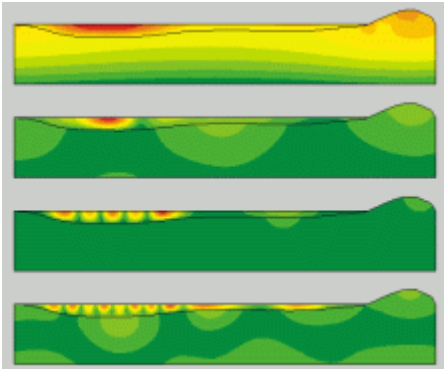


Basin fundamental frequency by modal approach >

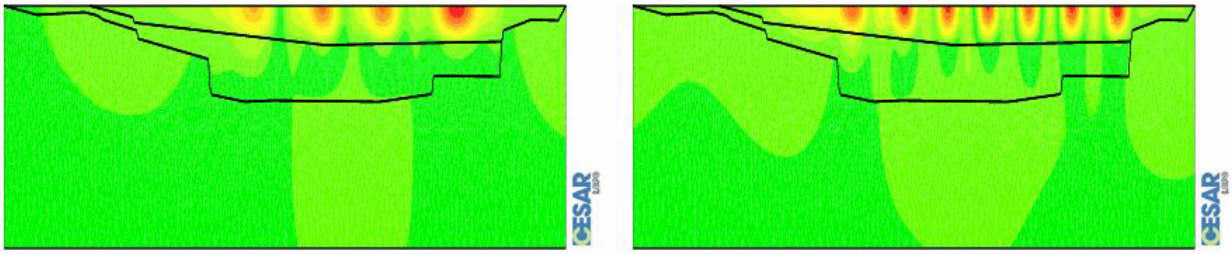
1.2 Approches propagatives par la méthode des éléments de frontière

Ces approches ne permettent pas aisément d'analyser l'amplification des ondes sismiques et il est donc nécessaire de simuler numériquement leur propagation. Plusieurs méthodes numériques sont envisageables : différences finies, éléments finis [6], éléments de frontière [5,7], éléments spectraux...

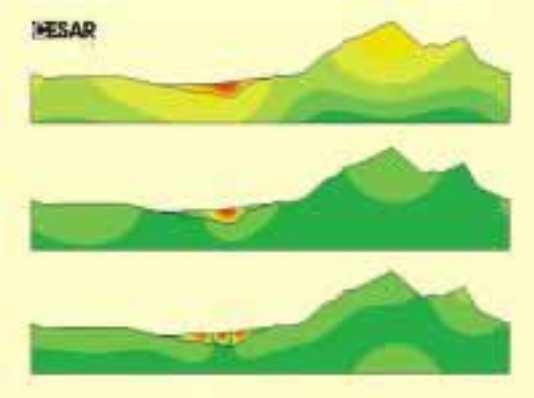
A l'échelle d'un bassin sédimentaire, l'amplification des ondes sismiques dans les formations superficielles est analysée à l'aide de la méthode des éléments de frontière pour les sites de Nice, Volvi, Caracas [4,5,7]. Les irrégularités géométriques (topographie) et les hétérogénéités de vitesse (lithologie) ont une importance significative sur les phénomènes d'amplification. Les comparaisons entre résultats numériques et résultats expérimentaux, issus de mesures de séismes faibles, sont tout à fait probantes [5,8]. Le développement d'une formulation « multipôle rapide » pour les équations intégrales de frontière en élastodynamique a récemment permis un gain important en volume de calcul et en capacité mémoire [9,10].



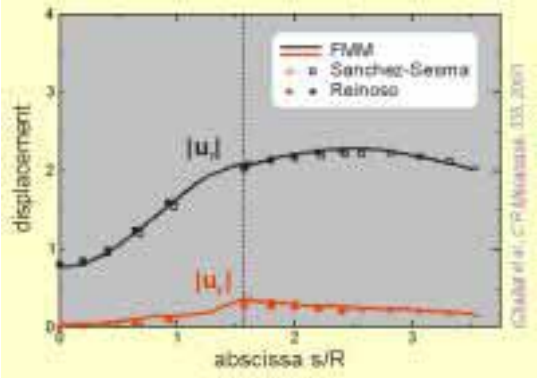
Seismic wave amplification in Nice [5]



