

# L'EFFET D'INTERFERENCES DE DEUX FONDATIONS FILANTES ETROITEMENT ESPACEES REPOSANT SUR UN SABLE RENFORCE PAR GEOGRILLES

ASSMA BENBOUZA ; FARID HAMMOUD

\*Doctorante Université de Batna, Département de Génie Civil, Algérie

\*\* Mc Université de Batna, Département de Génie Civil, Algérie

## RÉSUMÉ

Ce travail vise à présenter une étude numérique au moyen d'analyses en éléments finis en utilisant le modèle de déformation plane réalisés sur un sable avec et sans nappes de géogrilles chargés avec deux semelles filantes étroitement espacées. Les calculs seront effectués en utilisant le code Plaxis2D. Le sol sera représenté par le modèle HSM et le renforcement sera représenté par des éléments élastiques. Les études paramétriques ont été réalisées afin d'évaluer l'influence d'un certain nombre de paramètres géotechniques et géométriques sur le facteur d'interférence ( $\zeta\gamma$ ) et la capacité portante des sols renforcés et non renforcés. Les résultats obtenus montrent que les semelles interférentes renforcées ont des facteurs d'interférence plus grands que les semelles non renforcées. D'autre part  $\zeta\gamma$  augmente avec l'augmentation du nombre de nappes de géogrilles.

**MOTS-CLÉS:** Géogrilles, sable renforcé, Plaxis2D, Eléments finis, Interférence de fondations.

## ABSTRACT

This work aims to present a numerical study using finite element analysis using the model of plane strain performed on sand with and without layers of géogrid charged with two closely spaced strip footings. The calculations are performed using the code Plaxis2D. The soil is represented by Hardening Soil Model and the reinforcement will be represented by elastic elements. A parametric study revealed the role of some parametric on the interfering factor ( $\zeta\gamma$ ). The results showed that  $\zeta\gamma$  of the interfering reinforced footings is greater than  $\zeta\gamma$  of the unreinforced footings and the efficiency of reinforcement on the bearing capacity of interfering footings is greater than that on an isolated reinforced footing. In addition, reinforcement caused the bearing capacity of interfering footings to increase for one and two reinforcement layers, respectively.

**KEY WORDS:** Geogrids, reinforced sand, Plaxis2D, Finite elements, Interference foundations.

## 1 INTRODUCTION

La technique de renforcement des sols, en dessous des semelles superficielles, avec un renforcement géosynthétique est l'une des techniques qui évoluée actuellement dans le domaine de la géotechnique. Les géosynthétiques sont utilisés principalement dans la géotechnique, l'environnement, et l'hydraulique. Un grand nombre de recherches portant sur le calcul de la capacité portante des fondations sur sol ont été publiées. Cependant, peu de travaux ont été réalisés concernant l'effet d'interférence sur la capacité portante de deux fondations rapprochées. Pour cela, l'objectif principal de ce travail est d'étudier ce phénomène et de déterminer également les paramètres qui sont susceptibles d'avoir le plus d'influence sur le facteur d'interférence  $\zeta\gamma$  et la capacité portante des sols de fondation renforcés par des géogrilles. La méthode

des éléments finis est utilisée dans la présente étude en se basant sur le logiciel Plaxis2D V.8. Les résultats obtenus seront comparés avec ceux obtenus par divers chercheurs.

## 2 LA GÉOMÉTRIE DU PROBLÈME

La Figure 1 montre la géométrie de deux fondations étroitement espacées avec les paramètres  $B$ ,  $L_x$ ,  $u$ ,  $h$ ,  $d$ ,  $\Delta$  et  $N$  qui représentent la largeur de la fondation, la largeur de géogridle à partir de l'extrémité de la fondation, la profondeur de la première couche de renforcement, la distance entre les nappes de renforcement, la profondeur de renforcement, l'espacement entre les fondations et le nombre de nappe de renforcement, respectivement.

