

EVALUATION DES IMPEDANCES DYNAMIQUES DE FONDATIONS FILANTES PAR LA METHODE DES EQUATIONS INTEGRALES AUX FRONTIERES Deuxième Partie : Etude Paramétrique

Par

Mohamed HADID

Post-graduant, Ecole Nationale Polytechnique, Alger

Mounir Khaled BERRAH

Maître de Conférences, Ecole Nationale Polytechnique, Alger

Résumé

Dans cette deuxième partie, nous fournissons les résultats d'une étude paramétrique relative à l'influence d'un certain nombre de paramètres cardinaux dont :

- la discrétisation du champ libre de part et d'autre de la fondation,
- les propriétés mécaniques du sol telles que le coefficient de Poisson et l'amortissement,
- le degré d'enterrement,
- le type de contact sol-fondation.

Mots clés : fondation filante • impédance dynamique • interaction sol-fondation • méthode des équations intégrales aux frontières.

1 INTRODUCTION

L'étude de la réponse dynamique de fondations rigides revêt une importance significative dans la conception des fondations supportant les machines vibrantes, ainsi que dans la conception d'ouvrages avec prise en compte de l'interaction sol-fondation. Les endommagements causés par les séismes indiquent que les propriétés locales du sol, la géométrie de la fondation, la profondeur de l'enterrement, la stratification du sol etc., jouent un rôle déterminant dans le comportement dynamique du système sol-fondation.

La méthode des équations intégrales aux frontières (MEIF) transforme les équations de l'élastodynamique en relations intégrales entre vecteurs déplacements et vecteurs contraintes sur la frontière du domaine considéré. Il est procédé alors à une discrétisation de la frontière du domaine en éléments finis et la dimension du problème se trouve réduite d'une unité. Les conditions de radiation des ondes à l'infini sont incluses dans la formulation de manière inhérente et n'exigent donc pas l'introduction d'équations supplémentaires à cet effet. On peut ainsi aisément traiter des problèmes de taille infinie dans une, deux ou trois directions.

Après que nous ayons présenté le développement d'une formulation matricielle des équations intégrales pour le calcul de la réponse dynamique des fondations filantes, rigides, superficielles et enterrées dans la première partie de cet article [1] ; nous fournissons dans cette deuxième partie, les résultats d'une étude paramétrique relative à l'influence de la discrétisation du champ libre de part et d'autre de la fondation, et sur l'influence des propriétés mécaniques du sol telles que le coefficient de Poisson et l'amortissement. L'effet de l'enterrement et le type de contact sol-fondation sont également étudiés.

2 ETUDE PARAMETRIQUE

2.1 Convergence et effet de discrétisation

L'interaction sol-structure a une importance considérable dans la conception parasismique des structures.

Dans ce cadre, le calcul des fonctions d'impédances dynamiques des fondations, i.e. les forces de translation et de balancement produisant des déplacements de translation et rotation unitaires d'une fondation non-pesante et rigide posée ou enterrée dans un sol visco-élastique, est une étape clé. Les fonctions d'impédance (K_{11} , K_{22} et K_{33}) ainsi que leurs inverses (f_{11} , f_{22} et f_{33}) peuvent être écrites en notation adimensionnelle en les divisant ou multipliant par le module de cisaillement du sol. Les valeurs de ces dernières sont obtenues en fonction de la fréquence adimensionnelle variant de 0 à 3.

La solution fondamentale correspondant à l'espace infini nécessite en général une forme de discrétisation portant sur la frontière du domaine borné en entier. Cette solution peut être utilisée dans le cas de l'interaction dynamique sol-structure en discrétisant

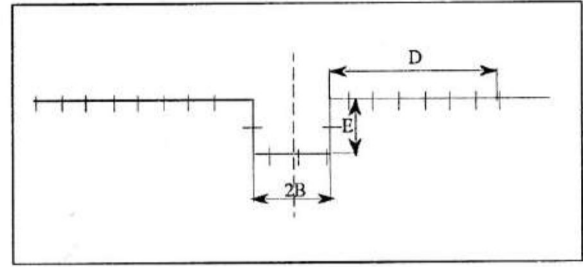


Figure 1 : Discretisation et notations de la fondation enterrée.