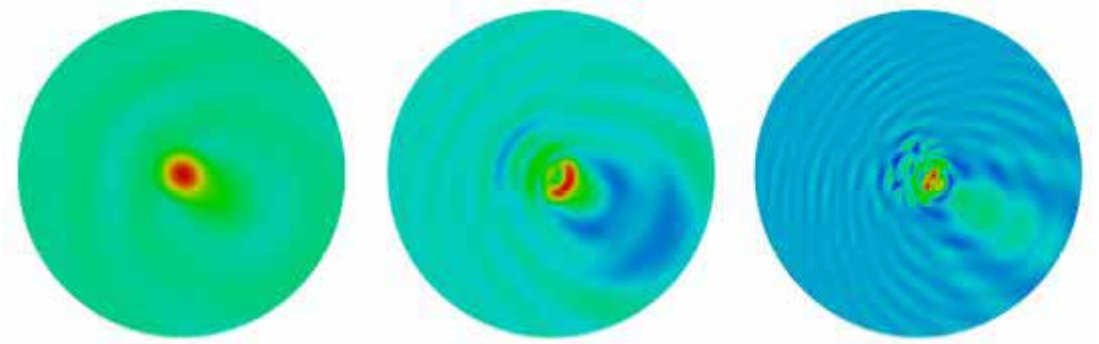
Seismic wave amplification in Volvi [4].



Seismic wave amplification in Caracas [8]



Fast Multipole Method: semi-spherical canyon [9]

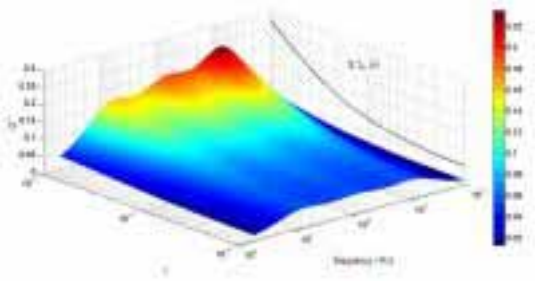


Fast Multipole Method : semi-spherical basin (SV-wave) [10]

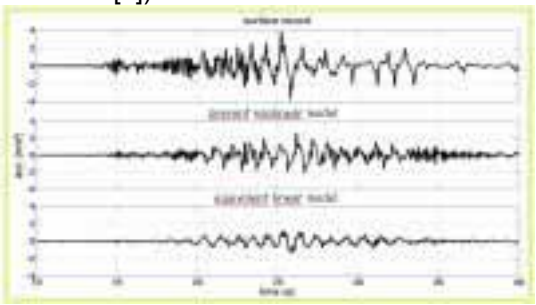
1.3 Amplification des séismes forts : modèle non linéaire simplifié

Dans le cas de séismes forts, l'influence des non linéarités de comportement des matériaux dans les couches superficielles est significative. Un modèle de comportement viscoélastique non linéaire a été développé afin de tenir compte à la fois de la réduction du module de cisaillement et de l'augmentation de la dissipation énergétique à distorsion croissante [6]. Les simulations unidimensionnelles réalisées avec ce modèle simplifié conduisent à des amplitudes plus faibles, des temps de propagation plus longs et

l'apparition d'harmoniques d'ordre impair. Ces résultats reproduisent donc les observations expérimentales de façon satisfaisante y compris en termes quantitatifs (e.g. comparaisons avec des mesures en surface et en profondeur pour le séisme de Kushiro-Oki [6]).



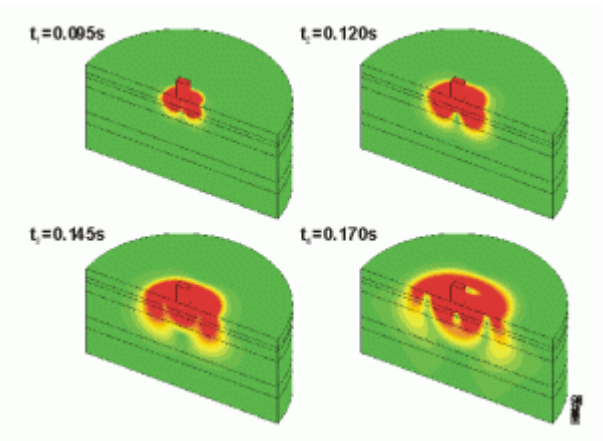
Nonlinear model for strong motion simulations [6]



