HAL
open science

Modélisation numérique et analyse du comportement d'un écran de soutènement auto-stable avec fondation ancrée dans le sol soutenu

Aissa / Chogueur, Abdeldjalil Zadjaoui

To cite this version:

Aissa / Chogueur, Abdeldjalil Zadjaoui. Modélisation numérique et analyse du comportement d'un écran de soutènement auto-stable avec fondation ancrée dans le sol soutenu. Rencontres Universitaires de Génie Civil, May 2015, Bayonne, France. hal-01167618

HAL Id: hal-01167618

https://hal.science/hal-01167618

Submitted on 24 Jun 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Modélisation numérique et analyse du comportement d'un écran de soutènement autostable avec fondation ancrée dans le sol soutenu

Chogueur Aissa(1) ; Zadjaoui Abdeldjalil(1)

(1) Faculté de Technologie, Université de Tlemcen
Bp 230 rue Abi Ayad, 13000 Algérie
E-mail : most_chog@yahoo.fr

RÉSUMÉ. *L'objet du présent travail porte sur la modélisation numérique et l'analyse du comportement d'un écran de soutènement autostable du type paroi moulée en béton armé, fiché dans le sable par la méthode du coefficient de réaction à l'aide du logiciel K-Réa et par la méthode numérique aux éléments finis en utilisant le logiciel Plaxis 2D-v8.5. Pour les deux méthodes, on procède aux différentes simulations lorsque le sol soutenu est chargé d'une fondation.*

la pratique des deux méthodes, vise à étudier l'effet d'interaction écran– fondation par application des actions de surcharges variables en tenant compte de la distance aussi prise variable entre l'écran et la fondation. Concernant les calculs aux coefficients de réaction, les charges modélisées sont des types Boussinesq et Graux.

L'analyse des résultats se focalise sur la déformée de la paroi, les moments fléchissants, les déplacements horizontaux. Ainsi, ces résultats obtenus, sont confrontés à d'autres résultats expérimentaux (GAUDIN, 2002). Il ressort de cette étude comparative que les deux méthodes ensembles, ont correctement décrit le comportement de l'écran cependant l'interaction écran –fondation reste non convenablement explicite.

MOTS-CLÉS: *Comportement, autostable, coefficient de réaction, paroi moulée, interaction, fondation.*

SUMMARY*. The purpose of this work concerns numerical modeling and analyzes behaviour of a self- stabilizing retaining wall kind of diaphragm reinforced concrete, driven in sandy soil by the method of subgrade reaction using the K-Réa software and by the numerical method with the finite elements by using the software Plaxis 2D-v8.5. For the two methods, we proceed to various simulations when the supported soil is charged with a foundation.*

The practice of the two methods, aims at studying the effect of interaction wall/ foundation undergoing of the actions of variable overloads and taking the distance so variable between the wall and the foundation. Concerning calculations with the coefficients of reaction, the modeled loads are kinds of Boussinesq and Graux.

The analysis of the results is focused on the deformation of the wall, the bending moments, horizontal displacements. These results obtained, are confronted with other experimental results (GAUDIN, 2002). It comes out from this comparative study that the two methods have, correctly described the behaviour of the wall however the interaction wall/ foundation still is not suitably explicit.

KEY WORDS: *Behaviour, self-stabilizing, subgrade reaction, diaphragm wall, interaction, foundation.*

1. Introduction

L'objet du présent travail porte sur la modélisation numérique et l'analyse du comportement d'un écran de soutènement autostable du type paroi moulée en béton armé, fiché dans le sable (Fontainebleau) par la méthode du coefficient de réaction à l'aide du logiciel K-Réa –Terrasol et par la méthode numérique aux éléments finis en utilisant le logiciel Plaxis 2D-v8.5. Pour les deux méthodes, on procède aux différentes simulations et ce, lorsque l'écran est fiché dans le sol soutenu chargé d'une fondation subissant des actions de surcharges en tenant compte de l'effet d'interaction du sol - structures. Cette charge est prise variable de 50 kPa jusqu'à 300 kPa par un incriment de charge égal à 50 kPa avec distance prise variable entre l'écran et la fondation.

Pour la première méthode, on s'intéresse à l'analyse de l'influence du coefficient de réaction, la variation et le type de charge avec la distance d'application et ce, sans écarter l'effet de principaux facteurs pouvant affecter les mouvements du sol et la non-stabilité de l'écran de soutènement tels que le module de Young, la cohésion,

l'angle de frottement interne du sol et le phasage des travaux. Les coefficients de réaction sont calculés suivant la formule de Balay et les charges modélisées sont des types Boussinesq et Graux.

