Analyse tridimensionnelle de l'interaction dynamique sol-micropieux-structure

Influence des nonlinéarités de sol et de l'interface

Hassan Alsaleh*, Isam Sahrour*

**Laboratoire de Mécanique de Lille,Université des Sciences et Technologies de Lille (USTL)Polytech-Lille – 59 655 Villeneuve d'Ascq cedex, France.*

Email: Hassan.Alsaleh@polytech-lille.fr, Isam.Shahrour@polytech-lille.fr

RÉSUMÉ: *Les observations sur les séismes dévastateurs ont révélé que les non-linéarités des matériaux devraient être prises en compte dans le dimensionnement des fondations sur pieux en zone sismique. Cette étude vise à étudier cet aspect pour l'interaction sol-micropieux-structure en utilisant un modèle en trois dimensions réalisé par la méthode des différences finies (MDF).*

Les résultats montrent que les non-linéarités du sol et de l'interface sol-micropieux ont non seulement une très grande influence sur la réponse sismique des micropieux mais aussi sur celle de la superstructure.

ABSTRAC: *Observations on devastating earthquakes showed that material nonlinearities should be taken into account for the seismic design of pile foundations. This study deals with this issue for the soil-micropiles-structure interaction using a three-dimensional finite-difference model (FDM)).*

The study shows that both the nonlinearities of the soil and micropile-soil interface have significant effect on the seismic response of the micropiles as well as that of the structure.

MOTS-CLÉS : *interaction sol-structure, micropieu, sismique, plasticité, interface, 3D*

KEYWORDS: *soil-structure interaction, micropiles, earthquake, plasticity, interface, 3D*

1. Introduction

L'utilisation des micropieux en zone sismique présente un grand intérêt grâce à leur flexibilité et ductilité. Les micropieux fonctionnent principalement par frottement le long du fût ; la contribution de la pointe à la capacité portante est négligeable. Ceci montre le grand intérêt qu'on doit accorder à l'interface sol-micropieux. Dû à la complexité de l'analyse non linéaire de l'interaction sol-pieux-structure, la plupart des recherches dans ce domaine ont été réalisées dans le cadre de l'élasticité avec une liaison rigide entre les micropieux et le sol. Néanmoins, sous un chargement sismique à forte intensité, le comportement non linéaire du sol est très prononcé et la rupture de l'interface sol-micropieux est très probable. Par conséquence, une analyse de ce problème est nécessaire pour prendre en compte la non-linéarité du sol et la possibilité de glissement à l'interface sol-micropieux.

Cette communication présente une étude de l'influence de la non linéarité du sol et de la possibilité du glissement à l'interface sur l'interaction sol-micropieux-structure sous le chargement sismique. L'analyse est réalisée à l'aide du programme FLAC3D.

2. Présentation du modèle

Un modèle en trois dimensionnes est réalisé en utilisant le code de FLAC3D. Le comportement du sol est régi par le critère de Mohr-Coulomb. L'interface est modélisée par un ressort et un patin localisé. Son comportement est décrit par la rigidité et les paramètres de résistance Φ et C. La rigidité de l'interface dans les deux directions est équivalente au module de cisaillement du sol. Les tableaux 1 et 2 récapitulent les propriétés du sol et des micropieux.

Les simulations sont effectuées avec les conditions aux limites illustrées sur la figure 1. La base du massif du sol est supposée rigide ; les frontières sont mises suffisamment loin de la structure avec l'utilisation des éléments infinis et des frontières absorbantes pour réduire la réflexion des ondes sur les bords du modèle. La charge sismique est considérée comme un mouvement appliqué à la base du modèle. La composante N-S du séisme de Kocaeli 1999 N-S est utilisée avec une amplitude maximale de 40cm/s (accélération maximale au sol 0,25g). L'analyse de Fourier de ce séisme montre que le pic maximal correspond à une fréquence de 0,9Hz, et que le domaine de spectre de fréquence se trouve principalement entre 0,2 et 2Hz.

Les micropieux sont encastrés dans un chevêtre rigide d'un mètre d'épaisseur sans contact avec le sol. Une superstructure à un seul degré de liberté est placée au-dessus du chevêtre. La superstructure est modélisée par une colonne supportant en tête une masse concentrée de 40 tons. La fréquence propre de celle-ci en supposant un encastrement à sa base est égale à 1,61 Hz.