uniquement l'interface sol-fondation et une distance très limitée du champ libre autour de la fondation. Ceci peut être expliqué par le comportement asymptotique de la solution fondamentale à l'infini convergeant vers des valeurs nulles (les valeurs extradiagona-

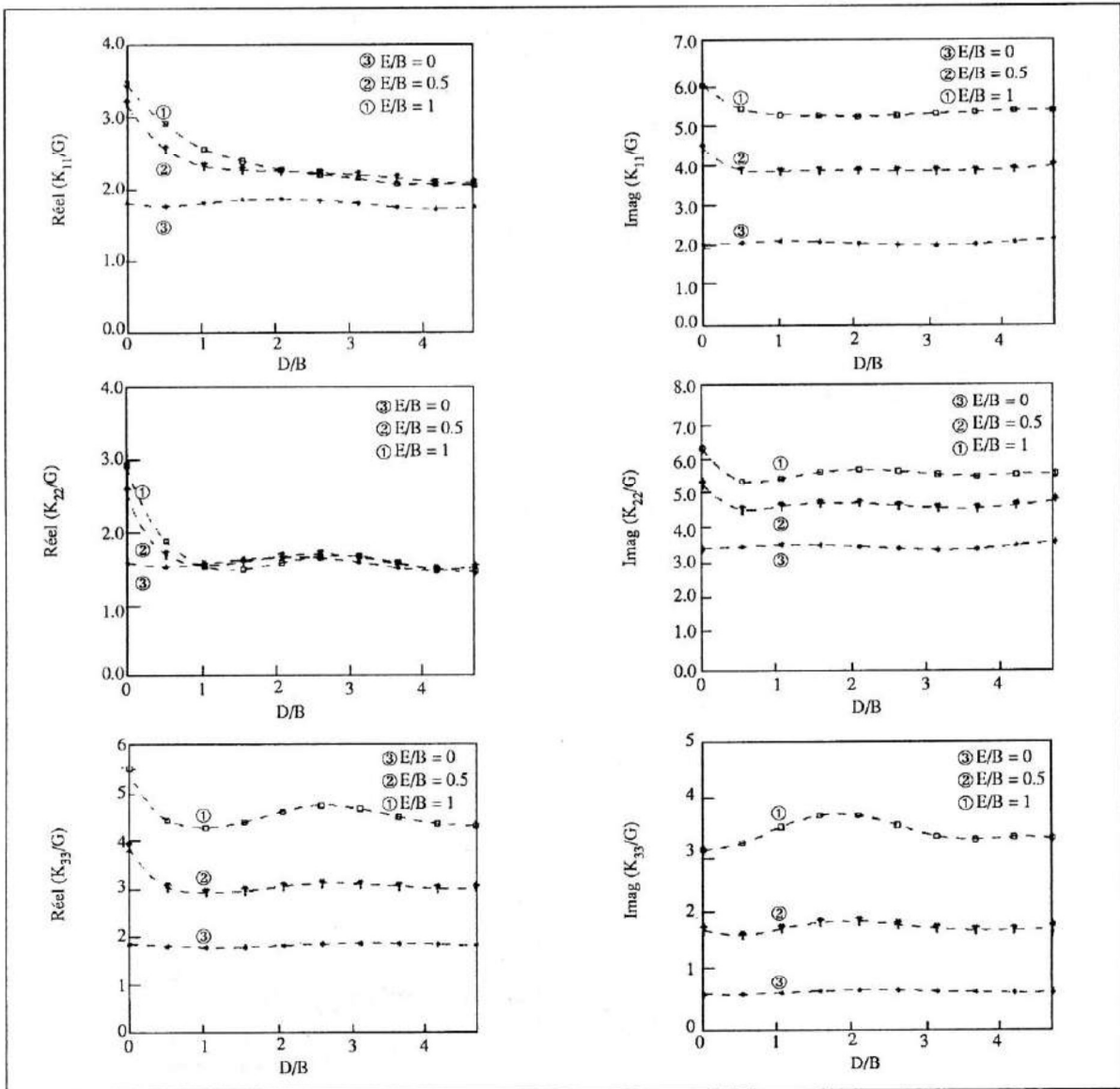


Figure 2 : Effet de la discrétisation du champ libre sur les fondations superficielles et enterrées.

