
Effets d'interférence des zones sous-jacentes à des fondations superficielles voisines en milieu analogique

Hichem Abbad^{1*}, Mourad Meghachou¹, Pierre Vacher²

¹ Université Djillali Liabes, Faculté des Sciences de l'Ingénieur 22000 Sidi Bel Abbès, Algérie

² Université de Savoie, SYMME Annecy, France

*hi_abbad@yahoo.fr

RÉSUMÉ. Dans ce papier nous présentons une étude expérimentale qui a nécessité la conception et la réalisation d'un modèle réduit destiné à contenir des granulés de polystyrène pour simuler un milieu naturel pulvérulent. Ce dernier est soumis à l'enfoncement des « semelles superficielles ». Pour chaque essai, plusieurs photos numériques sont prises pour matérialiser des configurations déformées différentes durant le processus d'enfoncement des semelles. Ces photos traitées, en couple, par le logiciel 7D (corrélation d'images) donnent l'évolution du champ de déplacement et de déformation plane du milieu analogique (P Vacher et al., 1999). Une attention particulière est prêtée à la discussion de l'interférence des zones sous-jacentes aux fondations superficielles voisines lors de la diminution de leur entre axe.

ABSTRACT. In this paper we present an experimental study that required the design and the realization of a small-scale model for containing polystyrene pellets to simulate a pulverulent natural medium. This last is subjected to the sinking of the "shallow footings". For each test, several numerical photographs are taken to materialize different deformed configurations during the process of sinking the footings. These treated photographs, in couple; by software 7D (correlation of images) give the evolution of the field of displacement and plane deformation of the analogical medium (P Vacher et al., 1999). A detailed attention is lent to the discussion of the interference of subjacent zones due to closely shallow foundations at the time of the reduction to their between axis.

MOTS-CLÉS : *corrélation d'images, modèle réduit, fondation superficielle, milieu granulaire, tassement, refoulement, cisaillement, problème plan.*

KEYWORDS: *correlation of images, small-scale model, shallow foundation, granular medium, settlement, discharge, shear, plane problem.*

1. Introduction

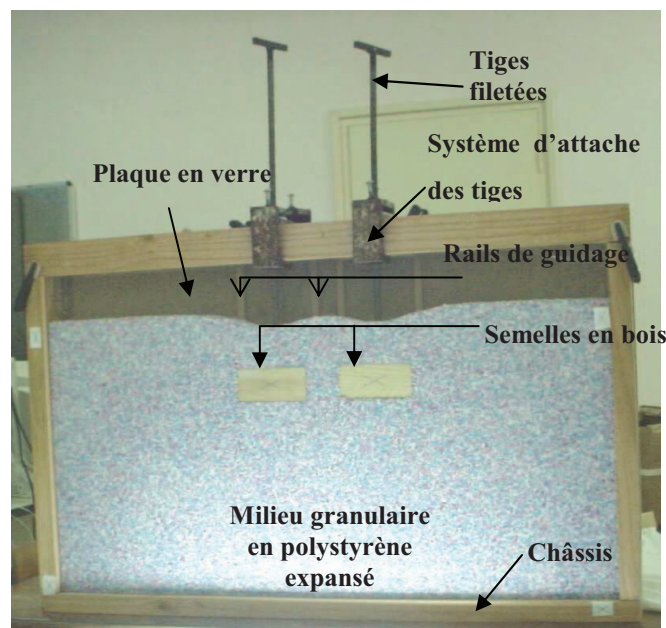
Il est admis, dans la littérature, que tout sol sous une fondation superficielle réagit en fonction du chargement. L'étude du comportement des sols de fondation a fait l'objet de nombreuses recherches académiques (Vesic, 1963 ; Murthy, 2002). Les essais in-situ s'avèrent bien utiles et surtout plus fiables par rapport à des théories, parfois simplistes, qui prédisent la capacité portante des sols. Ces théories sont toutes basées sur l'établissement des équations exprimant l'équilibre limite du milieu sous les fondations superficielles. Le « coin rigide », mis en évidence, depuis déjà longtemps, s'avère une schématisation acceptable d'une réalité complexe. Il s'agit là d'une masse de sol directement solidaire à la base de la semelle et supposée tasser de la même valeur que la fondation elle-même. Ceci est, bien entendu, idéaliste car le sol constituant le coin rigide se déforme malgré tout. En plus, cette déformation est liée essentiellement à la nature du sol, à sa densité et au seuil du chargement.

