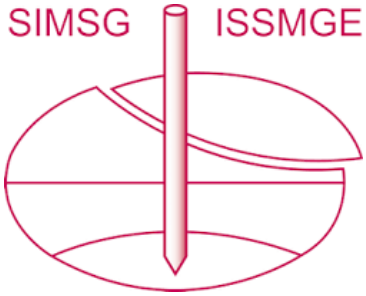
INTERNATIONAL SOCIETY FOR
SOIL MECHANICS AND
GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

https://www.issmge.org/publications/online-library

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

Etude de Cas d'Interaction Dynamique Sol-Structure

Dynamic Soil-Structure Interaction

D. AUBRY **Ecole Centrale de Paris, France**
J. BIAREZ
J. KYRGEORGIOU

RÉSUMÉ Etude sur modèle réduit bidimensionnel du rôle des tremblements de terre sur des ensembles sol-structure où le sol peut se déformer plastiquement : bâtiment rigide, écrans de soutènement avec et sans ancrages. Le modèle posé sur table vibrante, permet une étude cinématique du sol (film) et de la structure jusqu'aux grandes déformations, la mesure des contraintes sur les interfaces et des accélérations en divers points. Comparaison au calcul par éléments finis, avec déformation plastique. On présente enfin quelques résultats caractéristiques sur la densification du sable par vibrations, et on compare le rôle des accélérations verticales et horizontales et le rôle des déformations.

DESCRIPTION SUR MODÈLE

Le sol est remplacé par un milieu bidimensionnel formé de rouleaux ayant des propriétés mécaniques analogues aux sables et graviers pour les petites et les grandes déformations. Le massif latéralement limité par un cadre rigide a une largeur de 2.50 m, une épaisseur de 0.06 m et une hauteur variable de 0.40 à 1.0 m selon l'essai Les mesures ont été effectuées à l'aide de capteurs de déplacement (LVDT), de capteurs d'accélération et de capteurs de "contrainte" spécialement fabriqués pour les surfaces.

PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Différents essais à excitation horizontale montrent une amplification considérable de l'accélération dans certaines zones du massif et une distribution différente entre la partie centrale et le voisinage des parois latérales : amplification vers la surface dans le premier cas, vers le milieu de la profondeur dans le second.
L'expérience et le calcul montrent aussi, la création d'une zone localisée des grands déplacements dans la partie supérieure du massif (fig. 1 d).
Ces observations donnent une idée de l'hétérogénéité des déformations et accélérations que l'on peut rencontrer dans une vallée remplie d'un sol sédimentaire.
Les figures 1 a, b et c donnent la distribution des contraintes normales latérales le long de la paroi fixe du cadre, dans le cas des excitations horizontales sinusoïdales, (fréquence = 6 Hz) et pour trois valeurs de l'accélération maximum (0.1 g, 0.3 g, 0.6 g).
La durée de chaque sollicitation est de 16 secondes environ.

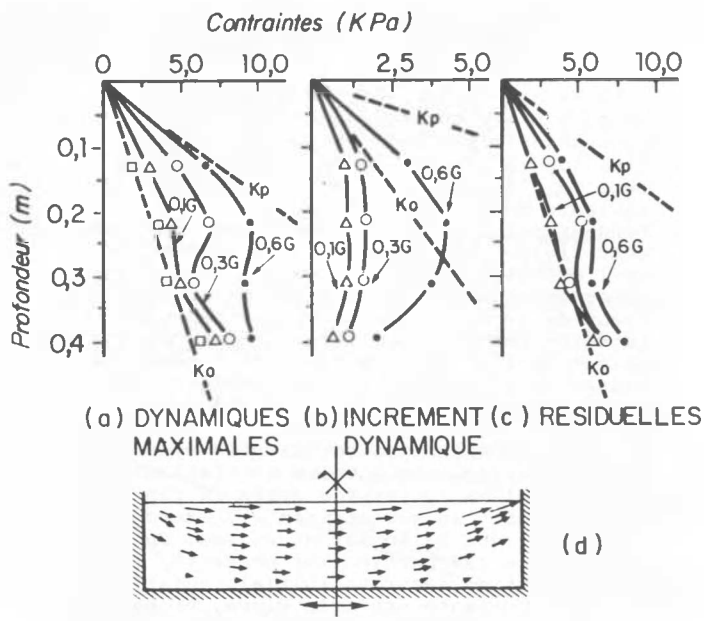


Fig. 1 Variations de la Distribution des Contraintes Normales Latérales le long de la paroi fixe.
((a) Dynamiques Maximales,
(b) Incrément Dynamique,
(c) Résiduelles)
en fonction de l'accélération.
(d) Cinématique des Déformations.