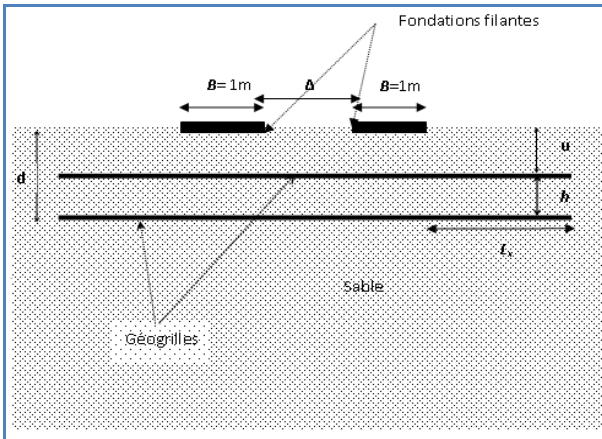


Figure 1: Géométrie du problème.

### 3 CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX

On considère un sol sableux drainé avec les caractéristiques géotechniques suivantes :

- Poids volumique déjaugé  $\gamma' = 18.9 \text{ KN/m}^3$
- Poids volumique saturé  $\gamma_{\text{sat}} = 20.7 \text{ KN/m}^3$
- Angle de frottement interne  $\phi = 35^\circ$
- Cohésion  $c = 0$  (sol pulvérulent) mais on prend  $c = 2 \text{ KN/m}^2$  pour le calcul numérique.

L'unique propriété du matériau géogrille est la rigidité élastique  $EA$  qui est prise dans cette étude correspondant à une géogrille de type Tensar BX1100.

### 4 PRÉSENTATION DU MODÈLE ÉTUDIÉ

On utilise un modèle d'élément fini en déformation plane (plane strain). Un modèle de sol avec écrouissage HSM (hardening soil model) est utilisé pour le comportement du sol régi par une loi d'écoulement non associée. Les paramètres correspondants à ce modèle sont donnés ci-dessous:

- Angle de dilataance  $\psi = 5^\circ$ .
- Module sécant dans un essai triaxial,  $E_{50}^{\text{ref}} = 30 \text{ Mpa}$ .
- Module tangent dans un essai oedométrique,  $E_{\text{oed}}^{\text{ref}} = 30 \text{ Mpa}$ .
- Module en décharge (par défaut  $E_{\text{ur}}^{\text{ref}} = 3$  à  $4 E_{50}^{\text{ref}}$ ),  $E_{\text{ur}}^{\text{ref}} = 90 \text{ Mpa}$ .

### 5 Méthode d'analyse

Dans toutes les analyses effectuées dans la présente étude, nous supposons que les semelles sont situées sur la surface du sol et le sol est pulvérulent. Ainsi, les deux coefficients

$N_c$  et  $N_q$  dans la formule de Terzaghi [8] pour la détermination de la capacité portante sont négligeables. La rigidité de la semelle a été simulée par l'application d'un vecteur de déplacement verticale sur tous les nœuds du sol sous la semelle

### 6 Analyse du facteur d'interférence ( $\zeta\gamma$ )

D'après Ghazavi et Lavasan(2008) [5], pour évaluer la capacité portante d'une fondation interférente dans un sol non renforcé et renforcé, les facteurs d'interférence  $\zeta\gamma$  correspondant à chaque cas sont définis respectivement comme suit :

Dans le cas où le sol n'est pas renforcé:

$$\zeta\gamma = \frac{Q_{u, \text{int}}(\text{non renforcé})}{Q_{u, \text{isolée}}(\text{non renforcé})} \quad [1]$$

Dans le cas où le sol est renforcé:

$$\zeta\gamma \quad [2]$$

Où :

$Q_{u, \text{int}}(\text{non renforcé})$  : Capacité portante ultime d'une fondation interférente sur un sable non renforcé

$Q_{u, \text{int}}(\text{renforcé})$  : Capacité portante ultime d'une fondation interférente sur un sable renforcé

$Q_{u, \text{isolée}}(\text{non renforcé})$  : Capacité portante ultime d'une fondation isolée sur un sable non renforcé

Dans ce que suit l'objectif est de simuler raisonnablement l'effet d'interférence de deux semelles étroitement espacées au moyen d'analyses numériques en utilisant le code Plaxis. Les calculs portent sur l'influence de l'espacement entre les deux fondations, l'angle de frottement interne et les Paramètres géométriques des éléments de renforcement.

