

N° d'ordre : 2829

## THESE DE DOCTORAT

Présentée à  
l'Université des Sciences et Technologies de Lille

Préparée au  
Laboratoire de Mécanique de Lille (U.R.A. CNRS 1441)  
Ecole Universitaire d'Ingénieurs de Lille

Spécialité

**GENIE CIVIL**

TITRE :

**Etude numérique de l'interaction sol-pieu-structure  
sous chargement sismique**

par

**CHUNG Yun-Suk**

Directeur de thèse :  
**M. Isam SHAHROUR**

Soutenue le 15 novembre 2000 devant le jury :

Jury MM.

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Jean-Georges SIEFFERT | Rapporteur, ENSAIS, Strasbourg               |
| Ilan JURAN            | Rapporteur, Polytechnic University, New York |
| Isam SHAHROUR         | USTL-EUDIL, Villeneuve d'Ascq                |
| Mhamed SOULI          | USTL, Villeneuve d'Ascq                      |
| Jean-Pierre TOURET    | EDF-SEPTEN, Villeurbanne                     |

## Résumé

Le présent travail porte sur une étude du comportement sismique des pieux utilisés comme éléments de fondations dans des sols mous sous effet de l'interaction sol-pieu-structure. L'étude a été effectuée à l'aide d'une modélisation tridimensionnelle par éléments finis.

Le travail comporte trois chapitres.

Le premier chapitre est consacré à une analyse bibliographique des travaux réalisés sur le comportement dynamique des pieux sous effet inertiel de la superstructure. On présente le problème d'interaction sol-pieu-structure qui peut être décomposé de l'interaction cinématique et de l'interaction inertielle. Ensuite, on essaye de synthétiser les méthodes d'analyse pour l'évaluation de l'interaction sol-pieu-structure intégrant l'effet inertiel. Enfin, on analyse les différentes approches utilisées pour l'étude, notamment les observations in situ, les études expérimentales, les analyses théoriques et numériques.

Le deuxième chapitre comporte une étude numérique de l'interaction sol-pieu-structure dans le cas des pieux isolés à l'aide d'une modélisation par éléments finis. Il est composé de trois parties. La première comporte une synthèse des travaux réalisés sur la définition des frontières limites dans la modélisation par éléments finis. La seconde est consacrée à une étude de ce problème à l'aide d'une modélisation bidimensionnelle. La dernière comporte une étude plus approfondie réalisée à l'aide d'une modélisation tridimensionnelle qui a été confrontée à celle du modèle simplifiée de Winkler.

Dans le troisième chapitre, on étudie l'effet de l'interaction inertielle pour des structures construites sur des groupes de pieux. Dans un premier temps, on décrit la démarche de modélisation sur un exemple de référence composé de trois pieux, ensuite on étudie d'une manière plus détaillée l'influence des principaux paramètres sur l'interaction inertielle, notamment l'espacement entre pieux, les fréquences mises en jeu, la masse de la structure, le nombre des pieux, la disposition des pieux dans les groupes, l'amortissement des matériaux et enfin la présence d'un sol bicouche.

**Mots clés :** élastique-linéaire, éléments finis, groupes, inertielle, interaction, isolé, pieu, sols, sol-pieu-structure, Winkler.

## **Introduction générale**

Les pieux sont largement utilisés comme éléments de fondation pour les structures situées dans des zones sismiques. A travers leur ancrage dans les sols, ils permettent d'assurer la stabilité des structures par rapport aux efforts latéraux ou de basculement induits par le chargement sismique. Les efforts sismiques sont particulièrement dangereux lorsque les ouvrages sont construits sur des sols mous, qui présentent des fréquences fondamentales basses et qui amplifient d'une manière sensible le mouvement sismique du sol mettant ainsi en danger la stabilité et le fonctionnement de ces ouvrages.