Connaître ce qui se passe sous des fondations superficielles est toujours instructif. Posons la question suivante : que se passe-t-il sous deux semelles superficielles voisines positionnées à différentes distances l'une de l'autre ? Il serait intéressant d'analyser l'interaction des zones déformées sous-jacentes à ces fondations (Abbad, 2004). Dans cet article, nous présentons une étude expérimentale qui a permis de décrire le champ de déplacement, de déformation sous deux fondations rigides voisines lors de la diminution de leur entre-axe et de répondre à la première question.

2. Modèle expérimental

Le modèle réduit sur lequel nous avons réalisé différents essais est un dispositif parallélépipédique, de dimensions égales à (100x80x5) cm, conçu pour contenir des granulés de polystyrène expansé (matériau analogique) simulant un milieu granulaire. La paroi d'avant du modèle est constituée d'une plaque de verre de 6mm d'épaisseur, avec un indice de réfraction constant sur toute sa surface et égal à un. Les autres parois sont réalisées avec des plaques en bois rigides. Des parallélépipèdes en bois lissé de dimensions (10x5x5) cm, modélisant des semelles isolées, sont en contact ponctuel au droit d'orifices prévus sur leurs faces supérieures avec des tiges filetées de 50 cm de longueur. Les écrous sont soudés à un système d'attache au châssis du modèle, ce qui permet de contrôler l'enfoncement des semelles en vissant la tige. Un déplacement strictement vertical est imposé aux semelles du fait que ces dernières sont guidées par des rails de 5 mm d'épaisseur, placés sur la paroi arrière, empêchant toute rotation (figure 1).

Les grains de polystyrène, ronds très léger (de diamètre moyen 1mm), sont teintés en bleu et en rouge puis mélangés avec d'autres grains à leur état brut pour matérialiser un milieu visuellement contrasté. Afin d'obtenir un milieu compact et homogène, le matériau humidifié à une teneur en eau d'environ 2 % en volume, est déposé par petites couches de 2cm d'épaisseur et compacté uniformément sur toute la largeur du bac. Le milieu a un indice des vides de 0,321, correspondant à une densité relative $D_r = 96\%$ ($e_{\min} = 0.302$, $e_{\max} = 0.855$). Vu les très faibles contraintes mises en jeu, les grains de polystyrène constituant le milieu étudié sont considérés indéformables.



Afin de décrire le champ de déplacement et de déformation sous une fondation isolée et d'analyser les zones sous-jacentes à deux fondations voisines, plusieurs séries d'essais ont été réalisées.

Pour chaque essai réalisé, une série de photos numériques, de résolution 1280 x 960 pixels, est prise de face, l'axe de la prise de vue étant perpendiculaire au plan du

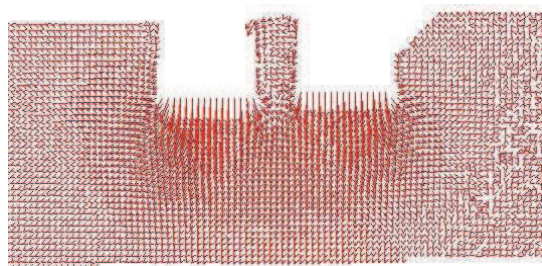
modèle réduit. Ces photos matérialisent différentes configurations déformées du milieu granulaire, engendrées par des enfoncements identiques des semelles. Les images enregistrées sont traitées ultérieurement pour restituer le champ de déplacement pour déterminer le champ de déformation par le logiciel 7D (Vacher *et al.*, 1999). Il s'agit d'une méthode de corrélation entre deux images, ces dernières seront comparées en utilisant le coefficient de corrélation du niveau de gris. En d'autres termes, les points de l'image initiale sont retrouvés sur les images successives avec une incertitude de mesure de l'ordre de 0,1pixel, voire 0,01 pixel en petite déformation. L'image pour laquelle la déformation sera analysée est divisée en un certain nombre d'éléments de grille, carrés de côtés 10 pixels.

