

Printed from

# Journal of Scientific Research

---

<http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>

## Numerical analysis of laterally loaded single pile

Z. Khelifi<sup>1</sup>, A.M. Berga<sup>2</sup>, N. Terfaya<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire (EOLE), Université Abou Bekr Belkaid, Faculté de technologie, Tlemcen BP 230 (13000), Algérie.

<sup>2-3</sup> Laboratoire de fiabilité des matériaux et structures (FIMAS), Université de Béchar BP 417 (08000), Algérie

Corresponding author: [zakia\\_khelifi@yahoo.fr](mailto:zakia_khelifi@yahoo.fr)

Published on 10 December 2011

The Editor, on behalf of the Editorial Board and Reviewers, has great pleasure in presenting this number of the Journal of Scientific Research. This journal (ISSN 2170-1237) is a periodic and multidisciplinary journal, published by the University of Bechar. This journal is located at the interface of research journals, and the vulgarization journals in the field of scientific research. It publishes quality articles in the domain of basic and applied sciences, technologies and humanities sciences, where the main objective is to coordinate and disseminate scientific and technical information relating to various disciplines.

The research articles and the development must be original and contribute innovative, helping in the development of new and advanced technologies, like the studies that have concrete ideas which are of primary interest in mastering a contemporary scientific concepts. These articles can be written in Arabic, French or English. They will not be published in another journal or under review elsewhere. The target readership is composed especially of engineers and technicians, teachers, researchers, scholars, consultants, companies, university lab, teaching techniques and literary ... The journal is obtainable in electronic form, which is available worldwide on the Internet and can be accessed at the journal URL:

<http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>.

**Director of Journal**  
Pr. BELGHACHI Abderrahmane

**Editor in Chief**  
Dr. HASNI Abdelhafid

**Editorial Member**

Mr. TERFAYA Nazihe  
Mr. BOUIDA Ahmed  
Mr. LATFAOUI Mohieddine  
Mr. OUAHABI Abdelhakim

## Reviewers board of the Journal.

Pr. KADRY SEIFEDINE (The American University in KUWAIT)  
Pr. RAZZAQ GHUMMAN Abdul ( Al Qassim University KSA)  
Pr. PK. MD. MOTIUR RAHMAN (University of Dhaka Bangladesh)  
Pr. MAHMOOD GHAZAW Yousry ( Al Qassim University KSA)  
Pr. KHENOUS Houari Boumediene (King Khalid University KSA)  
Pr. RAOUS Michel (Laboratory of Mechanic and Acoustic France)  
Pr. RATAN Y. Borse ( M S G College Malegaon Camp India)  
Pr. LEBON Frédéric (University of Aix-Marseille 1 France)  
Pr. MONGI Ben Ouédou (National Engineering School of Tunis)  
Pr. BOUKELIF Ouéd (University of Sidi Bel Abbes Algeria)  
Pr. DJORDJEVICH Alexander (University of Hong Kong)  
Pr. BENABBASSI Abdelhakem (University of Bechar Algeria)  
Pr. BOULARD Thierry (National Institute of Agronomic Research France)  
Pr. LUCA Varani (University of Montpellier France)  
Dr. FELLAH Zine El Abidine Laboratory of Mechanic and Acoustic France)  
Dr. ZHEN Gao (University of Ontario Institute of Technology Canada)  
Dr. OUERDACHI Lahbassi (University of Annaba Algeria)  
Dr. HADJ ABDELKADER Hicham (IBISC – University of Evry France)  
Dr. KARRAY M'HAMED ALI (National Engineering School of Tunis)  
Dr. ALLAL Mohammed Amine (University of Tlemcen Algeria)  
Dr. FOUCHAL Fazia (GEMH - University of Limoges France)  
Dr. TORRES Jeremi (University of Montpellier 2 France)  
Dr. CHANDRAKANT Govindrao Dighavka (L. V. H. College of Panchavati India)  
Dr. ABID Chérifa (Polytech' University of Aix-Marseille France)  
Dr. HAMMADI Fodil (University of Bechar Algeria)  
Dr. LABBACI Boudjema (University of Bechar Algeria)  
Dr. DJERMANE Mohammed (University of Bechar Algeria)  
Dr. BENSAFI Abd-El-Hamid (University of Tlemcen)  
Dr. BENBACHIR Maamar (University of Bechar Algeria)