La conception et le calcul des pieux pour résister aux chargements sismiques posent des problèmes complexes, car le comportement des pieux fait intervenir de nombreux paramètres, notamment le comportement du sol, les conditions de contact entre les pieux et le sol, l'interaction entre pieux qui dépend de la fréquence, l'interaction entre les pieux et le chevron, et enfin l'interaction entre l'ensemble sol-fondation et la structure. Il est à noter également que les efforts sismiques dépendent d'une manière sensible des caractéristiques du chargement, notamment son contenu fréquentiel, son pic et sa durée qui peuvent être fortement influencés par les conditions locales de terrain.

Compte tenu des difficultés évoquées ci-dessus, la conception des pieux en zone sismique fait appel aux observations et analyses des dégâts induits par les séismes (Sugimura 1981, Tazoh et al. 1987, Mizuno 1987, Stewart et al. 1999b). Ces observations ont donné des indications d'une grande valeur sur le comportement des fondations, notamment sur les dispositions constructives. A titre d'exemple, on donne ci-dessous les résultats des certaines observations.

Mizuno (1987) a réalisé une analyse des dégâts subis par des pieux lors des sept grands tremblements de terre produits au Japon (du séisme de Kanto survenu en 1923 au séisme de Nihonka-Chubu de 1983). D'après cette analyse, les causes des dégâts de pieux ont été classés en cinq catégories, à savoir :

- mouvement latéral excessif du sol entourant les pieux,
- défaillance et mouvement des remblais,
- liquéfaction du sol,
- vibration de la structure et les forces inertielles résultantes.

Il a signalé que beaucoup de ruptures dans les pieux proviennent de la transmission des forces inertielles développées par la superstructure. Ces ruptures sont liées à des hautes valeurs de l'effort tranchant et du moment fléchissant au voisinage de la tête du pieu. Par exemple, le tremblement de terre à Off-Miyagi au Japon en 1978 a provoqué un grand nombre de dégâts sur les pieux qui étaient attribués aux vibrations de la superstructure. Les types de sol où les dégâts ont été observés s'étendaient du sable à l'argile. Les modes d'effondrement comportent

la rupture provenant du moment fléchissant, de l'effort tranchant et de l'écrasement complet en tête du pieu.

Tazoh et al. (1987) ont réalisé des observations sismiques sur un pont et un bâtiment de 12 étages construits sur un dépôt de sol mou. Ils ont noté que les moments fléchissants sont grands non seulement en tête des pieux, mais aussi aux frontières des couches de sol où la rigidité varie de façon significative et que le moment fléchissant en tête des pieux est essentiellement lié à l'inertie de la superstructure.

Mylonakis et al. (1997) et Guin et Banerjee (1998) ont analysé les tremblements de terre de Northridge (1994) et de Kobé (1995). Ils ont montré que la conception parasismique doit prendre en compte l'interaction sol-pieu-superstructure d'une manière rigoureuse.

Les études expérimentales sur les pieux ont été également très nombreuses. Elles ont fait un large appel à la technique de la table vibrante (Mizuno et al. 1984, Kana et al. 1986, Lieu et Chen 1991, Nomura et al. 1991, Yan et al. 1991, Sreerama 1993, Dou et Byrne 1996, Reimer et Meymand 1996, Makris et al. 1997, Tao et al. 1998, Meymand 1998). Les essais en centrifugeuse ont permis de mieux se rapprocher des conditions de terrain (Barton et Bande 1982, Baton 1984, Chang et Kutter 1989, Gohl 1991, Fiegel et al. 1994, Fiegel 1995, Anandarajah et al. 1995, McVay et al. 1998, Boulanger et al. 1999).

La recherche des solutions analytiques et la modélisation numérique ont également occupé une place importante dans l'analyse du comportement sismique des pieux (Whitman 1972, Kausel et Roesset 1974, Novak et Aboul-Ella 1978, Novak et El-Hifnawy 1983, Gazetas 1984, Gazetas & Dobry 1984, Masayuki et Shoichi 1991, Makris et al. 1994, Makris et al. 1996, Mylonakis et Gazetas 1999). A l'heure actuelle, on dispose de plusieurs formulations simplifiées qui permettent de traiter le problème sismique des pieux. Ces formulations sont fondées sur le principe de superposition qui traite le problème sismique en trois phases, à savoir la détermination de la réponse du sol en champ libre, la détermination de l'interaction cinématique (influence de la fondation sur la modification du champ libre) et enfin la détermination de la réponse de la structure en la soumettant au mouvement du sol déterminé dans la seconde phase.