3. Déplacements et déformations sous les fondations

La mise en évidence de l'influence de la distance entre axes des semelles sur le comportement du milieu granulaire sous-jacent est volontairement cinématique, faisant abstraction de toute mesure de l'état de contrainte. Les essais en question ont été effectués à des écartements entre axes de semelles de $S = 3B/2$, $S = 2B$, $S = 5B/2$ et $S = 3B$, S et B étant respectivement la distance entre axes des semelles et la largeur de celles-ci.

Lors des traitements d'images, un domaine d'étude est défini par l'opérateur. On suivra à volonté l'évolution des déplacements et des déformations dans ce domaine. L'enfoncement imposé aux semelles se fait à des pas constants de l'ordre de 0,3mm correspondant à 1pixel.

3.1. Champ de déplacement



Calcul 22 sur 31 entre E 001 et E 024
Vecteurs déplacement

(a) $S = 3B/2$, 10 pixels

Interférence des zones sous-jacentes à des fondations SV

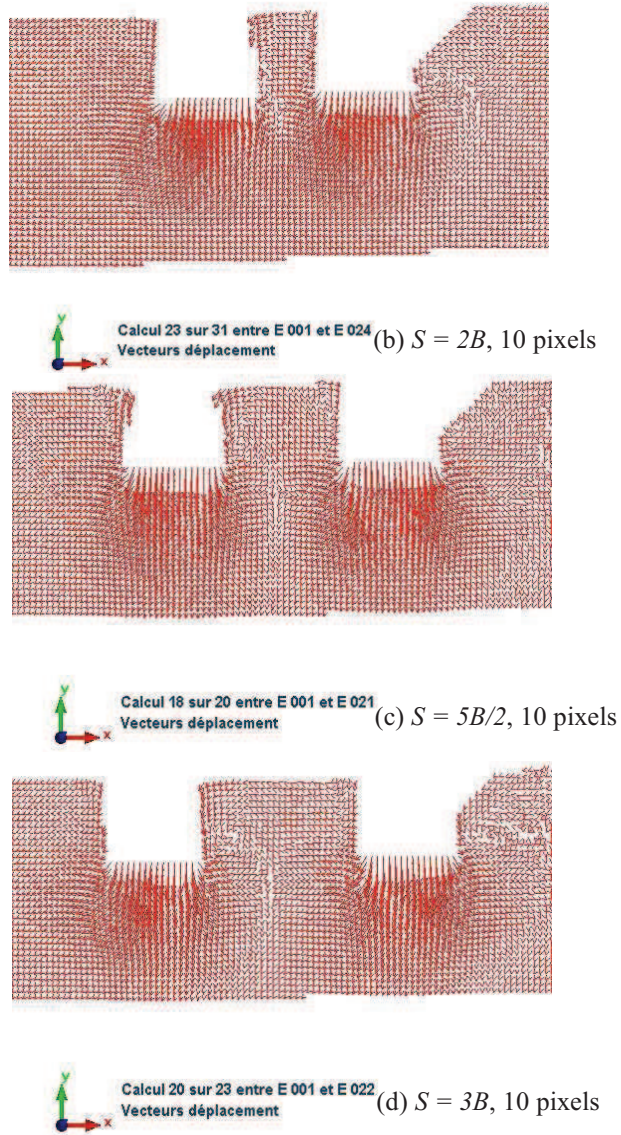
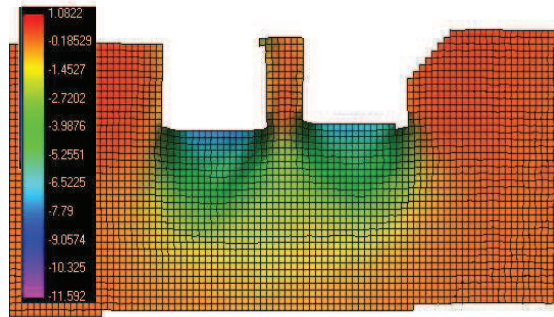


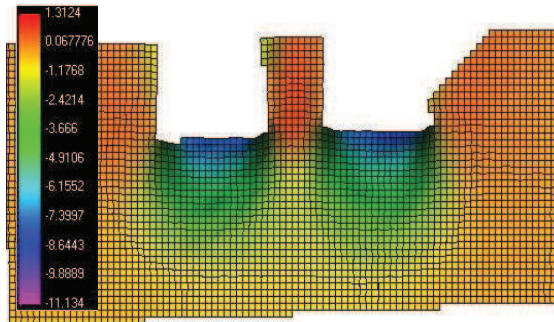
Figure 2. Vecteurs de déplacements pour un enfoncement de 10 pixels et différentes distances entre axes de semelles