Pr. BALBINOT Alexandre (Federal University of Rio Grande do Sul Brazil)  
Pr. TEHIRICHI Mohamed (University of Bechar Algeria)  
Pr. JAIN GOTAN (Materials Research Lab., A.C.S. College, Nandgaon India)  
Pr. SAIDANE Abdelkader (ENSET Oran Algeria)  
Pr. DI GIAMBERARDINO Paolo (University of Rome « La Sapienza » Italy)  
Pr. SENGOUGA Nouredine (University of Biskra Algeria)  
Pr. CHERITI Abdelkarim (University of Bechar Algeria)  
Pr. MEDALE Marc (University of Aix-Marseille France)  
Pr. HELMAOUI Abderrachid (University of Bechar Algeria)  
Pr. HAMOUINE Abdelmadjid (University of Bechar Algeria)  
Pr. DRAOUI Belkacem (University of Bechar Algeria)  
Pr. BELGHACHI Abderrahmane (University of Bechar Algeria)  
Pr. SHAILENDHRA Karthikeyan (AMRITA School of Engineering India)  
Pr. BURAK Barutcu (University of Istanbul Turkey)  
Dr. SELLAM Mebrouk (University of Bechar Algeria)  
Dr. ABDUL RAHIM Ruzairi (University Technology of Malaysia)  
Dr. BELBOUKHARI Nasser (University of Bechar Algeria)  
Dr. CHIKR EL MEZOUAR Zouaoui (University of Bechar Algeria)  
Dr. BENACHAIBA Chellali (University of Bechar Algeria)  
Dr. KAMECHE Mohamed (Centre des Techniques Spatiales, Oran Algeria)  
Dr. MERAD Lotfi (Ecole Préparatoire en Sciences et Techniques Tlemcen Algeria)  
Dr. BASSOU Abdesselam (University of Bechar Algeria)  
Dr. ABOU-BEKR Nabil (Universit of Tlemcen Algeria)  
Dr. BOUNOUA Abdennacer (University of Sidi bel abbes Algeria)  
Dr. TAMALI Mohamed (University of Bechar Algeria)  
Dr. FAZALUL RAHIMAN Mohd Hafiz (University of Malaysia)  
Dr. ABDELAZIZ Yazid (University of Bechar Algeria)  
Dr. BERGA Abdelmadjid (University of Bechar Algeria)  
Dr. Rachid KHALFAOUI (University of Bechar Algeria)  
Dr. SANJAY KHER Sanjay (Raja Ramanna Centre for Adavanced Technology INDIA)

## Journal of Scientific Research

P.O.Box 417 route de Kenadsa  
08000 Bechar - ALGERIA  
Tel: +213 (0) 49 81 90 24  
Fax: +213 (0) 49 81 52 44

Editorial mail: [jrs.bechar@gmail.com](mailto:jrs.bechar@gmail.com)  
Submission mail: [submission.bechar@gmail.com](mailto:submission.bechar@gmail.com)  
Web: <http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>



# Numerical analysis of laterally loaded single pile

Z. Khelifi<sup>1</sup>, A.M. Berga<sup>2</sup>, N. Terfaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire (EOLE), Université Abou Bekr Belkaid, Faculté de technologie, Tlemcen BP 230 (13000), Algérie.

E-mail: [zakia\\_khelifi@yahoo.fr](mailto:zakia_khelifi@yahoo.fr)

<sup>2</sup> Laboratoire de fiabilité des matériaux et structures (FIMAS), Université de Béchar BP 417 (08000), Algérie

**Abstract** – In this study, a numerical analysis by the finite element method is used to study the lateral response of piles subjected to horizontal loads or lateral movements due to adjacent work of excavations. The numerical modeling of the pile-soil system was carried out in plan strain condition 2D. A reasonable agreement was obtained between the numerical results obtained by Plaxis 2D and those experimental, numerical and analytical.

**Key words:** Interaction soil-structure, Piles, Interface, lateral load, Soil movement, Finite element.

## I. Introduction

Les fondations sur pieux sont initialement destinées dans l'ordre de transmettre les charges verticales au sol. Grâce aux progrès effectués dans la connaissance de comportement de fondations sur pieux, il est aujourd'hui reconnu que les pieux verticaux peuvent soutenir des charges horizontales. L'effet de la poussée de terres sur une culée du pont, l'effet de la houle sur les plateformes offshore, pieux situés près d'une excavation, ou lors du déplacement latéral d'une couche d'argile compressible, sont des exemples usuels de chargement horizontal de pieux.

L'étude de la réponse des pieux due au mouvement latéral du sol a été analysée par plusieurs auteurs dont la conception de ces pieux dépend de: mécanisme du mouvement du sol, propriétés du sol, condition de tête du pieu, chargement du superstructure [1].

L'effet de l'excavation sur des pieux adjacents a été traité par Poulos et Chen [2] et des abaques de conception pour des excavations non soutenues et étançonnées ont été approvisionnées. Ils ont fait une analyse en deux étapes, par éléments finis et par éléments frontières pour étudier la réponse des pieux. En première étape, un programme d'élément fini à 2D dénommé AVPULL (Analysis of Vertical Piles Under Lateral Loading) a été utilisé pour modéliser en déformation plane l'excavation sans la présence du pieu. Dans ce programme, le sol a été modélisé par des éléments isoparamétriques à 8 nœuds et avec une loi de comportement élastoplastique. Le calcul du mouvement latéral du sol par l'analyse d'élément fini est ensuite utilisé comme une donnée au programme d'élément frontière dénommé PALLAS (Piles And Lateral Loading Analysis) pour l'analyse de la réponse du pieu. Le problème est modélisé dans des conditions de

déformation plane 2D, les paramètres définissant le problème sont montrés sur la figure 1.