Compte tenu de la complexité du problème d'interaction sol-pieu-structure et du fort couplage entre les éléments de fondation et de structure, il est nécessaire de procéder à une analyse globale de ce problème. Ainsi, dans ce travail, on propose d'utiliser une modélisation tridimensionnelle par éléments finis intégrant le sol et les éléments de fondation et de structure pour mieux comprendre l'interaction entre ces différents éléments. Compte tenu des difficultés de mise en œuvre de ce type de modèle, les simulations numériques ont été effectuées en supposant un comportement élastique linéaire avec amortissement pour le sol et les éléments de structure.

Le travail de thèse est présenté en trois chapitres.

Le premier chapitre comporte une synthèse des travaux réalisés sur le problème d'interaction sol-pieu-structure. Une part importante de ce chapitre est consacrée à l'analyse des résultats d'observation et de mesure.

Le second chapitre porte sur l'analyse tridimensionnelle du problème d'interaction sol-pieu-structure dans le cas d'un pieu isolé. Cette étude permet de recenser les principaux facteurs affectant l'interaction entre le pieu et la structure.

Le dernier chapitre est consacré à l'étude de l'interaction sol-pieu-structure dans le cas des groupes des pieux. L'accent est mis sur l'effet de groupe et son évolution avec les paramètres majeurs tels que l'espacement des pieux, le nombre des pieux et leur disposition dans le groupe, la masse et la rigidité de la superstructure, et la rigidité relative sol-pieu.

*Références bibliographiques*

Anandarajah, A., Rashidi, H. & Arulanandan, K., (1995) : « Elasto-Plastic Finite Element Analyses of a Soil-Structure System Under Earthquake Excitation », *Computers and Geotechnics*, Vol.17, pp. 301-325.

Barton, Y. O. et Pande, G. N., (1982) : « Laterally Loaded Piles in Sands : Centrifuge Tests and Finite Element Analyses », *International Symposium on Numerical Models in Geomechanics*, Zurich, pp. 749-758.

Barton, Y. O. (1984) : « Response of Pile Groups to Lateral Loading in the Centrifuge », *Proc. Symposium on the Application of Centrifuge Modelling to Geotech. Eng.*, Manchester, pp. 457-473.

Berger, E., Mahin, S. A. & Pyke, R., (1977) : « Simplified Methode for Evaluating Soil-Pile-Structure Interaction Effects », 9<sup>th</sup> Annual Offshore Technology Conference, Houston, OTC 2954, pp. 589-598.

Bielak, J. & Palencia, V. J., (1977) : « Dynamic Behavior of Structures with Pile-Supported Foundations », *Proc. 9<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, New Delhi, pp. 1576-1581.

Blaney, G. W. & O'Neill, M. W., (1986) : « Measured Lateral Response of Mass on Single Pile in Clay », *J. Geotech. Eng., ASCE*, Vol. 112, No. 4, pp. 443-457.

Bogard, D. & Matlock, H., (1983) : « Procedure for the Analysis of Laterally Loded Pile Groups in Soft Clay », *Proc. Conf. Geotech. Practice in Offshore Eng., ASCE*, Austin, pp. 499-535.

Boulanger, R. W., Curras, C. J., Kutter, B. L, Wilson, D. W. & Abghari, A. A., (1999) : « Seismic Soil-Pile-Structure Interaction Experiments and Analyses », *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 125, No. 9, pp. 750-759.

Butterfield, R. & Banerjee, P. K. (1971), « The Elastic Analysis of Compressible Piles and Piles Groups », *Géotechnique*, Vol. 21, pp. 43-60.

Castillani, A., (1974) : « Boundary Conditions to Simulate an Infinite Space », *MECCANIA*, Journal Italien Association of Theoretical and Applied Mechanics, AIMETA, Milano, Italy, Vol. IX, No. 4, pp. 199-205.

Chang, G.-S. & Kutter, B. L., (1989) : « Centrifugal Modeling of Soil-Pile-Structure Interaction », Engineering Geology and Geotechnical Engineering, Watters (ed.), Balkema, Rotterdam, pp. 327-334.