Le maillage retenu pour un group de 2x2 micropieux verticaux est illustré dans la figure 2.

Tableau 1. Propriétés du sol avec le critère de Mohr-Coulomb.

γ	E	ν	ζ	f_C	Φ	C	ψ
1700 kg/m^3	8 MPa	0.45	5 %	0.75 Hz	30°	17 kPa	0°

Tableau 2. Propriétés des micropieux (TITAN 103/78mm)

D=20cm	γ =2500/ 7850 kg/m^3	E = 200GPa	ν =0.2	Amorti. de type local=2%	L =10m

γ, E, ν sont la densité, le module de Young et le coefficient de Poisson. Φ, C, ψ sont le frottement interne, la Cohésion et la dilatation du sol. D et L sont le diamètre et la longueur de micropieu.

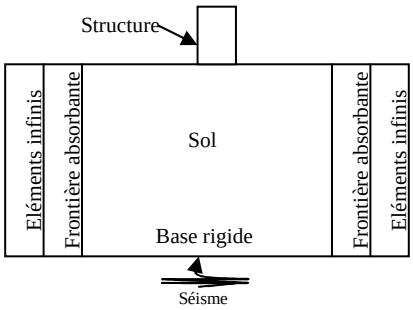

Figure 1. Le modèle

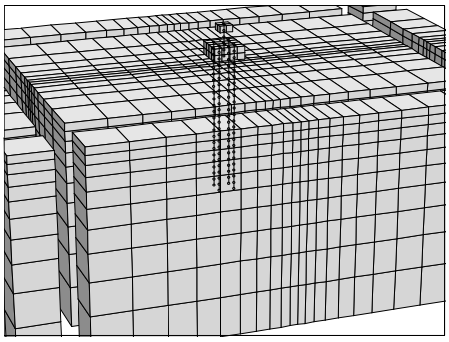

Figure 2. Le maillage.

3. Influence de la plasticité du sol (interface parfaite)

La figure 3 présente les déplacements en tête de la superstructure avec ou sans la prise en compte de la plasticité du sol avec une interface parfaite. Ces deux réponses sont dénotées EE, PE respectivement. On peut constater que la plasticité des sols induit une réduction du déplacement maximal de la superstructure. Cette réduction se traduit par une diminution des efforts d'inertie et des efforts dans les micropieux (Figures 4 et 5). La figure 6 montre le spectre de la vitesse au niveau de la superstructure. On note que la plasticité conduit à une forte réduction de l'amplitude et des fréquences dominantes du mouvement.

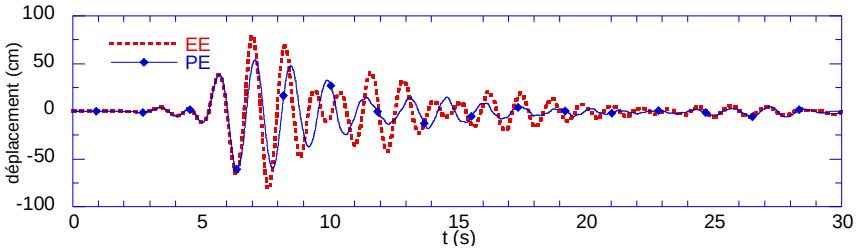

Figure 3. Evolution de déplacement de la masse de la superstructure.

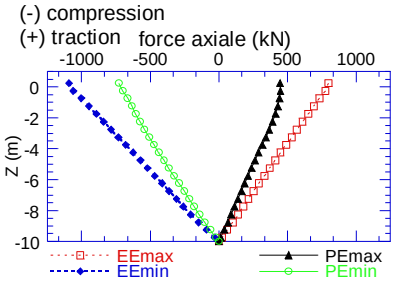

Figure 4. Effort axial.

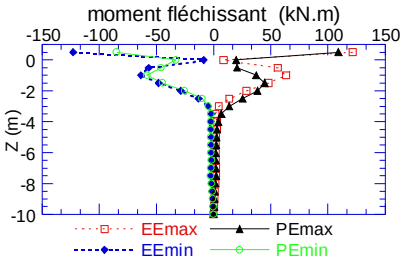

Figure 5. Moment fléchissant.