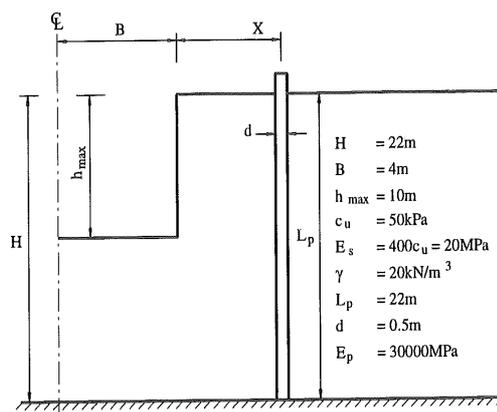


Figure 1. Problème analysé [2].

Carrubba et al [3] ont fait un essai en vraie grandeur d'un pieu en béton instrumenté pour étudier la réponse des pieux utilisés pour stabiliser une pente de glissement. Des capteurs de pression ont été installés le long du fût du pieu et un inclinomètre a été installé à son centre. Le pieu a été foré dans la pente de glissement, qui avait une surface de glissement située à une profondeur de 9,5 m de la surface du sol. Cette surface de glissement a été assumée d'avoir une couche de transition d'approximativement 2 m, estimée à partir du profil mesuré du moment de flexion et de force de cisaillement. Le concept de la force équivalente introduite par Guo [4], [5] qui permet une corrélation entre une charge équivalente et une magnitude du mouvement du sol. Ce concept est basé sur des solutions élastoplastiques pour un pieu libre en tête et encasté en tête.

## II. Modélisation des pieux sous charges latérales

Le dimensionnement des pieux reste encore souvent lié à l'utilisation de méthode de calcul reposant sur l'expérience : essais de chargement statique, essais pénétrométriques, essais préssiométriques ; ou sur des méthodes empiriques telle que la méthode de Brinch Hansen ou Broms pour le calcul des pieux sous charges latérales. Cependant, le calcul numérique par la méthode des éléments finis ou des éléments frontières offrent des meilleures alternatives pour étudier l'interaction pieu-sol et la réponse des pieux chargés latéralement ou dû au mouvement du sol. Parmi les approches de la méthode des éléments finis utilisées pour modéliser le problème d'un pieu chargé latéralement, on cite l'approche axisymétrique, tridimensionnelle et en déformation plane (figure 2) [6].

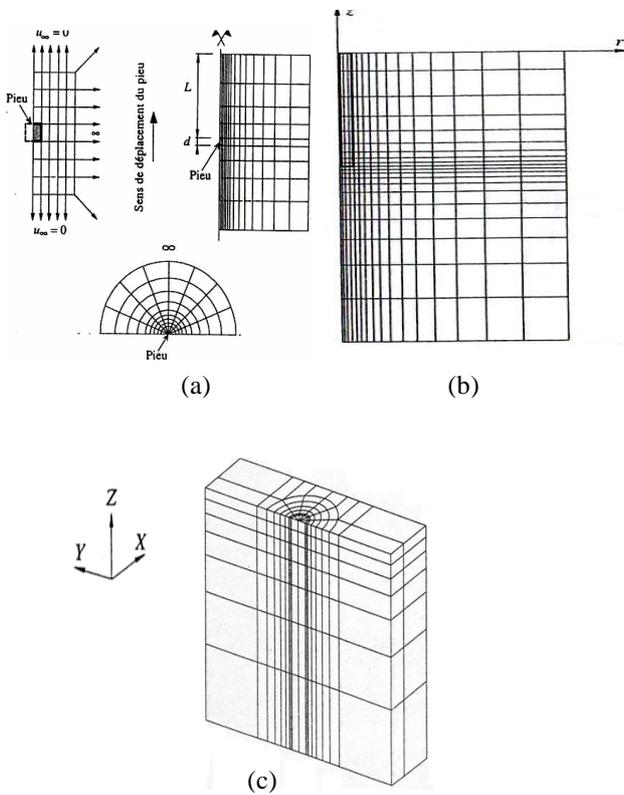


Figure 2: Modélisation d'un pieu sous charges latérales:  
 (a) Déformation plane; (b) Approche axisymétrique;  
 (c) Approche tridimensionnel [6]

## III. Modélisation de l'interaction sol-pieu

Le comportement des pieux sous charges latérales est un problème complexe d'interaction sol-pieu à cause de la nature tridimensionnelle du phénomène et sa dépendance de plusieurs paramètres clés tels que le comportement du pieu, du sol, la nature de la charge et les effets de l'interface. Pour cela, la modélisation des contacts par éléments finis est une opération délicate, à cause des grandes dimensions que présentent les surfaces de contact et de la dilataance de l'interface au cours du cisaillement. Une étape importante dans la simulation du comportement de l'interface concerne la représentation de l'élément d'interface souvent sous forme d'éléments finis spéciaux. Dans une interaction sol-structure, le mouvement relatif entre le sol et la structure peut se produire; l'utilisation d'éléments continus habituels (fig. 3a), avec compatibilité des déplacements, empêche le mouvement relatif entre le sol et la structure. La compatibilité nodale de la méthode des éléments finis oblige le sol et la structure à se déplacer ensemble. C'est pour cela que des éléments d'interface spéciaux sont utilisés. Les avantages principaux de l'utilisation des éléments d'interface sont la possibilité de faire varier le comportement constitutif de l'interface et de permettre le mouvement relatif entre le sol et la structure. Dans ce cadre, beaucoup de méthodes ont été utilisées pour modéliser le comportement discontinu de l'interface sol-structure. Citons l'utilisation d'éléments sans épaisseur (zéro thickness) (fig. 3b et c), les éléments de type couche mince (fig. 3d), et les méthodes hybrides où sol et structure sont modélisés séparément et liés ensuite par des équations de compatibilité de différentes natures pour les forces et les déplacements [7].