#### 6.1 Influence de l'angle de frottement interne

Pour étudier l'influence de l'angle de frottement interne sur la capacité portante, 40 essais numériques ont été effectués. La variation de  $\zeta\gamma$  en fonction de l'espacement entre les deux fondations non renforcées avec une variation de l'angle de frottement  $\phi$  dans le domaine  $25^\circ$ - $40^\circ$  est indiquée sur la figure 2.

En examinant cette figure, on constate que l'augmentation du facteur d'interférence  $\zeta\gamma$  est proportionnelle à l'augmentation de l'angle de frottement interne  $\phi$ . on peut noter que la tendance des facteurs d'interférences est similaire à celle de la théorie de Stuart(1962) mais il ya une grande variation dans les amplitudes entre la théorie et les résultats numériques.

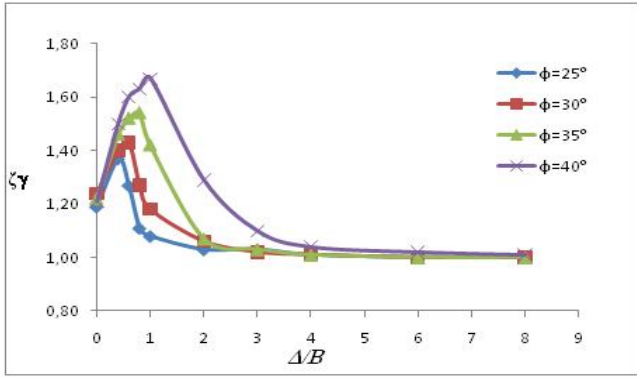


Figure 2. Variation de  $\zeta\gamma$  en fonction de  $\Delta/B$  avec une variation de l'angle de frottement  $\phi$  ( $25^\circ$ - $40^\circ$ ).

### 6.2 Influence des paramètres géométriques

Dans cette section, des études paramétriques sont effectués afin de refléter la réaction des semelles interférentes renforcées, en utilisant la géométrie et les paramètres définis dans la Figure 5.1 Pour simplifier la représentation des résultats, nous utiliserons les paramètres sans dimensions  $u/B$ ,  $d/B$ ,  $L_x/B$ ,  $h/B$  et  $\Delta/B$ .

#### 6.2.1 Effet de N

La Figure 3 illustre la variation de  $\zeta\gamma$  en fonction de  $\Delta/B$  pour les semelles non renforcé et renforcé avec une ou deux nappes de géogrille. On remarque que lorsque il n' ya pas de renforcement la valeur maximale de  $\zeta\gamma$  correspondante à  $\Delta/B \approx 0.6$ , pour une nappe de renforcement ( $\zeta\gamma)_{\max} \approx 1.8$  pour  $\Delta/B=0.6$ , et pour deux nappes de renforcement ( $\zeta\gamma)_{\max} \approx 2$  pour  $\Delta/B=1$ . Lorsque les deux semelles sont suffisamment éloignées l'une de l'autre, le facteur d'interférence ne tend pas vers l'unité. Ceci signifie que le renforcement du sol a un effet significatif sur la capacité portante ultime.

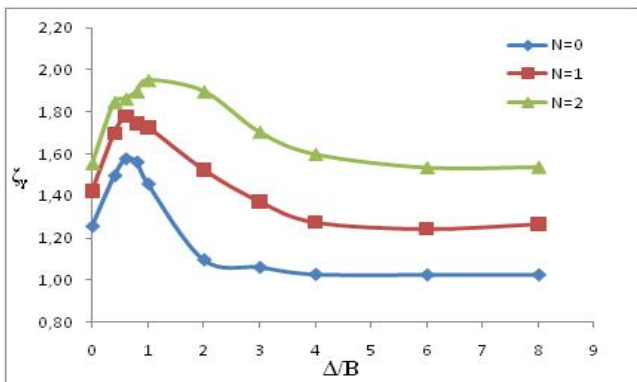


Figure 3: Variation de  $\zeta\gamma$  en fonction  $\Delta/B$  pour la variable N ( $u/B=h/B=0.3$ ,  $L_x/B=1.5$ ).