Clough R. W. & Penzien J., (1993) : « Dynamic of Structures », Second Edition, McGraw-Hill, Inc.

Dobry, R & Gazetas, G., (1988) : « Simple Method for Dynamic Stiffness and Damping of Floating Pile Groups », Géotechnique, Vol. 38, pp. 557-574.

Dou, H. & Byrne, P. M., (1996) : « Dynamic Response of Single Piles and Soil-Pile Interaction », Can. Geotech. J. Vol. 33, pp. 80-96.

El-Marsafawi, H., Kaynia, A. M. & Novak, M., (1992) : « The Superposition Approach to Pile Group Dynamics » in Piles Under Dynamic Loads, Geotech. Spec. Pub. 34, ASCE, pp. 114-135.

Fenves, G. & Serino, G., (1992) : « Evaluation of Soil-Structure Interaction in Buildings During Earthquake », Data Utilisation Rpt. CSMIP/92-01, Rpt. to Offc. of Strong Motions Studies, Div. of Mines and Geology, California Dept. of Conservation, June.

Fiegel, G., Hudson, M. Idriss, I., Kutter, B. & Zeng, X., (1994) : « Effect of Model Containers on Dynamic Soil Response », Proc. of centrifuge '94, Singapore, pp. 145-150.

Fiegel, G., (1995) : « Centrifugal and Analytical Modeling of Soft Soil Sites Subjected to Strong Shaking », Ph. D. Dissertation, Univ. of California, Davis.

Gazetas, G., (1984) : « Seismic Response of End-bearing Single Piles », Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 3, pp. 82-93.

Gazetas, G. & Dobry, R., (1984) : « Horizontal Response of Piles in Layered Soil », J. Geotech. Eng., ASCE, Vol. 110, No. 1, pp. 20-40.

Gazetas, G., Fan, K., Tazoh, T., Shimizu, K., Kavvadas, M. & Makris, N., (1992) : « Seismic Pile-Group-Structure Interaction », Geotechnical Special Publication No. 34, Piles Under Dynamics Loads, ASCE, pp. 56-93.

Gazetas, G., Fan, K. & Kaynia, A., (1993) : « Dynamic Response of Piles Groups with Different Configuration », Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 12, pp. 239-257.

Gazetas, G. & Mylonakis, G., (1998) : « Seismic Soil-Structure Interaction : New Evidence and Emerging Issues », Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, Geo-Institute ASCE Conference, Seattle 3-6 August, pp. 1-56.

Gerolymos, N., Gazetas, G. & Mylonakis, G., (1998) : « Fundamental Period and Effective Damping of Pile-Supported Bridge Piers », Eleventh European Conference on Earthquake Engineering, Topic 3, Paris.

Gohl, W., (1991) : « Response of Pile Foundations to Simulated Earthquake Loading : Experimental and Analytical Results », Ph. D. Dissertation, Univ. of British Columbia.

Guin, J. & Banerjee P. K., (1998) : « Coupled Soil-Pile-Structure Interaction Analysis Under Seismic Excitation », Journal of Structural Engineering, Vol.124, No. 4, pp. 434-444.

Hwang, R. N., Lysmer, J. & Berger, E., (1975) : « A Simplified Three-Dimensional Soil-Structure Interaction Study », Proceeding, 2<sup>nd</sup> ASCE Specialty Conference on Structural Design of Nuclear Power Plant Facilities, Vol. I-A, pp. 786-808.

Kagawa, T. & Kraft, L. M. , Jr., (1980) : « Seismic  $p$ - $y$  Response of Flexible Piles », Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 106, No. GT8, pp. 899-918.

Kana, D. D., Boyce, L. & Blaney B. W., (1986) : « Development of a Scale Model for the Dynamic Interaction of a Pile in Clay », Journal of Energy Resources Technology, ASCE, Vol. 108, pp. 254-261.

Kausel, E. & Peek, R., (1982) : « Boundary Intergral Method for Stratified Soils », Res. Re. R82-50, MIT, Cambridge, MA.