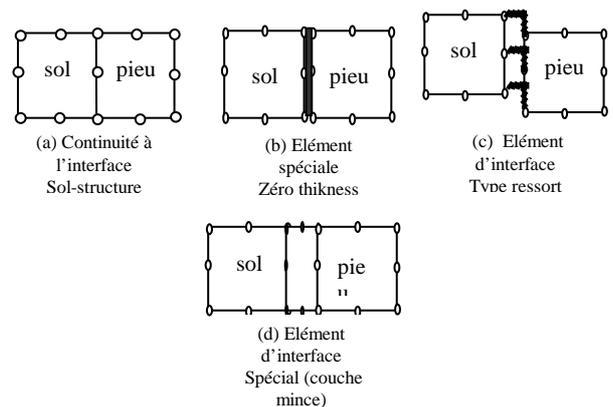


Figure 3: Discrétisation par éléments finis du problème de contact sol-structure [7]

#### IV. Analyse par éléments finis du système sol-pieu

Un programme d'éléments finis à deux dimensions Plaxis 2D a été utilisé dans ce présent travail afin de modéliser un pieu isolé foré sous charges latérales. Dans ce programme, la modélisation a été effectuée en condition de déformation plane avec deux degrés de liberté de translation par nœud.

Le sol a été modélisé par des éléments triangulaires à 15 nœuds, comme un matériau élastoplastique obéit au critère de rupture du Mohr-Coulomb.

Le pieu est modélisé par éléments de poutre basés sur la théorie de Mindlin. Les éléments de poutres sont composés de deux degrés de libertés de translation et un degré de liberté de rotation, ce qui permet la déflexion des poutres.

Dans ce programme, un modèle élasto-plastique permet de décrire le comportement des interfaces dans la modélisation des interactions sol-structures. Le critère de Coulomb est utilisé pour distinguer le comportement élastique, où de petits déplacements peuvent apparaître aux interfaces, et le comportement plastique (glissant). Pour les interfaces dont le comportement reste élastique, la contrainte tangentielle  $\tau$  est donnée par:

$$|\tau| < \sigma_n \tan \varphi_i + C_i \quad (1) \text{ et}$$

pour un comportement plastique  $\tau$  est donné par :

$$|\tau| = \sigma_n \tan \varphi_i + C_i \quad (2)$$

Où  $\varphi_i$  et  $C_i$  sont l'angle de frottement et la cohésion de l'interface,  $\sigma_n$  et  $\tau$  sont la contrainte normale et la contrainte tangentielle agissant à l'interface. Les caractéristiques de résistance de l'interface sont liées aux propriétés de résistance de la couche de sol. Chaque jeu de données inclut un facteur de réduction de la résistance pour les interfaces ( $R_{inter}$ ).

#### V. Exemples numériques

En utilisant le programme Plaxis 2D, on va traiter le comportement d'un pieu isolé foré chargé latéralement dû au mouvement du sol [8]. Pour cela, deux exemples ont été présentés ici, le premier est basé sur le problème de Poulos et al [2]; le deuxième sur le problème de Carrubba et al [3].

##### V.1. Exemple de Poulos et al

Poulos et Chen ont analysé le comportement d'un pieu placé à proximité d'une excavation. Le problème est modélisé dans des conditions de déformation plane 2D, les paramètres définissant le problème sont montrés sur la "figure 1" et le "tableau 1". Le sol est supposé non drainée pendant l'excavation.

Tableau 1: Données du problème

Matériau	Paramètre	Valeur
Argile (Modèle Mohr-Coulomb)	Module de Young $E$	20 MPa
	Coefficient de poisson	0.35
	Cohésion $C_u$	50 KPa
	Poids volumique	20 KN/m <sup>3</sup>
Pieu (Modèle élastique)	Module de Young $E$	30×10 <sup>3</sup> MPa
	Coefficient de poisson	0.15
	Poids volumique	24 KN/m <sup>3</sup>
	Rigidité normale $EA$	1.5×10 <sup>7</sup> KN/m
	Rigidité de flexion $EI$	3.125×10 <sup>5</sup> KNm <sup>2</sup> /m
Interface (Modèle Mohr-Coulomb)	Angle de frottement	0°
	Coefficient de poisson	0.35
	Cohésion $C_u$	50 KPa

L'excavation produit des mouvement de sol et induise les moments de flexion et déflexion dans le pieu. L'excavation doit être suffisamment longue pour que l'analyse en déformation plane soit applicable. La profondeur de l'excavation peut être exprimée par un facteur de stabilité  $N_C$  de la forme suivante [2]:

$$N_C = \frac{\gamma \times h}{C_u} \quad (3)$$

L'objectif de cette analyse en 2D est de prédire la déflexion maximale et le moment de flexion maximal. Etant donné que ces valeurs maximales sont prévues dans la direction de la charge latérale due au mouvement du sol. La figure ci-dessous montre la géométrie (fig.4a) et le maillage (fig.4b) en approche de déformation plane.