aux valeurs de la bande diagonale). En effet, nous pouvons observer (Figure 1) qu'une discrétisation du champ libre au voisinage de la fondation est suffisante pour obtenir de très bons résultats. Il est recommandé qu'une discrétisation de l'interface sol-fondation, uniquement, soit effectuée pour les fondations superficielles, et une discrétisation d'une distance D (allant de B à $3B$) entre l'extrémité de la fondation et l'extrémité du champ libre soit effectuée pour les fondations enterrées avec un coefficient d'enterrement E/B variant entre 0.5 et 1 respectivement (Figure 2). Il y a lieu de noter que le champ libre à discrétiser pour obtenir de très bons résultats augmente avec l'augmentation du coefficient d'enterrement E/B .

2.2 Effet du coefficient de Poisson

Le coefficient de Poisson influe significativement sur la vitesse de propagation de l'onde de dilatation P . La contribution relative de l'onde P sur la vibration

verticale est plus importante que la contribution des autres types d'ondes. Ainsi, nous observons d'après la figure 3 que l'effet du coefficient de Poisson est plus prononcé sur la fonction d'impédance inverse verticale et de balancement que sur la fonction d'impédance inverse horizontale. La fonction d'impédance inverse horizontale varie légèrement avec la variation du coefficient de Poisson et nous pouvons noter qu'elle reste invariante en hautes fréquences. Nous pouvons observer aussi que lorsque le coefficient de Poisson augmente, les fonctions d'impédances inverses diminuent, impliquant que la fondation devient plus rigide. Quand le sol est chargé verticalement, nous pouvons enregistrer une plus grande déformation latérale avec l'augmentation du coefficient de Poisson. Cependant, le confinement latéral du sol offre une résistance plus grande, d'où la rigidification du système sol-fondation. Pour les fondations enterrées (Figure 4), la diminution de l'amplitude des fonctions d'impédances inverses due à l'augmentation du coefficient de Poisson est très

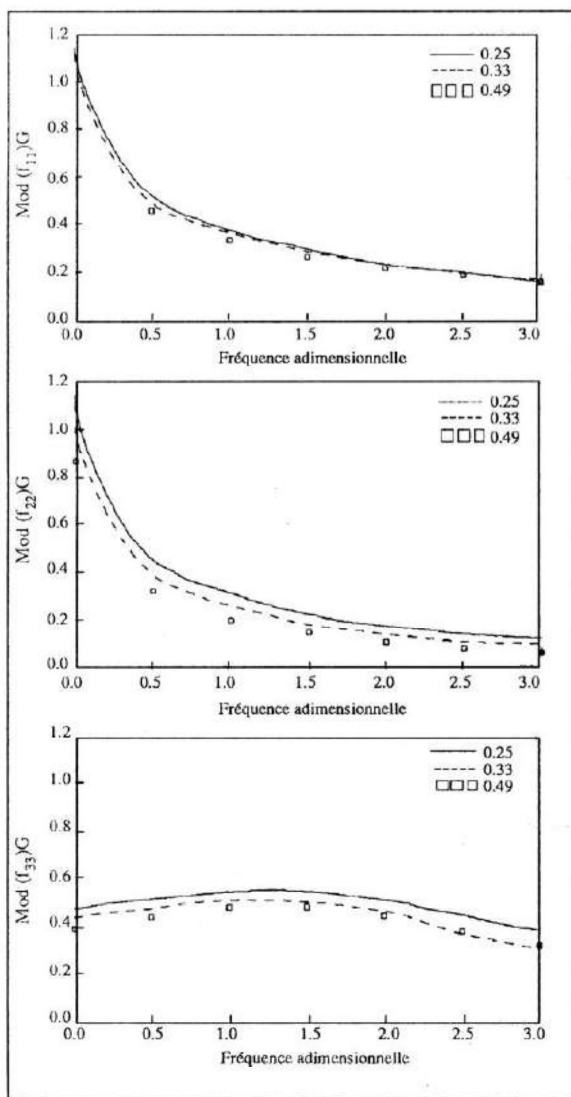


Figure 3 : Effet du coefficient de Poisson : fondation superficielle.