Le facteur d'amplification d'accélération à une fréquence donnée décroit lorsque l'accélération maximum imposée augmente (fig. 2).
Il semble que les propriétés non-linéaires du matériau jouent un rôle important. Ceci nécessite l'introduction des lois élasto-plastiques dans le calcul.

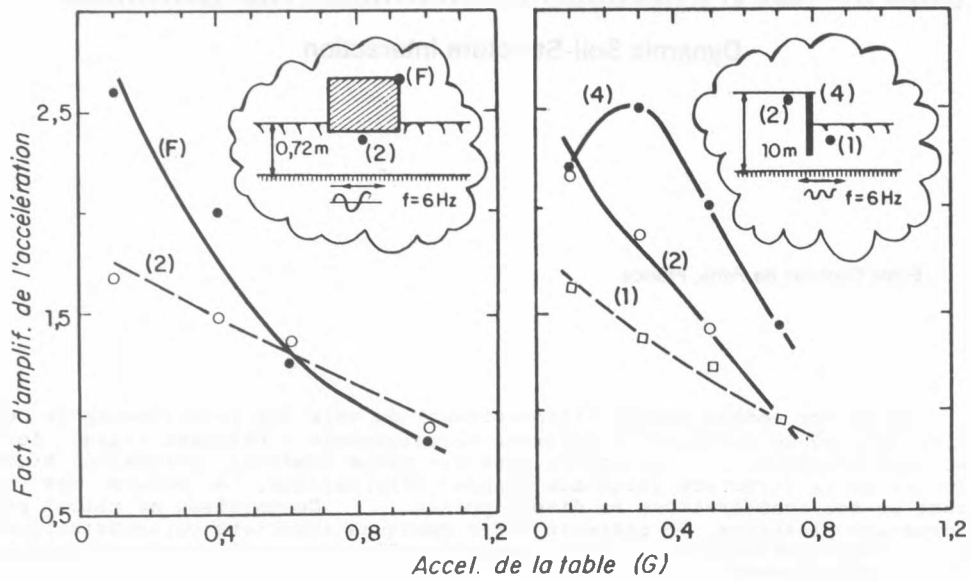


Fig. 2 Variations du Facteur d'Accélération en Divers Points du Sol, et en Tête de la Structure, en Fonction de l'Accélération Maximum de la Table Vibrante. (a) Bâtiment Rigide, (b) Paroi de Soutènement.

Dans le cas de la paroi de soutènement, (fig. 2 b) et contrairement à certaines hypothèses classiques on note une amplification importante de l'accélération en tête de l'écran (point 4), par rapport au reste du milieu.
Pendant des essais sur modèle type "bâtiment rigide", on observe une augmentation de l'accélération en tête de la structure, intervenant brutalement quand le coefficient de sécurité statique (par rapport à la force portante de la fondation), est voisin de l'unité (fig. 3). Sur la même figure on a rapporté les déplacements horizontaux irréversibles de la structure.
La figure 4 donne la distribution des composantes normales des contraintes dynamiques (observées pendant les excitations) et résiduelles (observées après la fin des excitations - 16 sec environ -), exercées par le sol sur la fondation rigide. On note que dans le cas particulier présenté, le coefficient de sécurité initial, relatif à la force portante est très élevé, et par conséquent la charge transmise par la structure sur le sol très faible. Ceci explique la distribution initiale des contraintes avec une concentration importante aux bords de la fondation, comme en élasticité. On observe, qu'à partir de cette distribution initiale, on va progressivement vers une distribution plus uniforme, avec une augmentation relative importante des pressions au milieu de la fondation.
Les essais sur les écrans de soutènement montrent que des déplacements irréversibles importants de la paroi, sont engendrés même pour des valeurs d'accélération relativement petites (Fig. 5 a).
Ceci, conduit à des tassements importants de la surface du sol derrière l'écran, (fig. 5 b). Aucune différence de phase n'a été observée entre l'accélération de la table vibrante et en divers points dans le massif et les contraintes le long de la paroi.