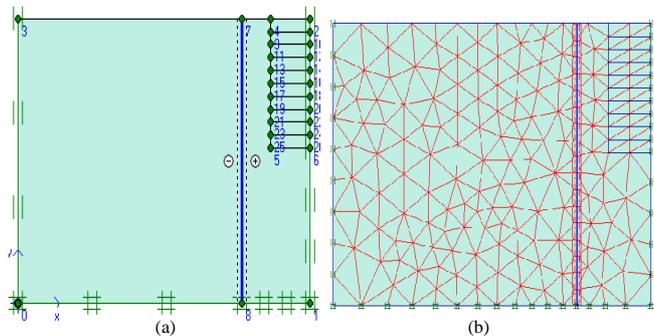


Figure 4: Géométrie et maillage en 2D déformation plane

La figure 5 montre le maillage déformé pour le pieu isolé à proximité de l'excavation, pour  $x = 3\text{m}$  et  $N_c = 4$  ( $x$  et  $N_c$  sont respectivement la distance horizontale et la profondeur adimensionnelle de l'excavation).

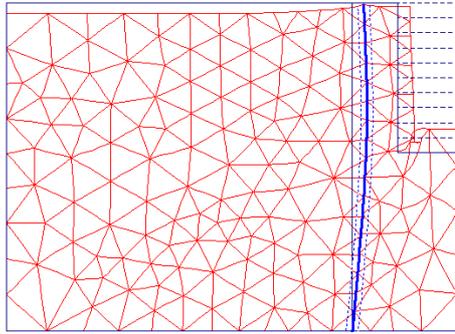


Figure 5: Maillage déformé du système sol-pieu ( $x = 3\text{m}$  et  $h = 10\text{m}$ )

La distance de pieu de la face de l'excavation est de 3 m et l'excavation du sol se fait par tranche de 1 m de profondeur à chaque étape jusqu'à 10 m. Dans la tranchée d'excavation, le soulèvement du sol est observé en raison de la libération de pression des terres au dessous. Le sol derrière le pieu paraissait enfoncé en raison de mouvement du sol dans la direction de l'excavation. Il est évident que le pieu se fléchit dans le sens de l'excavation et la flexion maximale se produit dans la partie médiane du pieu. Dans ce cas, le sol semblait presser le pieu comme il essaie de le déplacer. La figure 6 montre le profil du moment fléchissant dans le pieu.

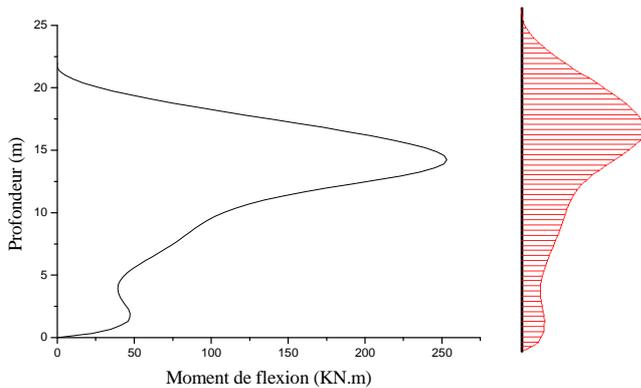
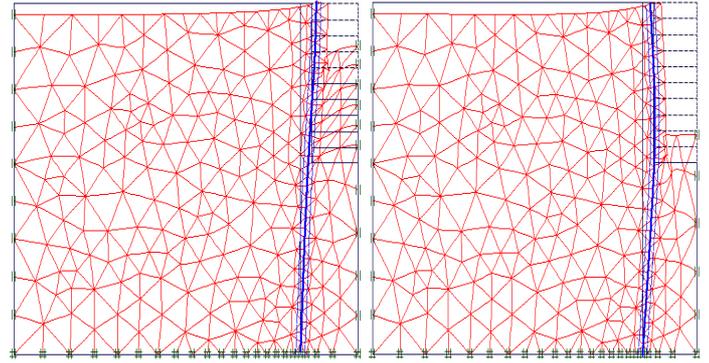


Figure 6: Diagramme du moment de flexion du pieu (moment de flexion max = 253.20 KNm/m) ( $x = 3\text{m}$ ;  $h=10\text{m}$ )

La figure 7 montre le maillage déformé du pieu à proximité de l'excavation pour  $x = 1\text{m}$  et  $N_c = 2$  (fig.7a) et  $N_c = 4$  (fig.7b).