#### 6.2.2 Effet de $L_x$

La Figure 4 représente la variation de  $\zeta\gamma$  en fonction de  $\Delta/B$  pour différentes valeurs de  $L_x/B$  et pour une et deux nappes de géogrilles. que ce soit pour  $N=1$  ou  $N=2$  la forme des courbes diffère pour  $0 \leq \Delta/B \leq 1$ . ( $\zeta\gamma)_{\max}$  est atteint pour  $\Delta/B = 0.6$  lorsque  $N=1$ , et pour  $N=2$ , il est atteint pour  $\Delta/B=1$ . On remarque que l'augmentation de la largeur des géogrilles entraîne une augmentation du facteur d'interférence en particulier lorsque  $\Delta/B$  est compris entre 1 et 3. en dehors de cet intervalle, il n'y a pas une augmentation importante. En outre, pour une valeur donnée de  $L_x/B$ ,  $\zeta\gamma$  augmente lorsque le nombre de nappes de renforcement passe de une à deux.

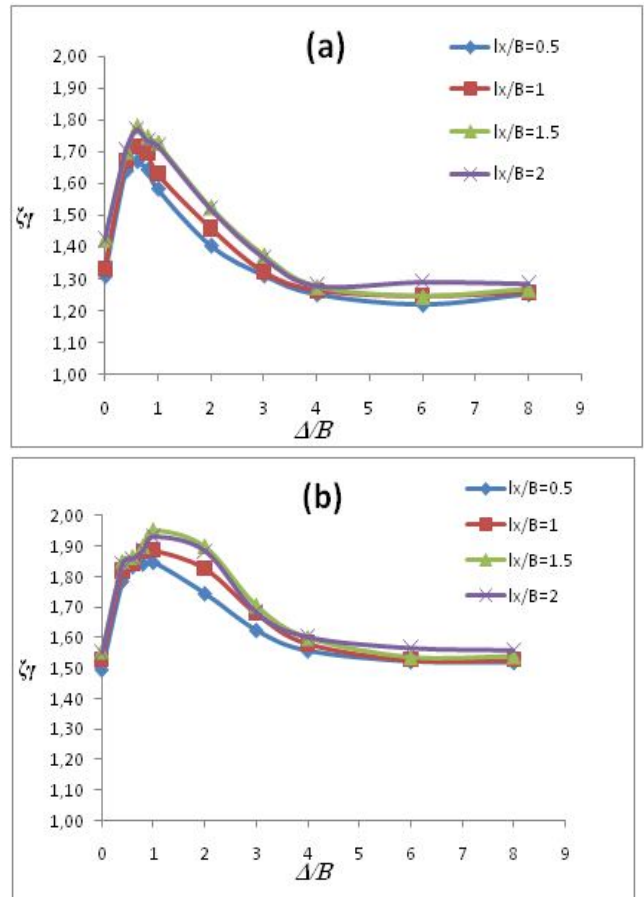


Figure 4: Variation de  $\zeta\gamma$  en fonction de  $\Delta/B$  avec variation de N,  $L_x/B$  : (a)  $N=1$ ,  $u/B=0.3$  ; (b)  $N=2$ ,  $u/B=h/B=0.3$ .

#### 6.2.3 Effet de $u/B$

La variation de  $\zeta\gamma$  en fonction de  $\Delta/B$  pour différentes profondeurs de la première nappe de renforcement est montrée sur la Figure 5. Pour une seule nappe de renforcement, la valeur maximale de  $\zeta\gamma$  correspond à  $u/B=0,3$  et pour un sable renforcé avec deux nappes de géogrille, le maximum  $\zeta\gamma$  obtenu correspond à  $u/B=0,3$  également.