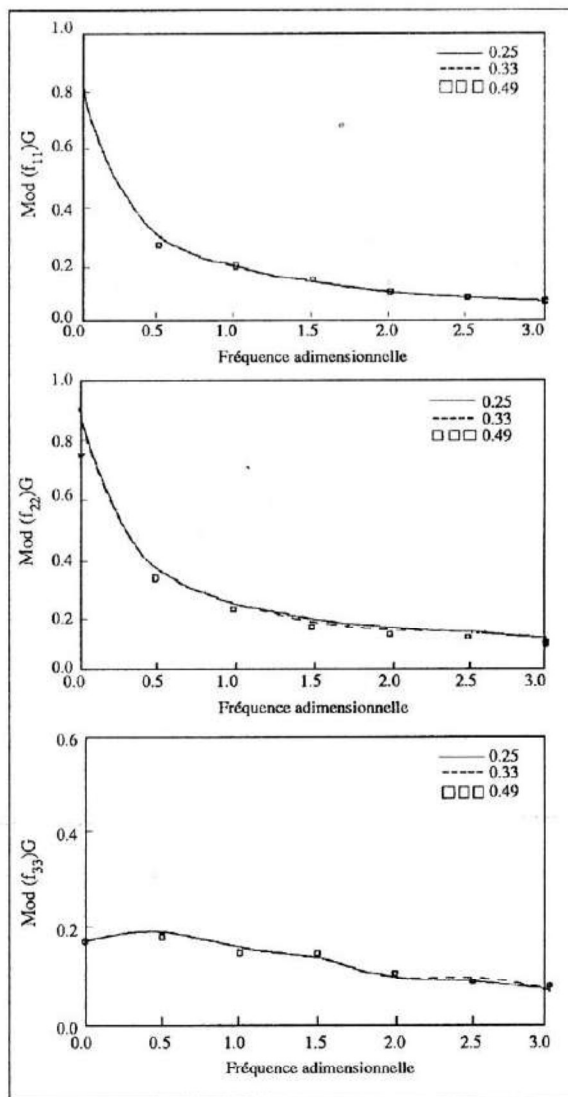


Figure 4 : Effet du coefficient de Poisson : fondation enterrée ($E/B = 1$).

petite comparée à celles des fondations superficielles. En d'autres termes, le coefficient de Poisson a un effet pratiquement négligeable sur la vibration des massifs de fondations enterrées.

2.3 Effet de l'amortissement

Le contact interne entre les particules et le comportement hystérétique du sol engendrent une dissipation d'énergie durant la vibration des fondations. Les essais expérimentaux indiquent que la dissipation d'énergie par cycle est généralement indépendante de la fréquence pour les petites vibrations. Cela justifie l'utilisation d'un modèle de l'amortissement hystérétique

que pour la prise en compte de la perte d'énergie interne. Ce modèle est très commode en théorie, car il suffit de remplacer les coefficients de Lamé μ et λ par leurs homologues complexes.

La figure 5 montre que l'augmentation du coefficient d'amortissement entraîne une diminution des valeurs des fonctions d'impédances inverses. Nous remarquons une légère différence en basse fréquence, alors qu'il n'y a aucune différence en haute fréquence. L'influence de l'amortissement sur les fondations enterrées suit la même allure que pour les fondations superficielles, mais de manière plus atténuée (Figure 6).