(a) ( $x = 1\text{m}$ ;  $h = 5\text{m}$ )

Figure 7: Maillage déformé

Nous présentons ci-dessous les profils de moment de flexion du pieu pour les deux cas  $N_c=2$  et  $N_c = 4$ . D'après les figures 8a et b, on remarque que le calcul effectué par Plaxis donne une souestimation de moment de flexion du pieu pour les deux cas.

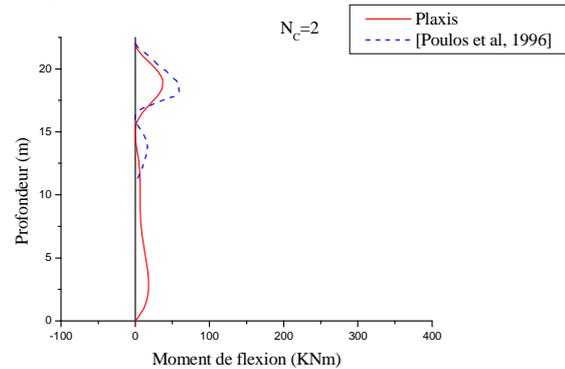


Figure 8a: Comparaison des résultats du profil du moment de flexion du pieu ( $N_c=2$ ;  $x=1\text{m}$ )

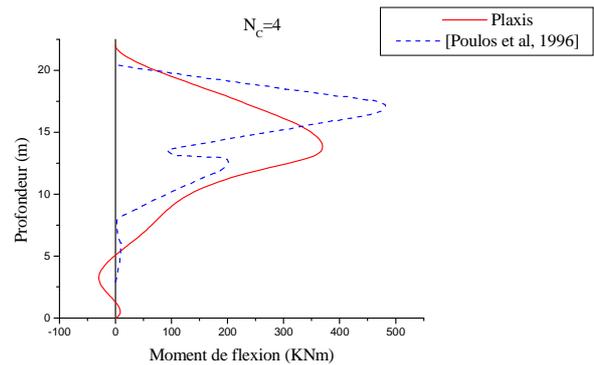


Figure 8b: Comparaison des résultats du profil du moment de flexion du pieu ( $N_c=4$ ;  $x=1\text{m}$ )

Les figures 9a et b montrent la déflexion du pieu. En remarquant que pour  $N_c = 2$ , le résultat est en bon accord, mais pour  $N_c = 4$ , une souestimation de la déflexion est obtenue.

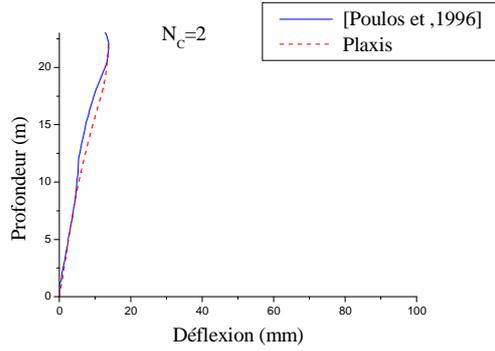


Figure 9a: Comparaison des résultats du profil de déflexion ( $N_C=2$ ;  $x=1m$ )

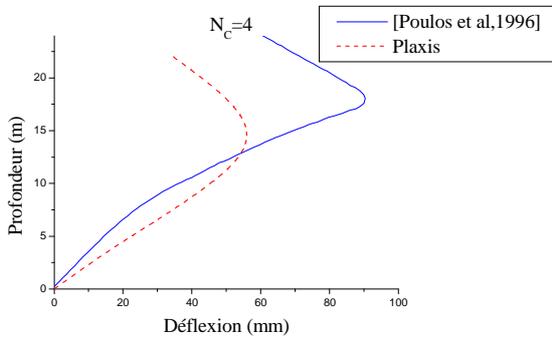


Figure 9b: Comparaison des résultats du profil de déflexion ( $N_C=4$ ;  $x=1m$ )

Puisque la modélisation est effectuée en déformation plane, le pieu est modélisé comme un mur infiniment long, les écoulements de cisaillement du sol autour du pieu tendent d'être négligés, par conséquent sous-estimant la réponse latérale du pieu (le moment de flexion et la déflexion). Donc les déformations du sol calculées par la méthode des éléments finis peuvent dépendre du modèle constitutif du sol adopté.

### V.1. Exemple de Carruba et al

Dans cet exemple, nous allons analyser numériquement la réponse d'un pieu de 1,2 m de diamètre et 22 m de longueur. La force totale agissant sur le pieu pendant le mouvement de la couche instable, a été évaluée d'une charge  $P$  équivalente de 862,49 KN appliquée à la profondeur 7,5 m (au lieu de 9,5 m), qui est juste au-dessus de la surface de la couche de transition. Dans Plaxis 2D, seulement la profondeur de 7.5 à 22 m où la charge  $P$  est appliquée a été modélisée. Les

caractéristiques du sol et du pieu sont données dans le "tableau 2".