Les figures (2a, 2b, 2c et 2d) reproduisent graphiquement les trajectoires des grains pour un enfoncement de 10 pixels et pour des distances entre axes des semelles respectives de $(3B/2)$, $(2B)$, $(5B/2)$ et $(3B)$. On remarque que le déplacement des grains s'accroît verticalement suivant l'axe de la semelle, et horizontalement vers les bords de celle-ci. Les vecteurs de déplacement sont tracés avec un coefficient d'amplification de 5,5. En premier lieu, nous constatons que les vecteurs de déplacement sont globalement verticaux et orientés vers le bas, les trajectoires des grains s'amortissent, à peu près, à l'approche d'un plan horizontal parallèle à la face inférieure de la semelle, suivant un arc incurvé vers le bas.



Calcul 22 sur 31 entre E 001 et E 024
Déplacement suivant y (en pixel)

(a) $S = 3B/2$, 10 pixels



Calcul 23 sur 31 entre E 001 et E 024
Déplacement suivant y (en pixel)

(b) $S = 2B$, 10 pixels

Interférence des zones sous-jacentes à des fondations SV

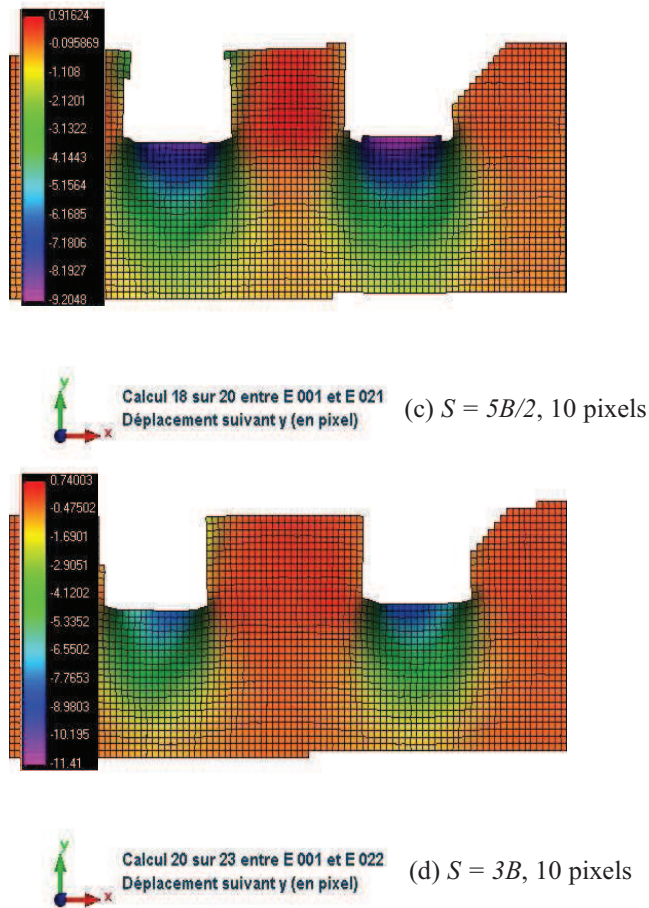


Figure 3. Champ de déplacement vertical pour un enfoncement de 10 pixels et différentes distances entre axes de semelles

Les figures (3a, 3b, 3c et 3d) représentent les champs de déplacement verticaux du matériau sollicité par deux semelles écartées entre axes respectivement de $(3B/2)$, $(2B)$, $(5B/2)$ et $3B$, l'enfoncement est de 10 pixels. Localement, sous chaque base, le milieu se comporte de manière similaire à une semelle isolée avec des tassements sous celle-ci et un léger refoulement sur les bords. Remarquons que la

formation d'un « coin rigide » sous chaque semelle confirme la compacité élevée du matériau. On remarque qu'au-delà d'un écartement $S = 2B$ les semelles agissent indépendamment sur le matériau.