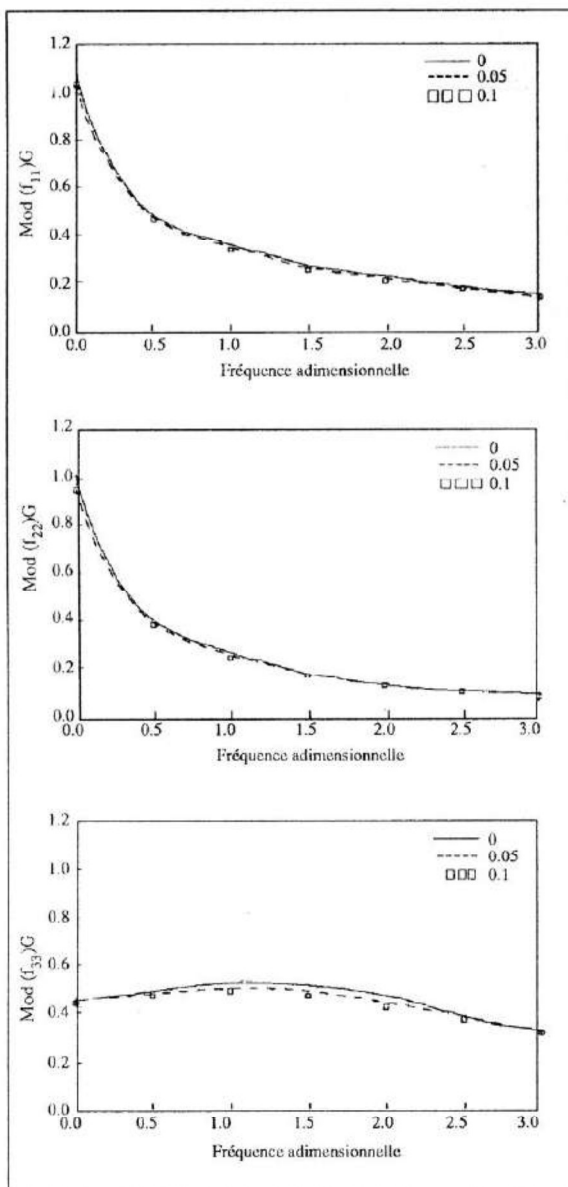


Figure 5 : Effet de l'amortissement : fondation superficielle.

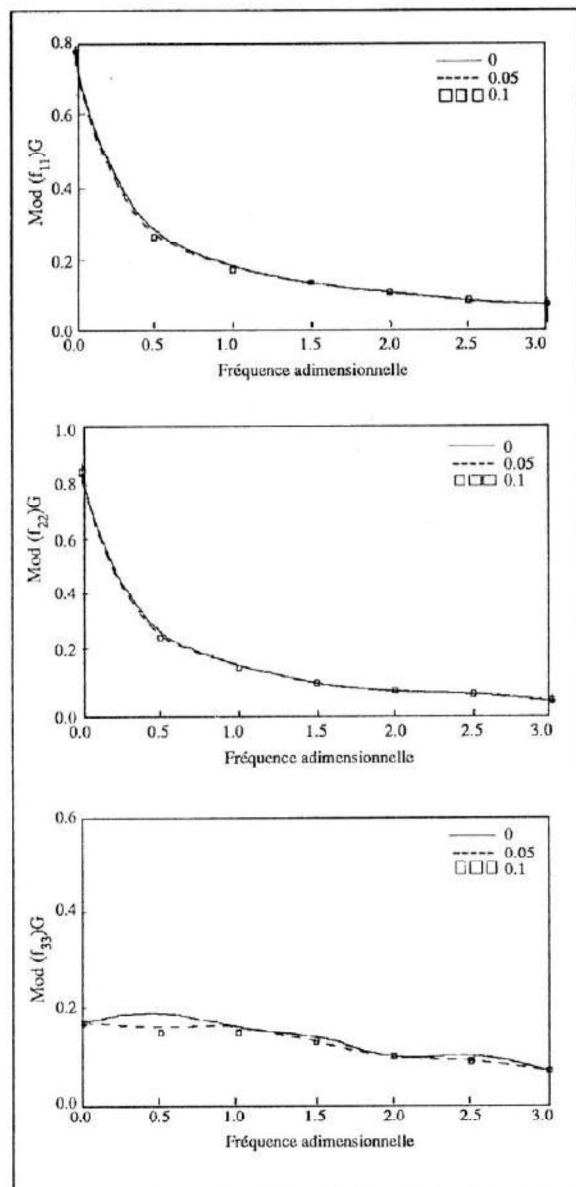


Figure 6 : Effet de l'amortissement : fondation enterrée ($E/B = 1$).