Concernant la méthode des éléments finis, le sol est homogène et sec, son comportement est décrit par une loi élasto-plastique du type Mohr Coulomb avec deux valeurs différentes de cohésion du sol c et un même angle de frottement interne φ, la paroi moulée et la fondation sont modélisées par élément « poutre » et les charges sont linéairement réparties. Les simulations sont à exécuter avec des maillages différents et des coefficients réducteurs de l'interface (sol-paroi) pris variables.

Pour les deux méthodes, l'analyse des résultats se focalise sur la déformée de la paroi, les moments fléchissants et les déplacements horizontaux. Ainsi, ces résultats obtenus, comparés entre eux-mêmes seront confrontés à d'autres résultats expérimentaux [Gau 02].

2 Pratique de la méthode aux calculs des coefficients de réaction

2.1 Données de propriétés du sol

Les paramètres initiaux de lancement des calculs aux coefficients de réaction sont ceux du sable de Fontainebleau [Gau 02]. Il s'agit d'un sable fin, siliceux et propre ayant les caractéristiques suivantes :

$$\gamma(\mathrm{kN/m^3}) = 16 \text{ ; } c\ (\mathrm{kPa}) = 2{,}60 \text{ ; } \varphi(°) = 39{,}40 \text{ et } E_M\ (\mathrm{MPa}) = 27{,}10.$$

2.2 Données de propriétés de la paroi moulée

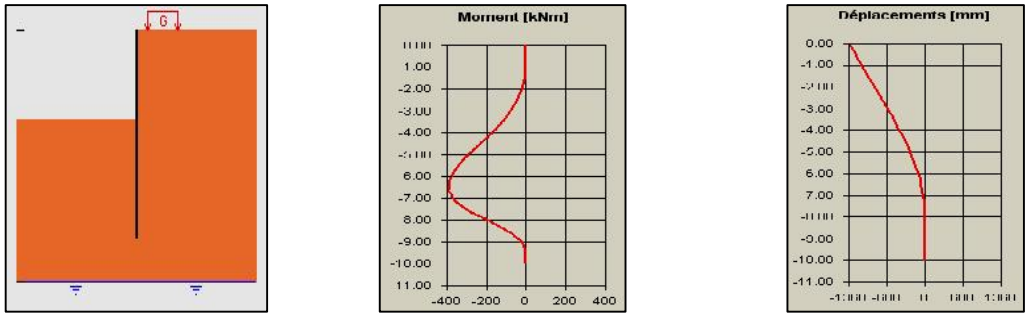
L'écran de type paroi moulée est d'une épaisseur équivalente de 0,152 m et de hauteur de 10 m avec un module de Young de béton qui vaut 22350 MPa, est utilisé dans cette étude.

2.3 Conception du modèle numérique

En utilisant le progiciel K-réa Terrasol, le sol est modélisé par trois tranches de couches ayant les mêmes paramètres intrinsèques en applicant les recommandations usuelles conseillés par Balay relatives au choix de la valeur du paramètre dimensionnel « a » [KRE 06]. Cependant, il est modélisé en une seule couche lorsqu'on applique les abaques de chadeisson. Le chargement du sol soutenu est simulé en faisant varier la charge de 50kPa jusqu'à 300kPa par un incriment de charge égal à 50kPa en tenant compte de la distance aussi prise variable entre l'écran et la fondation prenant pour valeurs :0,00 ;0,75 ;1.50 ;2,50 et 4,00m. Ainsi , ces charges modélisées sont des types Boussinesq et Graux. S'agissant de l'utilisation de deux coefficients de réaction différents, l'un est calculé suivant la formule de Balay et l'autre est estimé par les abaques de chadeisson, il en résulte alors 4 types de charges notés respectivement : *Bous1*, *Graux1*, *Bous2 et Graux2*. Dans le présent travail et à titre de présentation, on s'intéresse au cas du sol soutenu chargé à une distance de x=0,75m .

2.4 Résultats des calculs numériques

Les deux figures 1 et 2 présentées ci-dessous, montrent les modèles numériques par type de chargement et les résultats de calculs traduits par les profils de moments de flexion et le déplacement maximum :

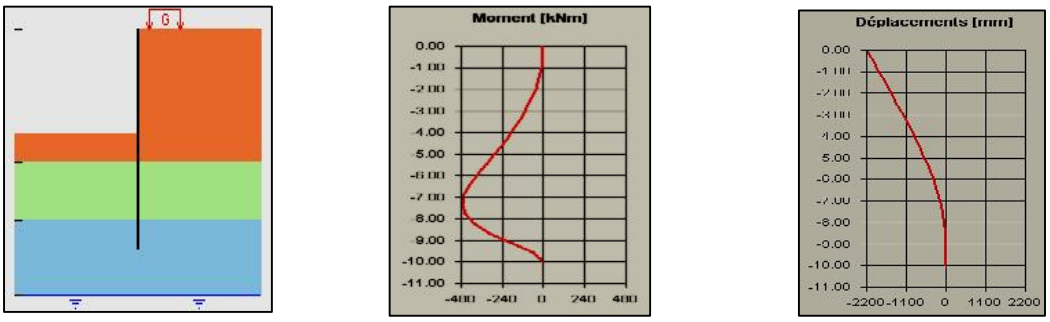


a- Type de charge (q=300kPa) : Graux avec abaques de Chadeisson

b- *Profils de moment maximal*

c- *Profil de déplacement horizontal maximal*

Figure 1. *Profils de moment de flexion maxiamal et déplacement horizontal maxiamal Sol* soutenu chargé à *X=0,75m de la paroi*