A une distance $S = 3B/2$, l'interaction des zones de tassement de chaque semelle crée un bulbe général de déplacement vertical qui englobe les deux bases des semelles, ce bulbe général disparaît pour des écartements $S > 2B$. Ce phénomène peut être attribué à l'effet de blocage (blocking effect) qui est dû au sol entre les deux semelles qui forme un arc inversé et le système combiné, lors du chargement, tasse en tant qu'une seule semelle (bulbe général), la largeur de ce bulbe est supérieure à la somme des bases des deux semelles. En fonction de l'intensité de l'enfoncement des semelles, un fort gradient de déplacement se met en place sur un contour triangulaire légèrement incurvé confirmant l'existence des coins rigides.

La figure 4 représente les isovaleurs de déplacement vertical des points appartenant à l'axe central (à mi-distance entre semelles : Axe 1) en fonction des écartements entre axes des semelles (représentés sur l'axe des abscisses) pour un enfoncement de 10 pixels. Les points situés sous la face inférieure de la semelle tassent d'autant plus que l'écartement diminue (lecture graphique horizontale). D'un autre côté, le gradient de déplacement sur l'axe central est d'autant plus grand lorsque les fondations se rapprochent l'une de l'autre.

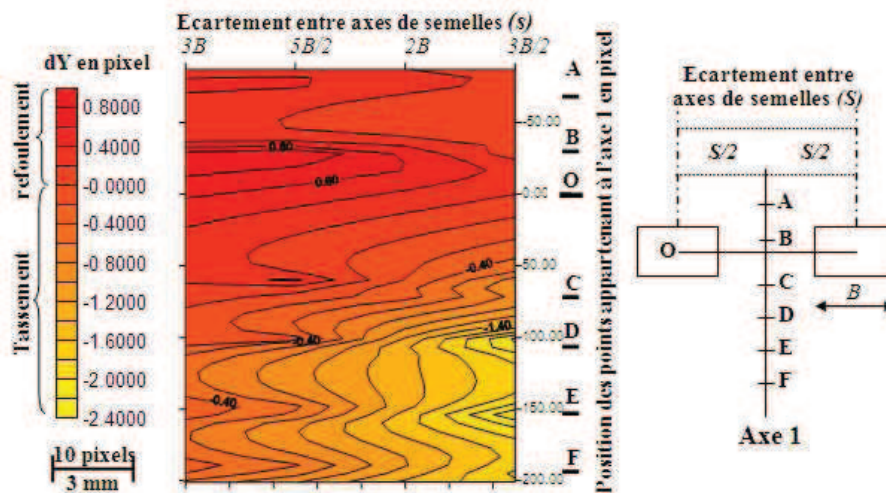


Figure 4. Isovaleurs de déplacement vertical sur l'axe central en fonction des écartements entre axes des semelles pour un enfoncement des semelles de 10 pixels

3.2. Champ de déformation (cisaillement maximal)

Les figures (5a, 5b, 5c et 5d) représentent les champs de déformation (cisaillement maximal) dans le milieu granulaire pour un enfoncement de 10 pixels et pour des écartements entre axes de semelles respectifs de $(3B/2)$, $(2B)$, $(5B/2)$ et $(3B)$. On remarque que les bulbes de cisaillement sont d'autant plus grands que les semelles se rapprochent l'une de l'autre. Notons l'effet de bord, aux coins des bases des semelles, matérialisé par une plus grande intensité de cisaillement qui atteint la valeur de 15% pour un écartement de $3B/2$ alors qu'elle ne dépasse pas les 10% pour un écartement de $3B$.