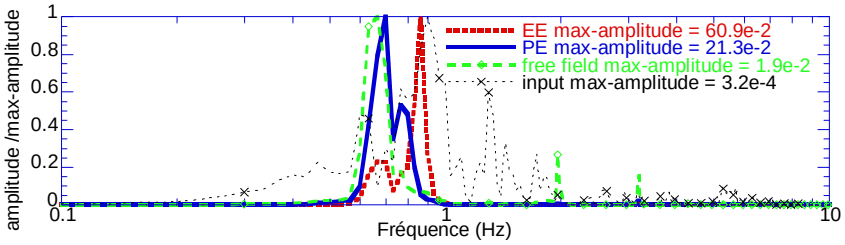

Figure 6. Réponses spectrales normalisées de la vitesse de la masse de la superstructure avec ou sans la pise en compte de la non-linéarité du sol.

4. Influence de la résistance de l'interface (sol élastique)

Pour étudier l'effet de l'interface sol-micropieu sur la réponse sismique des micropieux, des calculs ont été effectués avec plusieurs résistances de l'interface : une interface cohésive (cohésion = 150; 100; 50kPa) et une interface ayant la résistance du sol (C = 17 kPa, φ = 30°). Ces réponses sont dénotées E150kPa, E100kPa, E50kPa et E30°, respectivement. Elles seront comparées avec les deux réponses présentées précédemment EE et PE. Les enveloppes de l'effort axial et du moment fléchissant induits dans le micropieu sont illustrés dans les figures 7 et 8. On note que la diminution de la résistance de l'interface se traduit par une réduction des

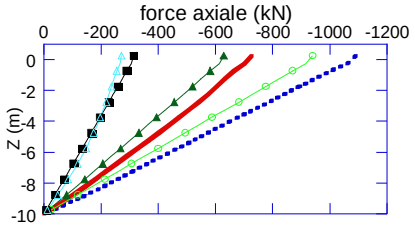

Figure 7. Effort axial maximal.

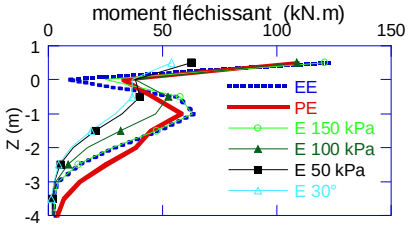

Figure 8. Moment fléchissant.

efforts dans le micropieu. Cela peut être expliqué par le fait que le glissement à l'interface réduit d'une manière significative la transmission de l'énergie vers la superstructure, et par conséquent les efforts d'inertie créés.

5. Influence de la mise en plasticité du sol pour différentes résistances de l'interface

La figure 9 montre l'extension de la plasticité pour différentes résistances de l'interface. Il est intéressant de constater que le sol se met en plasticité d'une façon importante quand l'interface est relativement résistante. En effet, les forces d'inerties augmentent avec l'augmentation de la résistance de cette interface. La figure 10 présente les réponses pour trois résistances de l'interface avec ou sans prise en compte de la non-linéarité du sol. Il est clair que la mise en plasticité du sol n'a que très peu d'influence sur les réponses dans le cas où l'interface est relativement médiocre (résistance inférieure à 50kPa, Figure 10a). Pour une résistance de 100kPa, la mise en plasticité du sol conduit à une augmentation de l'effort tranchant et à une augmentation du moment fléchissant dans la partie inférieure du micropieu (Figure 10b). Pour une interface avec une résistance élevée (150 kPa, Figure 10c), la plasticité affecte d'une manière significative la réponse des micropieux. On constate une réduction de l'effort axial et de l'effort tranchant et du moment fléchissant dans la partie supérieure du micropieu. La réponse dans ce cas est gouvernée par la résistance du sol. D'ailleurs, la séparation entre le micropieu et le sol a donné lieu à un grand tassement de la fondation (Figure 11). Il est intéressant de comparer les spectres de réponse pour les différents cas (Figures 12 et 13). On constate que l'effet du glissement à l'interface ressemble à celui de la plasticité dans le sol en termes de réduction des fréquences dominantes. La plasticité dans le sol et (ou) l'interface conduit à une réduction de l'énergie transmise à la superstructure.