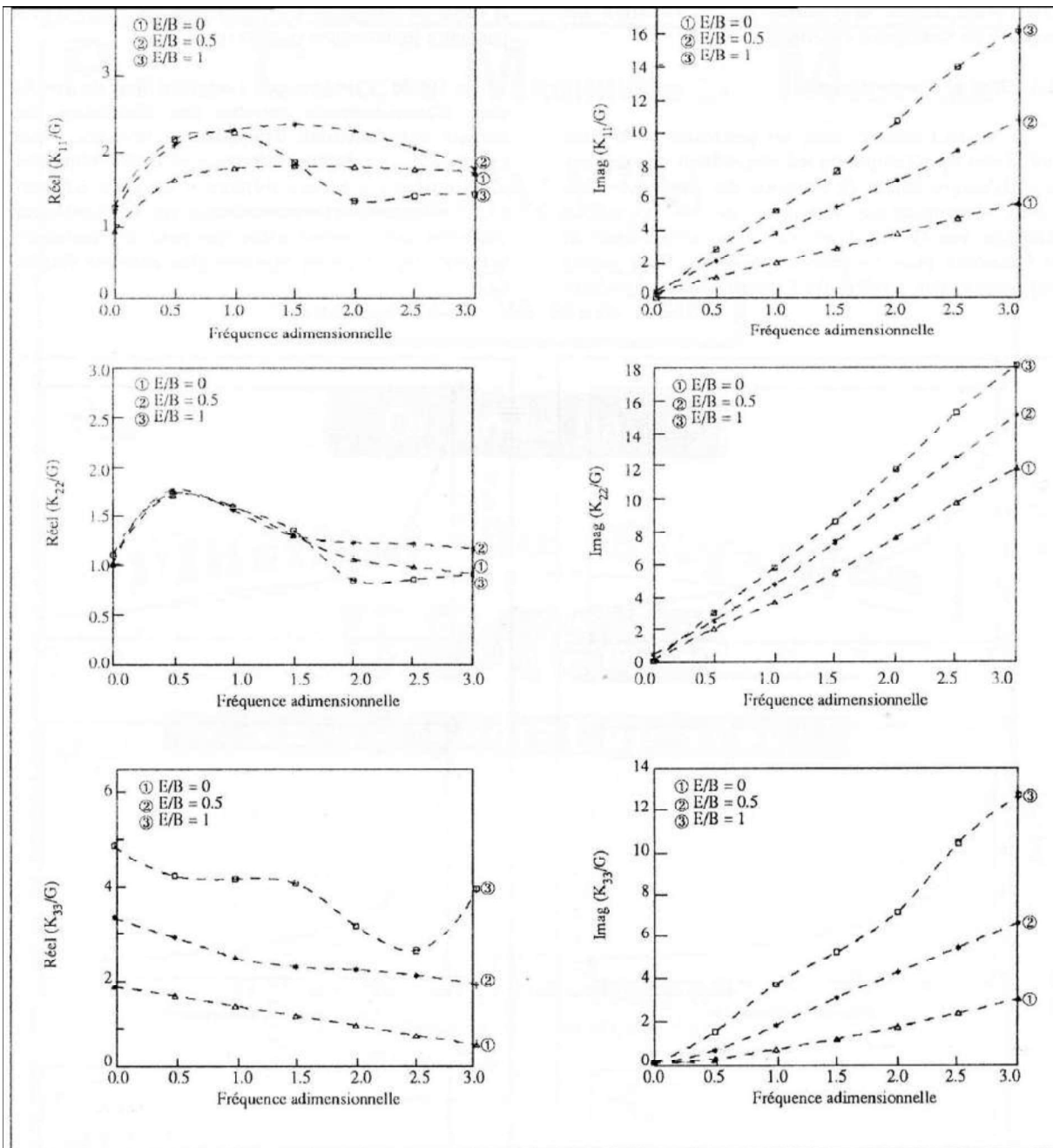


Figure 7 : Effet de l'enterrement.