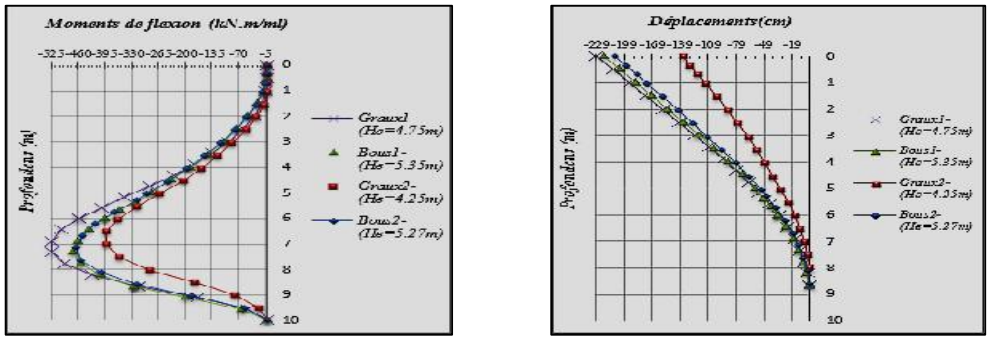
a- Type de charge (q=300kPa) : Boussinesq avec formule de Balay

b- *Profils de moment maximal*

c- *Profil de déplacement horizontal maximal*

Figure 2. *Profils de moment de flexion maxiamal et déplacement horizontal maxiamal Sol* soutenu chargé à *X=0,75m de la paroi*

En conséquence, l'influence des coefficients de réaction et les types de chargement sur les résultats de calculs, est traduite par les profils de moments de flexion et les déplacemnts horizontaux montrés par la figure 3 ci-dessous:

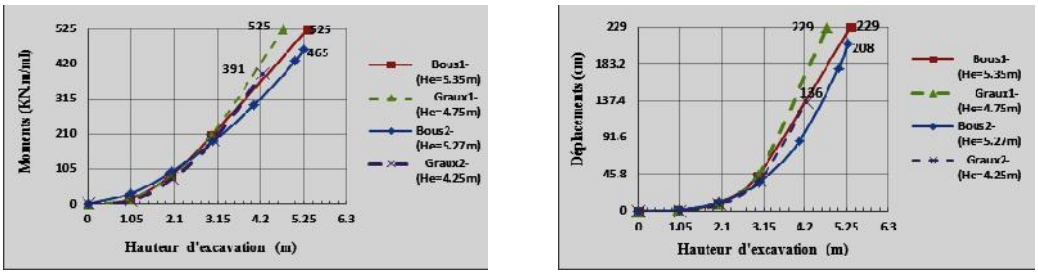


a)-Profils des moments de flexion *b)-Profils de déplacements horizontaux*

Figure 3. *Influence du coefficient de réaction et le type de charges sur les moments de flexion (a) et les déplacemnts (b)- Cas de sol soutenu chargé de q=300 kPa à X=0,75m.*

Avec **:**

- **Bous1** : Charge type de Boussinesq et calcul avec K_h selon la formule de Balay.
- **Graux1**: Charge type de Graux et calcul avec K_h selon la formule de Balay.
- **Bous2** : Charge type Boussinesq et calcul avec K_h selon les abaques de chadeisson.
- **Graux2**: Charge type Graux et calcul avec K_h selon les abaques de chadeisson.



a- *Profils de* ***moments de flexion*** ***b-*** *Profils de* ***déplacements*** *horizontaux*

Figure 4. *Profils de moments de flexion et de déplacements horizontaux maximum par hauteur d'excavation maximale, Sol soutenu chargé à X=0,75m avec q=300kPa.*

2.5 Interprétation des résultats et commentaires

Il résulte de l'interprétation des graphes sus-cités ce qui suit :

1/- Le comportement de l'écran est retranscrit et il est globalement conforme à celui montré par les essais expérimentaux et aux théories admises.

2/- Les hauteurs d'excavation limites obtenus pour les 4 types de surcharges sont diffèrentes à celles des essais expérimentaux.