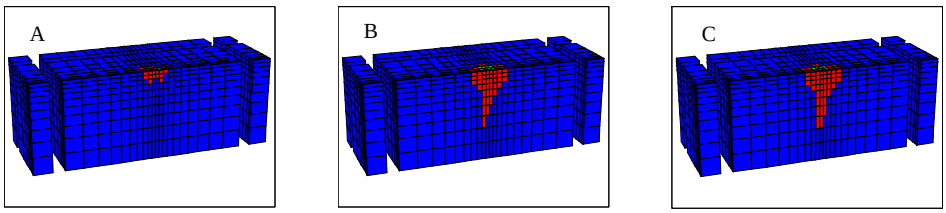

Figure 9. Extension de la plasticité du sol pour différentes résistances de l'interface sol-micropieu a) 50kPa, b) 100kPa, c) 150kPa; bleu zone non plastifiée ; rouge zone plastifiée en cisaillement.

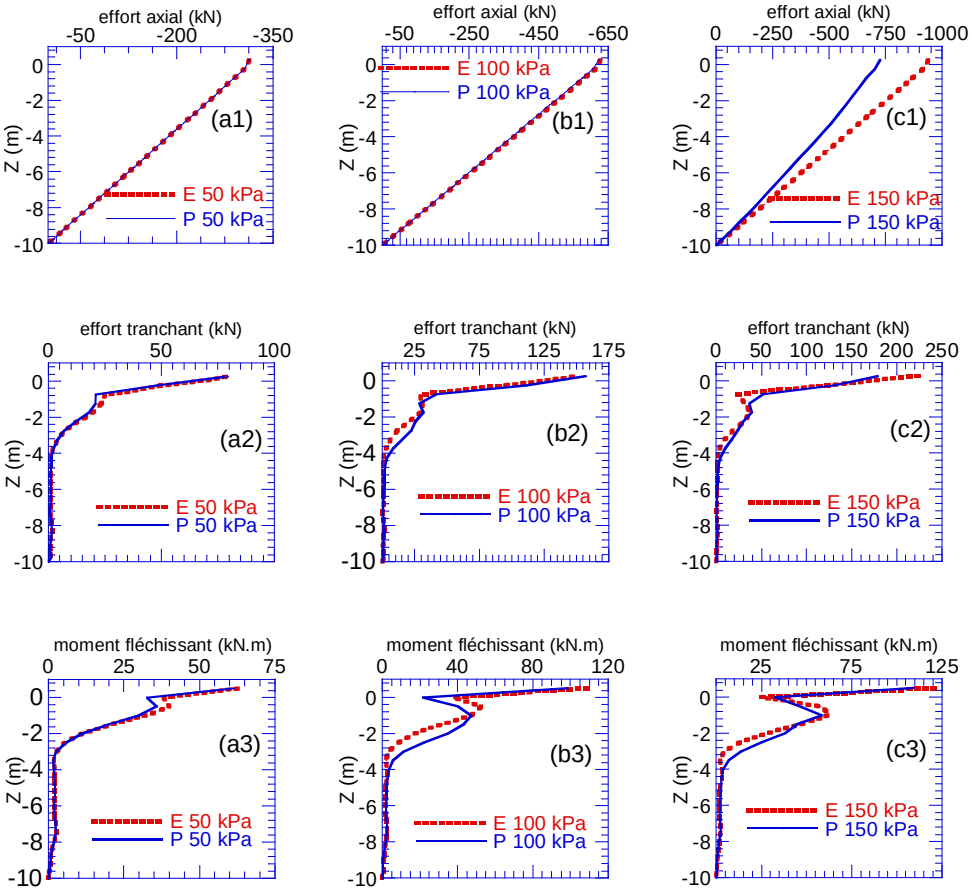

Figure 10. Influence de la mise en plasticité du sol pour différentes résistances de l'interface sol-micropieu ; a) 50kPa, b) 100kPa, c) 150kPa.