2.4 Effet de l'enterrement

En réalité, les fondations sont toujours enterrées dans le sol. L'enterrement augmente significativement la rigidité dynamique des fondations puisque la surface de contact entre la fondation et le sol augmente. On note d'après la figure 7 que l'enterrement affecte légèrement la partie réelle des fonctions d'impédances horizontale et verticale.

2.5 Effet du type de contact

Les conditions de contact à l'interface sol-fondation peuvent varier. Le contact parfait entre le sol et la fondation engendre la vibration du sol adjacent à la fondation. Tous les degrés de liberté sont couplés. La deuxième condition de contact, qualifiée par le terme "relâché" est souvent supposée. Les degrés de liberté sont découplés ; i.e., la réponse dans une direction

n'est pas affectée par la force et les déplacements dans les autres directions. Par exemple, si la réponse dans la direction verticale est considérée, il est supposé qu'aucune force n'est développée dans la direction horizontale.

les figures 8 et 9 présentent l'influence du type de contact sur les fonctions d'impédances. En ce qui concerne les fondations superficielles, les conditions aux limites relâchées ou parfaites induisent les mêmes résultats,

alors que dans le cas des fondations enterrées, la fonction d'impédance inverse de balancement caractérise une différence entre les résultats obtenus pour les conditions aux limites relâchées et celles obtenues pour les conditions aux limites parfaites. Cela peut justifier la non applicabilité des conditions aux limites relâchées pour l'évaluation des fonctions d'impédances de balancement des fondations enterrées. Les fonctions d'impédances horizontale et verticale restent invariantes vis-à-vis du type de conditions aux limites.

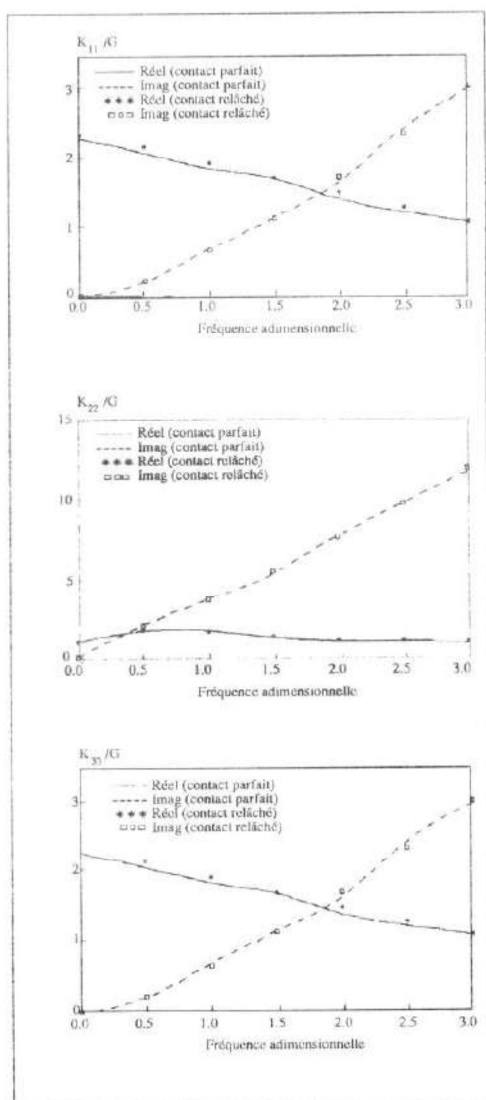


Figure 8 : Effet du type de contact sol-fondation : fondation superficielle.