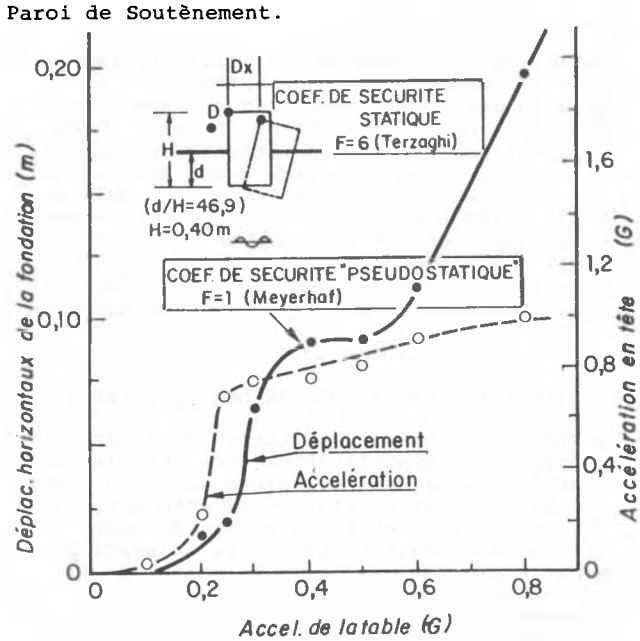


Fig. 3 Variations des Déplacements Horizontaux Irréversibles et de l'Accélération en Tête du Modèle, en Fonction de l'Accélération Maximum Imposée.

(Tout au moins pour des valeurs d'accélération (0.1 à 0.5 g) et de fréquence (6 Hz) utilisées). Les contraintes dynamiques présentent une augmentation vers le haut de l'écran et elles sont plus faibles pour la paroi ancrée que pour la paroi fixe et plus faibles pour la paroi libre que pour la paroi ancrée. La figure 5 b, présente aussi la différence dans la cinématique de rupture entre les essais statiques et dynamiques ceci nécessite un calcul plus conservatif pour la longueur libre du tirant et la position du corps d'ancrage.