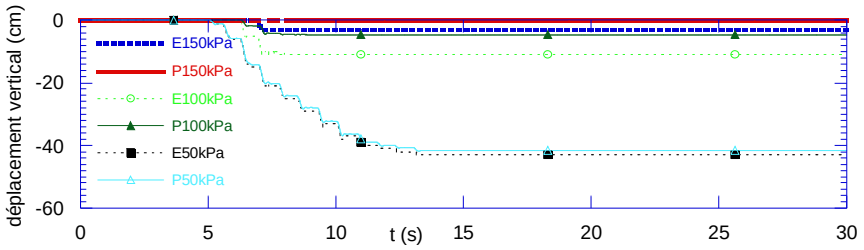

Figure 11. Tassement de la fondation pour différentes résistances de l'interface

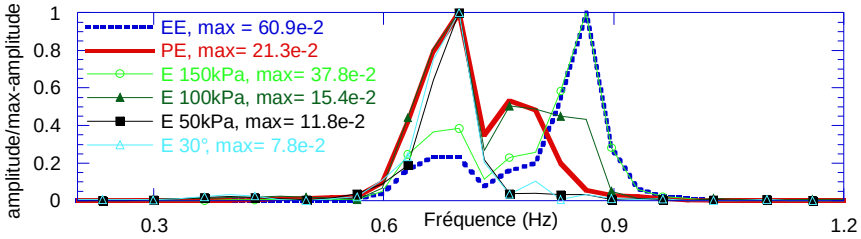

Figure 12. Réponses spectrales normalisées pour les différentes résistances de l'interface sans la plasticité du sol comparées avec les modèles EE et PE.

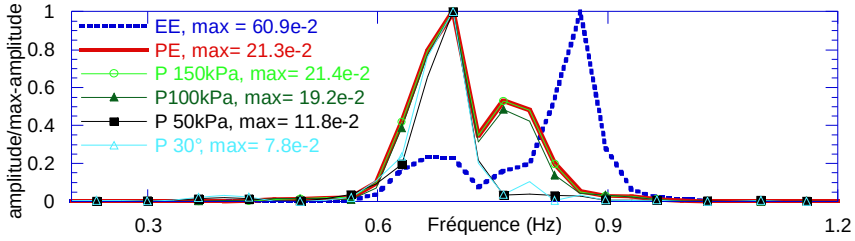

Figure 13. Réponses spectrales normalisées pour les différentes résistances de l'interface avec la plasticité du sol comparées avec les modèles EE et PE.

6. Conclusions

Les non-linéarités du sol et de l'interface peuvent affecter d'une manière importante la réponse sismique des micropieux et celle de la superstructure. Elles conduisent à un décalage des fréquences dominantes vers les basses fréquences. Pour une résistance élevée de l'interface, la non-linéarité du sol a une très grande influence sur la réponse des micropieux. Cette non-linéarité peut être négligée pour les micropieux ayant une faible résistance d'interface. Le comportement non linéaire du sol induit une dégradation de la rigidité de la fondation.

8. Bibliographie

FHWA, Micropiles design and construction guidelines implementation manual, Juin 2000, Publication No. FHWA – SA – 97 – 070. Federal Highway Administration, US Department of Transportation.

FLAC3D User's Manual version 3.

FOREVER, Synthèse des résultats et recommandations du Projet national sur les micropieux, presses de l'école nationale des ponts et chausses 2004, France.

Juran I., Benslimane A., and Hanna S., «Engineering Analysis of the Dynamic Behavior of Micropile Systems», Transportation Research Record No.1772, Soil Mechanics 2001, p. 91-106.

Kishishita T., Saito, E., and Miura, F., « Dynamic-response characteristics of structures with micropile foundation system », 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000, p. 1-8.

Ousta R., Shahrour I., comportement des micropieux, Thèse de doctorat, Université des sciences et Technologies de Lille, Laboratoire de Mécanique de Lille, 1998.

Sadek M., Shahrour I., comportement des micropieux sous les chargements sismiques, Thèse de doctorat, Université des sciences et Technologies de Lille, Laboratoire de Mécanique de Lille, 2003.

Tokimatsu, Mizunoh, Kakurai. « Building damages associated with geotechnical problems», Soils and Foundations, Special Issue on Geotechnical Aspects of the January 17 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake, Japanese Geotechnical Society, January 1996, p. 219-234.

Wong, C.J., Seismic behavior of Micropiles, Master, Department of Civil and Environmental Engineering, Washington State University, 2004.

Yang, J.X., McManus, K.J, and Berrill, J.B,, «Kinematic soil-micropile interaction » 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000, pp. 1-8.