Tableau 2: Données du problème

Matériau	Paramètre	Valeur
Argile (Modèle Mohr-Coulomb)	Module d'Young $E$	15 MPa
	Coefficient de poisson	0.35
	Cohésion $C_u$	30 KPa
	Poids volumique	20 KN/m <sup>3</sup>
Pieu (Modèle élastique)	Module d'Young $E$	20E3 MPa
	Coefficient de poisson	0.15
	Poids volumique	24 KN/m <sup>3</sup>
	Rigidité normale $EA$	$2.4 \times 10^7$ KN/m
	Rigidité de flexion $EI$	$2.88 \times 10^6$ KNm <sup>2</sup> /m
Interface (Modèle Mohr-Coulomb)	Angle de frottement	0°
	Coefficient de poisson	0.35
	Cohésion $C_u$	30 KPa

La figure 10a et b présente la géométrie et le maillage du pieu en condition de déformation plane avec application d'une charge latérale à la tête du pieu.

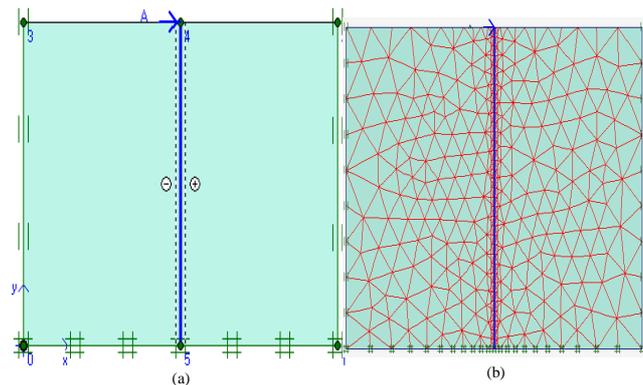


Figure 10: Géométrie et maillage du système pieu-sol en déformation plane

Le maillage déformé après la modélisation du système pieu-sol est montré dans la figure ci-dessous (fig.11).

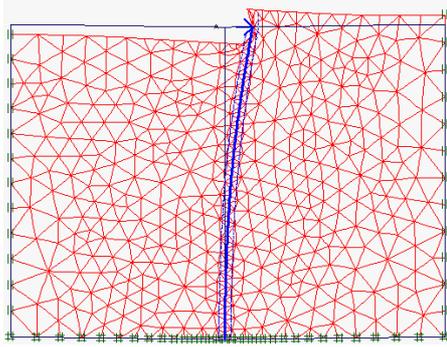


Figure 11: Millage déformé du pieu sous charge latérale

La déflexion du pieu est montrée sur la figure 12 où un soulèvement du sol est observé en face du pieu dû à la déflexion à la tête du pieu.

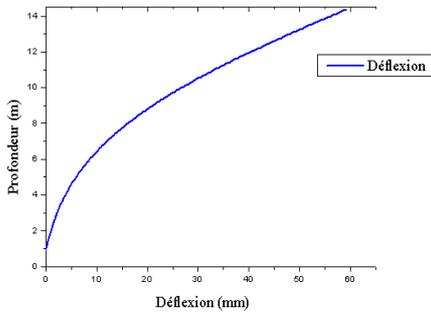


Figure 12: Profil de déflexion du pieu

A partir de la figure 13, on peut remarquer une bonne concordance du moment de flexion maximum bien que la modélisation tend à surestimer légèrement le moment.

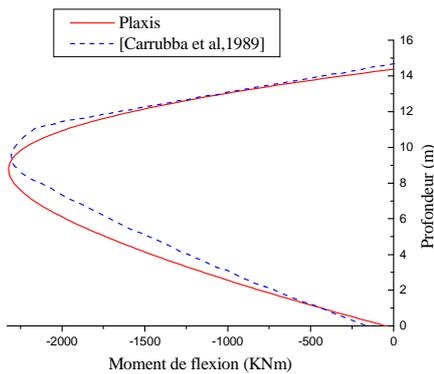


Figure 13: Comparaison du profil du moment de flexion

En comparant le profil de l'effort tangentiel, une allure satisfaisante a été observée à partir de la figure 14.

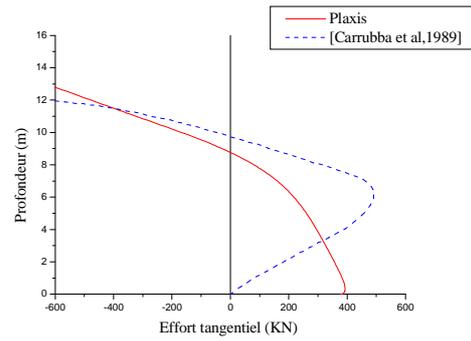


Figure 14: Comparaison du profil de l'effort tangentiel

On présente ci-dessous (fig.15a et b) les courbes de réaction du sol obtenues par Plaxis comparées avec celles calculées par la formule de Brinch Hansen [9] :

$$q = K_q \sigma_v + K_c C \quad (4) \text{ Où}$$

$q$  : la réaction latérale du sol;  $K_q$  et  $K_c$ : coefficients de réaction du sol de Hansen sont en fonction de l'angle de frottement interne du sol;  $\sigma_v$ : contrainte verticale; et  $C$ : cohésion.