Kausel, E. & Roesset, J.M., (1974) : « Soil-Structure Interaction for Nuclear Containment Structures », Proc. ASCE, Power Division Specialty Conference, Boulder, Colorado.

Kavvas, M. & Gazetas, G., (1993) : « Kinematic Seismic Response and Bending of Free-Head Piles in Layered Soil », Géotechnique, Vol. 43, No. 2, pp. 207-222.

Kaynia, A. & Kausel, E., (1982) : « Dynamic Stiffness and Seismic Response of Pile Groups », Rpt. R32-03, Massachusetts Inst. of Technology, Cambridge.

Kaynia, A. & Kausel, E., (1982) : « Dynamic Behavior of Pile Groups », Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Numerical Methods in Offshore Piling, Texas Univ., Austin, pp. 509-532.

Kaynia, A. & Mahzooni S., (1996) : « Forces in Pile Foundations Under Seismic Loading », Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 122, No. 1, pp. 46-53.

Kramer, S. L., (1996) : « Geotechnical Earthquake Engineering », Prentice Hall, Inc.

Krishnan, R., Gazetas, G. & Velez, A., (1983) : « Static and Dynamic Lateral Deflection of Pile in Non-Homogeneous Soil Stratum », *Géotechnique*, Vol. 33, pp. 307-325.

Kuhlemeyer, R. L. & Lysmer J., (1973) : « Finite Element Method Accuracy for Wave Propagation Problems », *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASME*, Vol. 99, No. SM5, pp. 421-426.

Kuhlemeyer, R. L., (1979) : « Static and Dynamic Laterally Loaded Floating Piles », *Journal Geotech. Eng., Proc. ASCE*, Vol. 105, GT2, pp. 289-304.

Laghrouche, O. & Le Houedec, D., (1996) : « Réduction des vibrations causées par une sollicitation souterraine », *Génie parasismique et aspects vibratoires dans le génie civil*, 4<sup>ème</sup> Colloque National AFPS, Saint-Rémy-lès-Chevreuse, France, pp. 150-159.

Lieu, H. & Chen, K., (1991) : « Test on Behavior of Pile Foundation in Liquefiable Soils », *Proc. 2<sup>nd</sup> Intl. Conf. on Recent Advances in Geotech. Eng. and Soil Dyn.*, St. Louis, Vol. 1, pp. 233-235.

Lieu, W. & Novak, M., (1991) : « Soil-Pile-Cap Static Interaction Analysis by Finite and Infinite Elements », *Can. Geotech. J.*, Vol. 28, pp. 771-783.

Lysmer, J. & Waas, G., (1972) : « Shear Waves in Plane Infinite Structures », *Journal of Engineering Mechanics, ASCE*, Vol. 95, No. EM1.

Lysmer, J., Tabatabaie, M., Tajirian, F., Vahdani, S. & Ostadan, F. (1981) : « SASSI, a System for Analysis of Soil-Structure Interaction », UCB/GT/81-02, University of California, Berkeley.

Makris, N. & Gazetas, G., (1992) : « Dynamic Pile-Soil-Pile Interaction, Part II : Lateral and Seismic Response », *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 21, pp.145-162.

Makris, N., Badoni, D. & Gazetas, G., (1994) : « Prediction of Observed Bridge Response with Soil-Pile-Structure Interaction », *Journal of Structural Engineering*, Vol. 120, No. 10, pp. 2992-3011.

Makris, N., Gazetas, G. & Delis, E., (1996) : « Dynamic Soil-Pile-Foundation Interaction : Records and Predictions », *Géotechnique*, Vol. 46, No. 1 , pp. 33-50.

Makris, N., Tazoh, T., Yun, X. & Fill, A., (1997) : « Prediction of the Measured Response of a Scaled Soil-Pile-Superstructure System », *Soil Dyn. Earthquake Eng.*, Vol. 16, pp. 113-124.