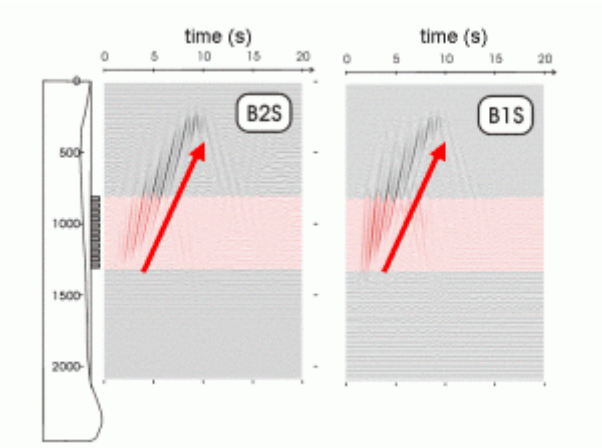
Simulations for Kushiro-Oki earthquake [6]

2 Interaction des ondes sismiques avec un réseau dense de structures

In fine, les structures de surface peuvent agir comme des sources sismiques secondaires et perturber le "champ libre" sismique [11]. A partir de résultats expérimentaux obtenus sur le site test européen de Volvi, la modélisation numérique de l'interaction structure-sol-structure permet de déterminer les paramètres contrôlant ces interactions. A grande échelle, l'interaction entre un bassin sédimentaire et un réseau d'immeubles – ou *interaction site-ville* - est analysée numériquement [12]. La coïncidence entre fréquences fondamentales des structures et fréquence de résonance du bassin influence fortement l'interaction site-ville. La cohérence du champ d'ondes, les effets de la densité urbaine et de l'hétérogénéité du bâti sont également discutés.



Structure-soil interaction (Volvi EuroSeisTest) [11]



Site-city interaction in an alluvial basin [12,13]

Références

[1] Semblat J.F., B.Gatmiri, P.Y.Bard, P.Delage (2006). Séisme en ville, *La Recherche*, 398 : 29-31.

[2] Semblat J.F., R.Paolucci, A.M.Duval (2003). Simplified vibratory characterization of alluvial basins, *C. R. Geoscience*, 33(4): 365-370.

[3] Abraham O., R.Chammas, P.Cote, H.Pedersen, J.F.Semblat (2004). Mechanical characterization of heterogeneous soils with surface waves, *Near Surface Geophysics*, 2: 249-258.

[4] Semblat J.F., Duval A.M., Dangla P. (2000). Numerical analysis of seismic wave amplification in Nice (France) and comparisons with experiments, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 19(5), pp.347-362.

[5] Semblat J.F., M.Kham, E.Parara, P.Y.Bard, K.Pitilakis, K.Makra, D.Raptakis (2005). Site effects : basin geometry vs soil layering, *Soil Dynamics and Earthquake Eng.*, 25(7-10): 529-538.

[6] Delépine N., Bonnet G., Semblat J-F, Lenti L. (2007). A simplified non linear model to analyze site effects in alluvial deposits, *4th Int. Conf. on Earthquake Geotechnical Eng.*, Thessaloniki, Greece, June 25-28.

[7] Dangla P., J.F.Semblat, H.Xiao, N.Delépine (2005). A simple and efficient regularization method for 3D BEM: application to frequency-domain elastodynamics, *Bull. of the Seismological Soc. of America*, 95(5): 1916-1927.

[8] Semblat J.F., Duval A.M., Dangla P. (2002). Seismic Site Effects in a Deep Alluvial Basin: Numerical Analysis by the boundary element method, *Computers and Geotechnics*, 29(7): 573-585.

[9] Chaillat S., Bonnet M., Semblat J-F (2008). A multi-level Fast Multipole BEM for 3-D elastodynamics in the frequency domain, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 197(49-50), pp.4233-4249.

[10] Chaillat S., Bonnet M., Semblat J-F (2009). A new fast multi-domain BEM to model seismic wave propagation and amplification in 3D geological structures, *Geophysical Journal International* (to appear).

[11] Bard P.Y., J.L.Chazelas, P. Guéguen, M. Kham, J.F. Semblat (2005). *Assessing and managing earthquake risk - Chap.5 : Site-city interaction*, Eds: C.S. Oliveira, A. Roca and X. Goula, Springer, 375 pages.

[12] Kham M., J.F. Semblat, P.Y.Bard, P.Dangla (2006). Site-City Interaction: main governing phenomena through simplified numerical models, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(5): 1934-1951.
[13] Semblat J.F., Kham M., Bard P.Y. (2008). Seismic Site Effects in Alluvial Basins and Influence of Site-City Interaction, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98(6), pp.2665-2678, 2008.
[14] Semblat J.F., Pecker A. (2009). *Waves and Vibrations in Soils: Earthquakes, Traffic, Shocks, Construction Works*, IUSS Press, 500 pages.