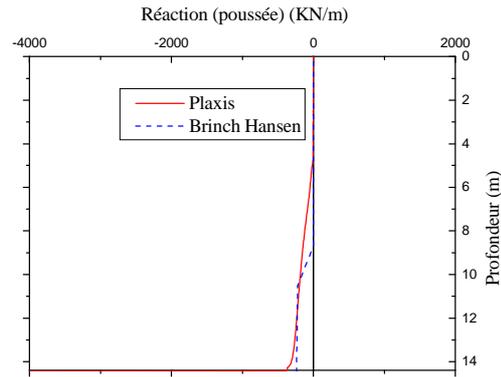


Figure 15a: Comparaison du diagramme de poussée du sol

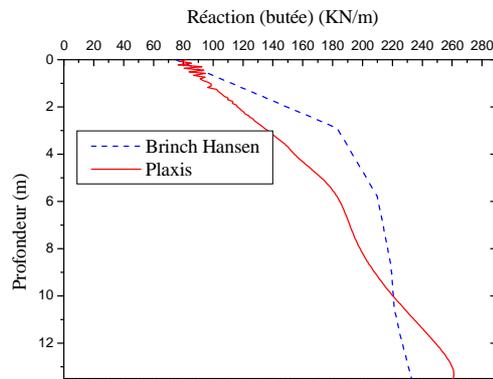


Figure 15b: Comparaison du diagramme de butée du sol

D'après les diagrammes de réaction latérale du sol, on peut remarquer des écarts importants entre les deux

résultats analytiques et numériques car les méthodes théoriques ne prennent pas en compte les efforts mobilisés sous la pointe.

## VI. Conclusion

Ce travail présente des résultats numériques et analytiques obtenus dans le cas non linéaire en déformation plane d'un pieu foré chargé latéralement. La méthode des éléments finis offre une meilleure alternative pour étudier la réponse des pieux sous charges latérales et due à des mouvements des sols. Cela, on peut le constater à partir des résultats qu'on a obtenu par la modélisation numérique en utilisant le logiciel Plaxis; puisque cette méthode reste un outil puissant très utilisé dans les problèmes de la géotechnique qui cherche à prévoir le comportement du système étudié. Le comportement des pieux sous charges latérales est un problème complexe d'interaction sol-pieu, à cause de la nature tridimensionnelle du phénomène et de sa dépendance de plusieurs paramètres clés. Malgré des progrès importants ont été réalisés dans le domaine de modélisation de ce problème, mais plusieurs points restent encore en suspens: les lois de comportement de l'interface entre un sol adhérent et un pieu, les lois de comportement des sols naturels, et la méconnaissance de l'état initiales des contraintes dans le sol avant la pénétration du pieu. On peut aussi remarquer que les méthodes empiriques utilisées pour le calcul des pieux sous charges latérales sont inopérantes. En effet, les études expérimentales réalisées dans de bonnes conditions permettent l'étude de ces problèmes complexes.

## Références

- [1] S.T Kok, B.K.H Bujang, "Numerical modeling of laterally loaded piles", American Journal of Applied Science, Vol. 5 (10), 2008, pp. 1403-1408.
- [2] H.G Poulos, L.T Chen, "Pile response due to unsupported excavation-induced lateral soil movement", Can. Geotech. J, Vol. 33, 1996, pp. 670-677.
- [3] P. Carrubba, M. Maugeri, "Esperienze in vera grandezza sul comportamento di di pali per la stabilizzaaione di un pendio", Proceeding of XVII Convegno Nazionale di Geotecnica, ASSN. Geotech. Italiana. 1, 1989, pp. 81-90.
- [4] W.D Guo, "On critical depth and lateral pile response", J.Geotech.Geoenviron. Eng, ASCE, 2002.
- [5] W.D Guo, "A simplified approach for piles due to soil movement ", Proceedings of 12<sup>th</sup> Pan American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Cambridge, MIT, USA.2, 2003, pp. 215-2220.
- [6] P. Mestat, M. Prat, "Ouvrages en interaction. Emploie des éléments finis en Génie Civil", AFPC, Hermes Science Publications, 1999.
- [7] D.M Potts, L. Zdraovkovic, "Finite element analysis in geotechnical engineering – theory", London, Thomas Telford, 1999, pp. 427.
- [8] Z. Khelifi, "Modélisation du comportement d'un pieu isolé sous charges latérales par un modèle de contact", mémoire de magistère, université de Béchar, 2010.
- [9] J. Brinch Hansen, "The ultimate resistance of rigid piles against transversal forces", Bulletin No. 12, Danish Geotechnical Institute, Copenhagen, Danmark, 1961, pp. 5-9.

---

## **Journal of Scientific Research**

**P.O.Box 417 route de Kenadsa**

**08000 Bechar - ALGERIA**

**Tel: +213 (0) 49 81 90 24**

**Fax: +213 (0) 49 81 52 44**

**Editorial mail: [jrs.bechar@gmail.com](mailto:jrs.bechar@gmail.com)**

**Submission mail: [submission.bechar@gmail.com](mailto:submission.bechar@gmail.com)**

**Web: <http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>**

---