- Masayuki, H. & Shoichi, N., (1991) : « A Study on Pile Forces of a Pile Group in Layered Soil Under Seismic Loadings », Proc. 2<sup>nd</sup> Intl. Conf. on Recent Advances in Geotech. Eng. and Soil Dyn., St. Louis, Paper No. 5.58, pp. 2079-2086.
- McVay, M., Zhang, L., Molnit, T. & Lai, P., (1998) : « Centrifuge Testing of Large Laterally Loaded Pile Groups in Sands », Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 124, No. 10, pp. 1016-1026.
- Medina, F & Taylor, R. L., (1983) : « Finite Element Techniques for Problems of Unbounded Domains », International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 19, pp. 1209-1226.
- Meymand, P. J., (1998) : « Shaking Table Scale Model Tests of Nonlinear Soil-Pile-Structure Interaction in Soft Clay », Ph. D. Dissertation, University of California, Berkeley.
- Mizuno, H., Iiba, M. & Kitagawa, Y., (1984) : « Shaking Table Testing of Seismic Building-Pile-Two-Layered-Soil Interaction », Proc. 8<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, Vol. III, pp. 649-656.
- Mizuno, H., (1987) : « Pile Damage During Earthquake in Japan (1923-1983) », Geotechnique Sp. Publ., 11, pp. 53-78.
- Mylonakis, G., Nikolaou, A. & Gazetas, G., (1997) : « Soil-Pile-Bridge Seismic Interaction : Kinematic and Inertial Effects », Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 26, No. 3, pp. 337-360.
- Mylonakis, G. & Gazetas, G., (1999) : « Lateral Vibration and Internal Forces of Grouped Piles in Layered Soil », Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 125, No. 1, pp. 16-25.
- Nomura, S., Shamoto, T. & Tokimatsu, K., (1991) : « Soil-Pile-Structure Interaction During Liquefaction », Proc. 2<sup>nd</sup> Intl. Conf. on Recent Advances in Geotech. Eng. and Soil Dyn., St. Louis, Vol 1, pp. 743-750.
- Novak, M., (1991) : « Pile Under Dynamic Loads », Proc. 2<sup>nd</sup> Intl. Conf. on Recent Advances in Geotech. Eng. and Soil Dyn., St. Louis, Vol 3, pp. 2433-2456.
- Novak, M. & Aboul-Ella, F., (1978) : « Impedance Functions of Piles in Layered Media », Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 104, No. EM6, pp. 643-661.
- Novak, M. & El-Hifnawy, L., (1983) : « Stiffness Constants of Singles Piles », Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 109, No. 7, pp. 961-974.

Ousta, R., (1998) : « Etude du comportement sismique des micropieux », Thèse de doctorat à l'Université des Sciences et Technologies de Lille, Lille.

Poulos, H. G., (1971) : « Behaviour of Laterally Loaded Piles, II : Piles Groups », *Journal Mech. & Found. Engrs. ASCE* 97, SM5, pp. 773-751.

Poulos, H. G., (1980) : « An Approach for the Analysis of Offshore Pile Groups », *Proc. 1<sup>st</sup> Intl. Conf. on Numerical Methods in Offshore Piling*, London, pp. 119-126.

Rao, R. V. & Rao, N. S. V. K, (1999) : « Dynamic Analysis of Pile Foundation in Time-Domain using Lanczos Vectors », *Computers and Geodynamics*, Vol. 24, pp. 297-322.

Reimer, M. & Meymand, P., (1996) : « 1-g Modeling of Seismic Soil-Pile-Structure Interaction in Soft Clay », *Proc. 4<sup>th</sup> Caltrans Seismic Research Workshop*, Sacramento, July.

Roesset, J. M. & Angelides, D., (1979) : « Dynamic Stiffness of Piles », *Proc. 1<sup>st</sup> Intl. Conf. on Numerical Methods in Offshore Piling*, London, pp. 75-81.

Roesset, J. M. & Ettouney, M. M. (1977) : « Transmitting Boundary : A Comparison », *International Journal for Numerical Methods in Geomechanics*, Vol. 1, pp. 151-176.

Shahrour, I., (1992) : « PECPLAS : A Finite Element Software for the Resolution of Earthwork Problems », *Actes du colloque International 'Géotechnique & Informatique'*, Edition Presse ENPC, Paris, pp. 327-334.