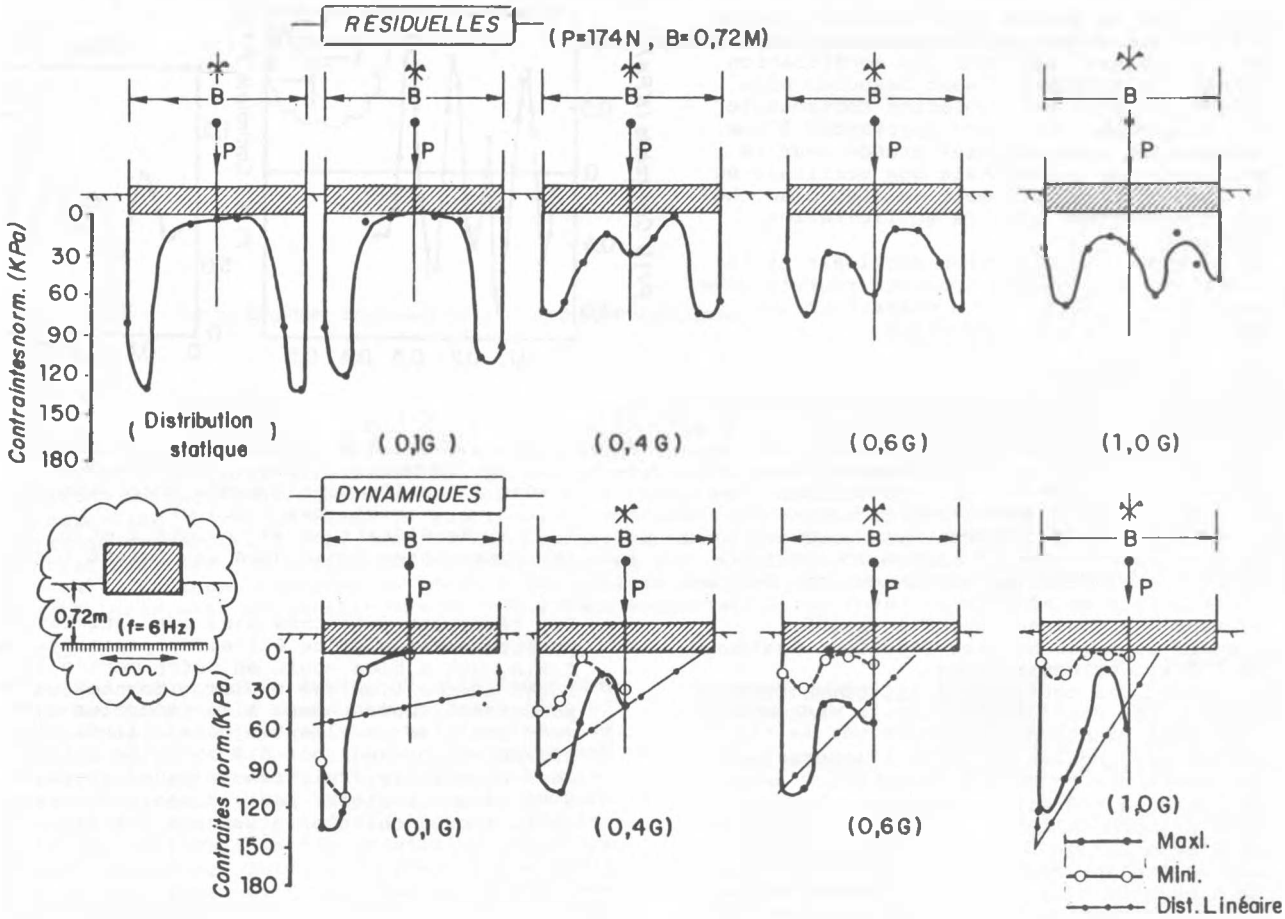


Fig. 4 Distributions des Contraintes Normales (Dynamiques et Résiduelles) Exercées par le Sol sur la Fondation Rigide, pour Différentes Valeurs de l'Accélération Imposée.

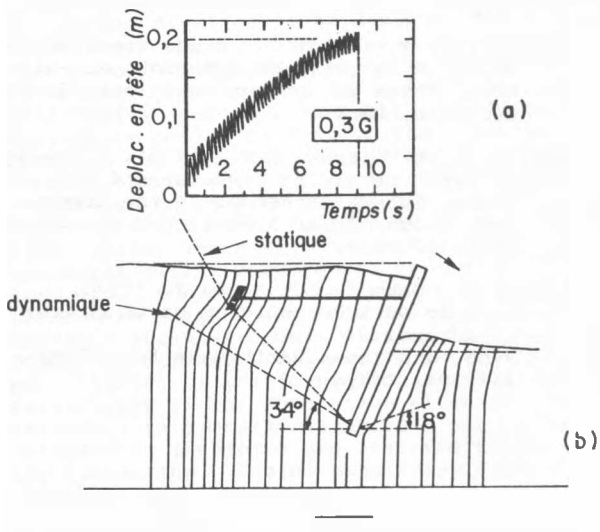


Fig. 5 (a) Déplacements Horizontaux en Tête de l'Ecran en Fonction du Temps (Acceler. = 0.3 g)
(b) Cinématique des Déformations.

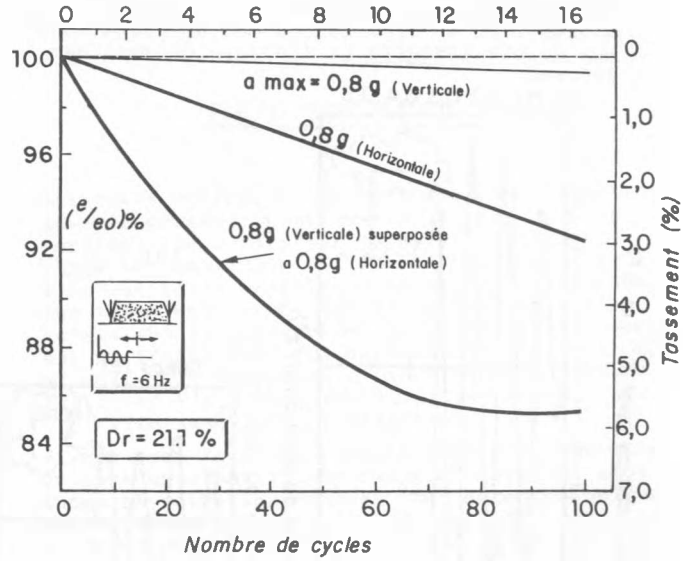
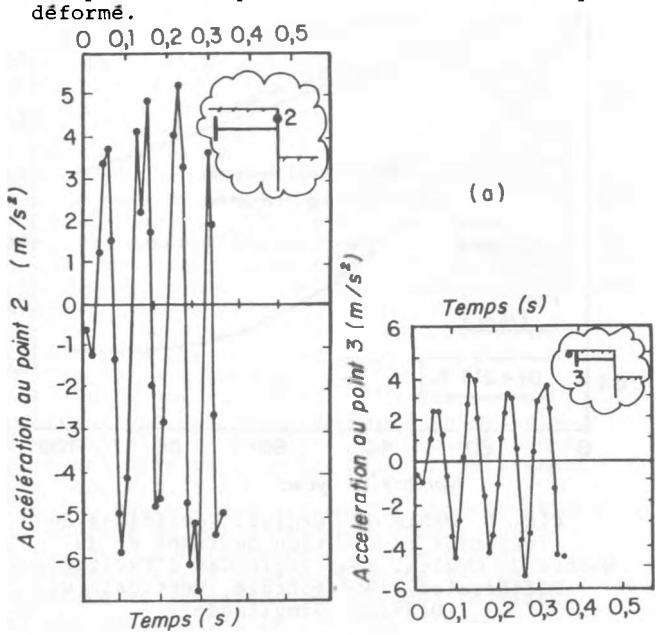


Fig. 6 Sable de Verdier. Variations du Tassement en Fonction du Temps et du Nombre de Cycles, pour Trois Cas d'Excitations Différentes, (Horizontale, Verticale et Biaxiale Simultanée).