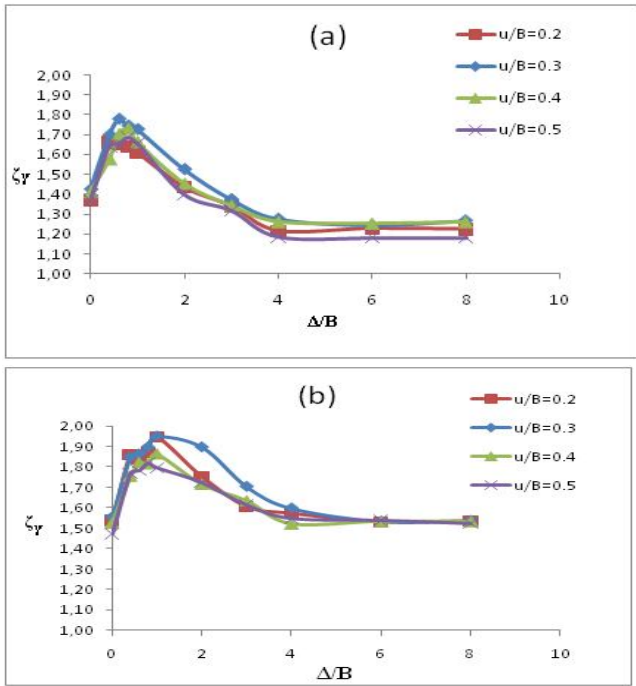


Figure 5: Variation de  $\zeta_\gamma$  en fonction de  $\Delta/B$  avec variation de  $N$ ,  $u/B$  : (a)  $N=1$ ,  $L_x/B=1.5$  ; (b)  $N=2$ ,  $L_x/B=1.5$ ,  $h/B=0.3$ .

6.2.4 Effet de  $h/B$

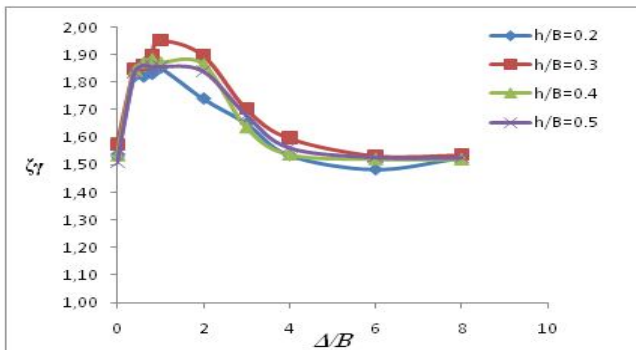


Figure 6 : Variation de  $\zeta_\gamma$  en fonction de  $\Delta/B$  avec variation de  $h/B$  ( $N=2$ ,  $L_x/B=1.5$ ,  $u/B=0.3$ )

La variation de  $\zeta_\gamma$  en fonction du rapport  $\Delta/B$  pour  $N=2$  et diverses valeurs de  $h/B$  est illustrée dans la figure 6, Les deux nappes de renforcement entraînent une amélioration importante dans le cas où  $h$  est égale à  $0.3B$ .

7 Discussion et interprétation des résultats

Comme on le voit dans la Figure 3, quand on utilise un renforcement par géogrilles la capacité portante de la semelle augmente. Les résultats dans les figures (5.3-6) indiquent que lorsque les rapports de distance varient

entre  $0 \leq \frac{\Delta}{B} \leq 1$ , un "blocage" se produit dans le sol entre les deux semelles étroitement espacées. À cet espacement, le sol entre les deux semelles forme un arc inversé et le système combiné se déplace alors vers le bas lors du

chargement. Ce phénomène permet à la capacité portante d'augmenter de manière significative. En augmentant  $\frac{\Delta}{B}$  de 1 à 4,  $\zeta_\gamma$  diminue. Au-delà de  $\frac{\Delta}{B} \approx 4.5$ , l'effet d'interférence disparaît. En conséquence, pour un rapport d'espacement supérieur à 4.5, chacune des semelles agit comme une semelle isolée et l'effet d'interférence sur la capacité portante est éliminé.

8 Comparaison et validation des résultats obtenus

Pour valider les résultats obtenus par le code Plaxis pour le cas d'un sol non renforcé, ces derniers ont été comparés avec les résultats des analyses numériques (FLAC3D) qui ont été obtenus par Ghazavi et Lavasan(2008) [5], l'analyse théorique de Stuart (1962) [7], et les essais expérimentaux de Das et Larbi - Cherif (1983a, b) [2][3] qui sont présenté sur la figure 7.