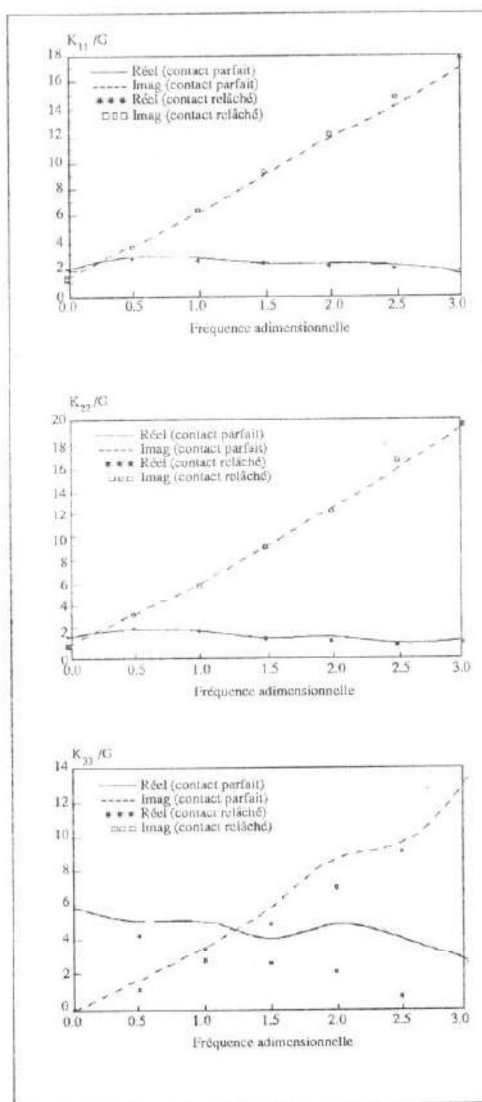


Figure 9 : Effet du type de contact sol-fondation : fondation enterrée ($E/B = 1$).

3 CONCLUSION

La MEIF constitue un outil de calcul précis et efficace qui s'adapte particulièrement bien à l'étude dynamique des fondations superficielles et enterrées dans un demi-plan visco-élastique.

Dans cette deuxième partie, nous avons fourni quelques résultats que : sur l'influence de la discrétisation du champ libre de part et d'autre de la fondation, l'influence des propriétés mécaniques du sol telles que le coefficient de Poisson, l'effet de l'enterrement et de l'amortissement et le type de contact sol-fondation.

Des conditions aux limites relâchées sont adoptées pour les fondations superficielles permettant le découplage des mouvements et portant une réduction considérable de l'effort de calcul sans altération de la précision, une discrétisation du champ libre au voisinage de la fondation est suffisante pour obtenir de très bons résultats.

Il est recommandé qu'une discrétisation de l'interface sol-fondation, uniquement, soit effectuée pour les fondations superficielles, et une discrétisation d'une distance D (allant de B à $3B$) entre l'extrémité de la fondation et l'extrémité du champ libre soit effectuée pour les fondations enterrées avec un coefficient d'enterrement E/B variant entre 0.5 et 1 respectivement.

Nous pouvons conclure que l'effet du coefficient de

Poisson est plus prononcé sur la fonction d'impédance inverse verticale et de balancement que sur la fonction d'impédance inverse horizontale. La fonction d'impédance inverse horizontale varie légèrement avec la variation du coefficient de Poisson, et nous pouvons noter qu'elle reste invariante en hautes fréquences.

Nous déduisons aussi que lorsque le coefficient de Poisson augmente, les fonctions d'impédances inverses diminuent, impliquant que la fondation devient plus rigide. Le coefficient de Poisson a un effet pratiquement négligeable sur la vibration des massifs de fondations enterrées. L'augmentation du coefficient d'amortissement entraîne une diminution des valeurs des fonctions d'impédances inverses. Nous remarquons une légère différence en basse fréquence, alors qu'il n'y a aucune différence en haute fréquence.

L'influence de l'amortissement sur les fondations enterrées suit la même allure que pour les fondations superficielles mais de manière plus atténuée. L'enterrement augmente significativement la rigidité dynamique des fondations. Il affecte légèrement la partie réelle des fonctions d'impédances horizontale et verticale $\otimes$.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. Hadid & M.K Berrah : "Evaluation des impédances dynamiques de fondations filantes par la méthode des intégrales aux frontières, première partie : formulation". Algérie Equipement N°19, 1995.

DANS LE PROCHAIN NUMERO

UNE NOUVELLE APPROCHE PAR LA METHODE DES EQUATIONS INTEGRALES POUR LA RESOLUTION D'UN PROBLEME DE CONTACT AVEC FROTTEMENT

Par :

A. NOUNE
R.M COURTADE