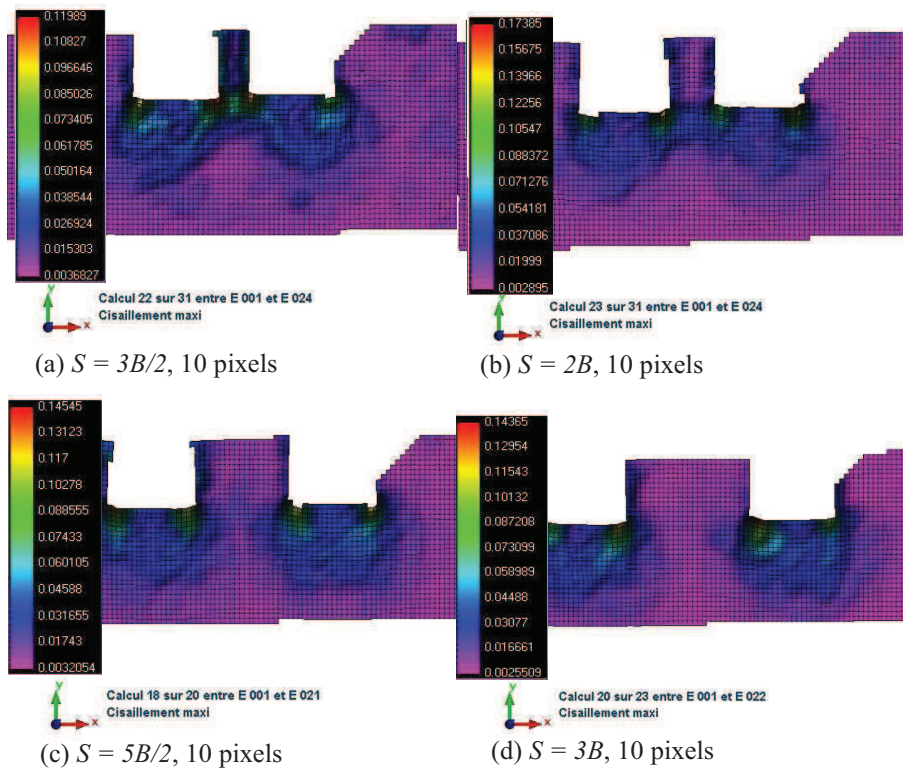


Figure 9. Champ de déformation (cisaillement maximal) pour un enfoncement de 10 pixels et différentes distances entre axes de semelles

4. Conclusion

L'étude purement cinématique abordée est une approche à une corrélation entre la phénoménologie des concentrations des déformations sous des semelles isolées voisines à différents écartements et la mobilisation de la portance, faisant objet d'études antérieures. Les essais d'enfoncement effectués ont permis de quantifier le champ de déplacement vertical et celui des déformations du milieu granulaire sous les « fondations superficielles » grâce à la technique de corrélation d'image.

La formation d'un « coin rigide » sous chaque semelle a été aisément mise en évidence.

L'interaction des zones de ruptures des semelles voisines est étudiée cinématiquement en faisant varier le paramètre distance entre nus de semelles. Il s'avère qu'un écartement minimal d'environ la largeur de la semelle est nécessaire pour que deux semelles voisines agissent indépendamment sur le milieu sous-jacent, ceci est confirmé par l'effet de blocage « blocking effect » qui disparaît à partir d'une distance entre axes de semelles $S/B \geq 2$. En effet le phénomène de blocage pour le même ratio d'écartement a été mis en évidence par plusieurs chercheurs qui ont étudié l'interaction des zones de ruptures entre semelles superficielles ancrées dans des sables de différentes densités et avec des angles de frottements différents (Stuart, 1962 ; Das et Larbi-Cherif, 1983 ; Ghazavi et Lavasan, 2008).

6. Bibliographie

- Abbad H., Modélisation physique de l'interaction des zones de rupture des fondations superficielles voisines, Thèse de magister, Université de Sidi Bel Abbès, Algérie, 2004.
- Das B.M., Larbi-Cherif. S., « Bearing capacity of two closely spaced shallow foundations on sand », *Soils and Foundations*, 23 (1), 1983a, p. 1–7.
- Ghazavi M., Lavasan Arash. A ., « Interference effect of shallow foundations constructed on sand reinforced with geosynthetics », *Geotextiles and Geomembranes*, 26, 2008, p. 404–415.
- Murthy V. N. S., *Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, New York, Marcel Dekker Inc, 2002.
- Stuart, J.G., «Interference between foundations with special reference to surface footings in sand», *Geotechnique*, vol 12 (1), 1962, p. 15–23.
- Vacher P., Dumoulin S., Morestin F., Mguil-Touchal S., « Bidimensional strain measurement using digital images », *Poc. Instn. Mech. Engrs*, vol. 213, Part C IMChE, 1999, p. 811-817.
- Vesic A. S., « Bearing capacity of deep foundations in sand », *Highway Research Board Record*, n° 39, 1963, p. 112-153.