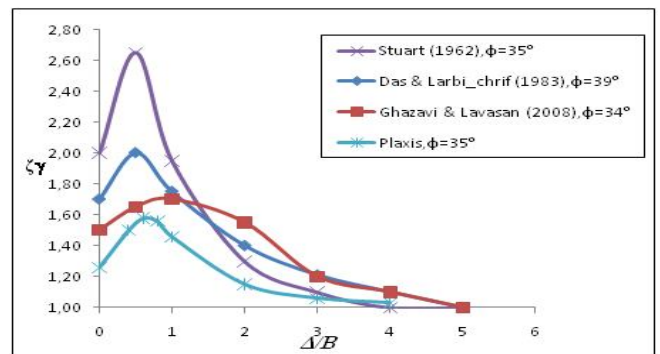


Figure7. Comparaison des résultats numériques, expérimentaux et théoriques pour l'interférence de deux fondations filantes sur un sol non renforcé.

On ressort que la tendance générale des variations de facteur d'interférence trouvés lors de cette étude est similaire à celles prédits par les autre études, mais il ya une grande variation dans les amplitudes entre la théorie et les résultats expérimentaux et numériques. D'après cette figure, les résultats numériques concordent assez bien avec les résultats des essais expérimentaux

9 Conclusions

L'analyse numérique a prouvé que la capacité portante de ces semelles est affectée par  $\phi$ ,  $L_x$ ,  $u$ ,  $h$ ,  $\Delta$  et  $N$ . En se basant sur les analyses effectuées dans cette étude, les conclusions générales suivantes peuvent être faites:

La capacité portante d'une semelle interférente est plus grande que celle d'une semelle isolée.

Les semelles rapprochées et renforcées avec des nappes de géogrille ont des facteurs d'interférences plus grands que les semelles rapprochées non renforcées. Ce phénomène

devient plus important en augmentant le nombre de nappes de renforcement d'une à deux.

L'augmentation du facteur d'interférence  $\zeta\gamma$  est proportionnelle à l'augmentation de l'angle de frottement interne  $\phi$ .

Pour  $0 \leq \Delta/B \leq 1$ , la capacité portante ultime de deux semelles filantes étroitement espacées augmente et Pour  $1 \leq \Delta/B \leq 4$ , le facteur d'interférence se baisse avec une augmentation de rapport d'espacement. Enfin, pour  $\Delta/B \geq 4$  la capacité portante reste constante. Cela signifie que pour un rapport d'espacement supérieur à  $4B$ , aucun effet d'interférence n'a été observé et chaque semelle a agi comme une semelle isolée.

Les paramètres critiques qui ont été trouvés,  $u/B_{cr} = h/B_{cr} = 0.3$  et  $L_x/B_{cr} = 1.5$ , pour une et deux nappes de renforcement.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Brinkgereve R.B.J. et Vermeer P.A. PLAXIS version 8, validation manual, DELFT University of technology & PLAXIS BV, Pays-Bas, 2003.
- [2] Das, B.M., Larbi-Cherif,S, "Bearing capacity of two closely spaced shallow foundations on sand". Soils and Foundations 23 (1), 1–7, 1983a.
- [3] Das, B.M., Larbi-Cherif,S, "Ultimate bearing capacity of closely spaced strip foundations". TRB, Transportation Research Record 945, 37–39, 1983b.
- [4] Das, B.M., Shin, E. C., and Omar, M.T., "The bearing capacity of surface strip foundations on geogrid reinforced sand and clay – a comparative study." *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 12, No. 1, pp. 1-14. 1994.
- [5] Ghazavi. M, Lavasan.A.A, *geotextiles and geomembranes* 26 (2008) 404–415.
- [6] Khing, K.H., Das, B.M., Puri, V.K., Cook, E.E., and Yen, S.C., "The bearing capacity of a strip foundation on geogrid reinforced sand." *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 12, pp. 351-361. 1993.
- [7] Stuart, J.G., 1962. "Interference between foundations with special reference to surface footings in sand". *Geotechnique* 12 (1), 15–23.
- [8] Terzaghi, K, *Theoretical Soil Mechanics*. Wiley, New York, 1943.