Sen, R., Davies, T. G. & Banerjee, P. K., (1985) : « Dynamic Analysis of Piles and Piles Groups Embedded in Homogeneous Soils », *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 13, pp. 53-65.

Sreerama, K., (1993) : « Dynamic Pile-Soil-Pile Interaction Using Model Tests Under Simulated Earthquakes », *Ph.D. Dissertation*, Univ. of Missouri-Rolla.

Stewart, J. P., Seed, R. B. & Fenves, G. L., (1999a) : « Seismic Soil-Structure Interaction in Building, I : Analytical Methods », *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 125, No. 1, pp. 26-37.

Stewart, J. P., Seed, R. B. & Fenves, G. L., (1999b) : « Seismic Soil-Structure Interaction in Building, II : Empirical Finding », *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 125, No. 1, pp. 38-48.

Sugimura, Y., (1981) : « Earthquake Damage and Design Method of Piles », *Proc. 10<sup>th</sup> Intl. Conf. Soil Mech. Fdn. Eng.*, Stockholm, Vol. 2, pp. 865-868.

Sy, A. & Siu, D., (1992) : « Forced Vibration Testing of an Expanded Base Concrete Pile », in Piles Under Dynamic Loads, Geotech. Spec. Pub. 34, ASCE, pp. 170-186.

Takemiya, H., Kellezi, L. & Imamura, T., (1997) : « Measurement of Vibration Propagation by Pile Driving and Computer Simulation », Expérimentation et Calcul en Génie Civil-EC'97, pp. 457-465.

Tao, X., Kagawa, T., Minowa, C. & Abe, A., (1998) : « Verification of Dynamic Soil-Pile Interaction », Proc. 3<sup>rd</sup> Conf. Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, ASCE, Seattle, pp. 1199-1210.

Tazoh, T., Shimizu, K. & Wakarara, T., (1987) : « Seismic Observations and Analysis of Grouped Piles », in Dynamic Response of Pile Foundations – Expérimentations, Analysis, and Observation, Geotech. Spec. Pub. 11, ASCE, pp. 1-20.

Waas, G. & Hartmann, H. G., (1984) : « Seismic Analysis of Pile Foundations Including Pile-Soil-Pile Interaction », Proc. 8<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, Vol. V, pp. 55-62.

Waas, G., (1972) : « Earth Vibration Effects and Abatement for Military Facilities », Rpt. 3, U.S. Army Engineer WES, Vicksburg, Miss.

Whitman, R. V., (1972) : « Analysis of Soil-Structure Interaction : State-of-the-Art Review », Experimental and Structural Dynamics, Inst. of Sound and Vibration, Southampton.

Wolf, J. P. & Von Arx, G., (1982) : « Horizontally Travelling Waves in a Group of Piles Taking Pile-Soil-Pile Interaction into Account », Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 10, pp. 225-237.

Wu, G. & Liam Finn, W.D., (1997) : « Dynamic Elastic Analysis of Pile Foundations Using Finite Element Method in the Frequency Domain », Can. Geotech. J., Vol. 34, pp. 34-43.

Yan, L., Byrne, P. & Dou, H., (1991) : « Model Studies of Dynamic Pile Response Using Hydraulic Gradient Shaking Table Tests », Proc. 6<sup>th</sup> Canadian Conf. Earthquake Eng., Toronto, pp. 335-342.

Yang, S.-C. & Yun, C.-B., (1992) : « Axisymmetric infinite elements for Soil-Structure Interaction Analyse », Eng. Struct., Vol. 14, pp. 361-370.

Yun, C.-B., Kim, J.-M. & Hyun C.-H., (1995) : « Axisymmetric Elastodynamic Infinite Elements for Multi-Layered Half-Space », International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 38, pp. 3723-3743.

Zhang, C. & Zhao, C., (1987) : « Coupling Method of Finite and Infinite Elements for Strip Foundation Wave Problems », *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 15, pp. 839-851.

Zhao, V. & Valliappan, S., (1993) : « A Dynamic Infinite Element for Three-Dimensional Infinite-Domain Wave Problems », *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 36, pp. 2567-2580.