Enfin, sur la figure 6 qui présente des résultats concernant la densification du sable sec, on observe que pour une accélération donnée les tassements sont beaucoup plus importants pour une vibration horizontale que verticale, mais ceci correspond à une déformation beaucoup plus grande pour la sollicitation horizontale que verticale et un chemin de cisaillement au lieu d'un chemin oedométrique pour la sollicitation verticale.
Si on ajoute la vibration verticale et la vibration horizontale toujours pour la même accélération (0.8 g), on observe un compactage encore plus important.

Résultats des Calculs

On présente maintenant des résultats de calculs utilisant la méthode des éléments finis. La loi de comportement utilisée est une loi élastoplastique. En effet l'amortissement observé ici n'est pas de type visqueux ou pseudovisqueux, comme l'amortissement dit hystérétique. Des déformations irréversibles se produisent comme le montre l'expérience là où les contraintes statiques sont faibles c'est-à-dire en tête de la paroi, et à la surface des rouleaux du côté excavé.
D'autre part les modules dépendent également de l'état des contraintes.
Cet effet des contraintes initiales sur les modules est considérable car la cinématique du massif est très influencée par la répartition des modules, et donc l'intéraction sol-structure en dépend également.
Le calcul a été effectué en deux étapes : on a d'abord calculé l'état de contraintes et d'écrouissage du matériau en simulant une excavation statique.
On a ensuite fait démarrer le calcul dynamique à partir de cet état dans le cas d'une accélération maximum de 0.2 g.
Les résultats numériques sont reportés sur les figures suivantes où on a tracé l'évolution des contraintes horizontales aux points 1 et 4, l'évolution des accélérations aux points indiqués et l'allure du maillage déformé.



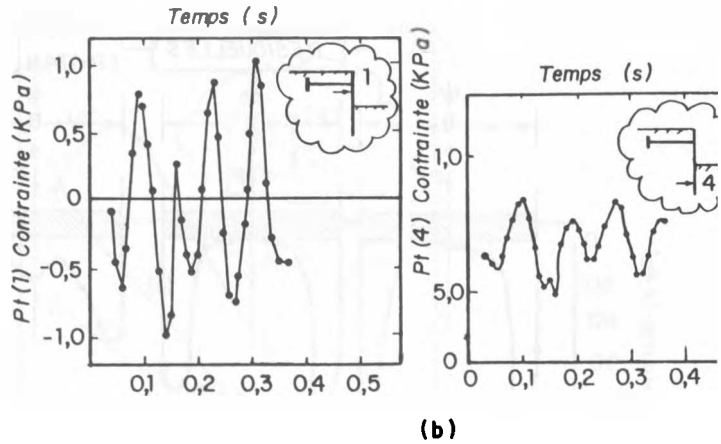


Fig. 7 Paroi Ancrée. Résultats des Calculs et Comparaison avec l'expérience.
(Cas d'Accélération Imposée Décroissante, accel. max = 0.2 g).
(a) Accélérations aux points 2 et 3.
(b) Contraintes Dynamiques aux Points 1 et 4.

Les résultats présentés dans cet article ont pu être obtenus grâce à l'aide financière du C.E.A. qui a bien voulu en outre mettre à notre disposition les tables vibrantes en sa possession. Nous tenons à le remercier vivement pour les excellentes possibilités d'expériences qui nous ont été ainsi fournies et nous sommes particulièrement reconnaissants à Monsieur Livollant pour le cadre de travail qu'il a eu l'obligeance de nous offrir.

RÉFÉRENCES

Aubry, D. (1976). Calcul par éléments finis appliqué à la dynamique des sols. Rapport interne, Ecole Centrale, Paris.

Kyrgeorgiou, J. (1980). Etude expérimentale de cas d'interaction dynamique Sol-structure. Thèse de Docteur Ingénieur, Ecole Centrale, Paris.

Seed, H.B. et Whitman, R.V. (1970). Design of Earth retaining structures for Dynamic loads. Lateral stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures, ASCE, 103-147.

Shibata T., Sato T., et Miura K. (1975). Dynamic Soil Pressure on earth retaining structure. Proc. 4th Japan Earthquake Eng. Symp., 187-194, Tokyo.