3/- L'ensemble des 4 types de charges ont donné des moments de flexion et des déplacements fortement surestimés et par conséqent ils ne traduisent pas correctement l'interaction sol-écran et la fondation.

4/- On observe que la surcharge de type *Graux1* a donné de plus grandes valeurs et en revanche la surcharge du type *Graux2* a donné de faibles valeurs tandis que les deux autres surchrages *Bous1* et *Bous2* ont donné des valeurs de moments de flexion et de déplacements très rapprochées– figures 3a et 3b, On constate aussi que l'écran a préservé presque le même comportement sous l'effet des deux surcharges *Bous1* et *Bous2* (Allures des profils rapprochées), ceci est rendu aux pressions résultantes moins fortes. L'écart entre les deux moments de flexion maximaux correspondants (525kN.m/ml, 465kN.m/ml) est de 13% et pour les déplacementss (229cm,208cm), l'écart est de 10%. Cependant, sous l'effet des deux surcharges *Graux1*et *Graux2*, l'écart entre les deux déplacements (139cm et 229cm) est de 65% quand pour les deux moments de flexion maximaux, l'écart est estimé à 33%. On distingue alors que l'écran a subi des pressions importantes en pied de l'écran dûes à l'action de cette dernière surcharge et par conséquent il avait un comportement différent.

5/- La surchrage Boussinesq a estimé des hauteurs d'excavation limites presque analogues (5,35m et 5,27m) pour les deux types respectivement *Bous1 et Bous2*. La situation est de paraeil cas pour la surcharge de *Graux* qui a donné des hauteurs d'excavation limites (4,75m et 4,25m) relatives respectivement aux deux types *Graux1* et *Graux2*. On distingue ici que le coefficient de réaction caluclé par la formule de *Balay* surestime légèrement les valeurs résultantes.

En effet, les deux types de surcharges ont fortement surestimé les valeurs obtenues des moments de flexion et des déplacements horizontaux, l'influence du coefficient de réaction a été observée sur ces résultats relatifs à la surcharge de Graux et elle est de moindre incidence dans le cas de la surcharge de Boussinesq.

3. Pratique de la méthode des éléments finis

3.1 Conception du modèle numérique

Dans le cadre d'une étude de modélisation et d'analyse du comportement d'un écran de soutènement autostable en présence d'une fondation chargée à des distances variables par rapport à la paroi, nous avons procédé à de multiples simulations via le logiciel Plaxis2D-V8.5. Les dimensions géométriques optées pour la conception du modèle numérique sont celles conseillées pour la modélisation d'une excavation non soutenue en déformation plane avec les grandeurs maximales [WIL 08]. Le sol est modélisé par la loi de comportement de Mohr-Coulomb, la paroi moulée de hauteur de 10 m et la fondation de dimensions (2.2x2.0) mxm, sont modélisées par l'élément « poutre ». On a utilisé quatre types de maillage pour s'assurer de la reproductibilité et de la convergence des résultats. Les conditions aux limites appliquées sont gérées automatiquement selon l'option par défaut. Les calculs sont exécutés par phase d'excavation pour une hauteur de 1m sauf pour les deux et/ou les trois dernières phases selon le cas simulé, Cette hauteur est fixée selon la convergence des calculs ou selon la hauteur d'excavation souhaitée.

Il est à noter que deux valeurs distinctes de la cohésion du sol c (0 kPa et 2,30 kPa) ont été considérées dans les simulations conditionnées par le coefficient réducteur d'interaction sol-structure noté R_{inter} et prenant pour valeurs respectivement 0,80 ; 0,88 et 1,0. Dans ce qui suit, seuls les résultats correspondants au cas d'une fondation chargée à une distance X=0.75m de la paroi, sont présentés.

3.2 Données de propriétés du sol

Le sol est constitué d'une seule couche de sable de Fontainebleau, le modèle de comportement est celui de Mohr Coulomb. Les paramètres E_{ref}, c_{ref}, ψ et R_{inter}sont variables selon le cas simulé comme il est indiqué dans le tableau suivant :

Tableau 1. Propriétés des couches de sol et des interfaces

E_{ref} (MPa)	ν	c_{ref} (kPa)	φ (°)	Ψ (°)	R_{inter}
10 ou 75	0,275	0 ou 2,60	39,40	16,70	0,80 ou 0,88 ou 1,00

3.3 Données de propriétés de la paroi moulée

Les propriétés de la paroi moulée en béton armé sont comme suivant :

$E_{\mathbf{béton}}$ (MPa) = 22350 ; d (m) = 0,152 ; ν = 0,30 ; h (m) = 10

3.4 Données de propriétés de la fondation

Les propriétés de la fondation en béton armé sont comme suivant :

$E_{\mathbf{béton}}$ (MPa) = 50000 ; ν = 0,30 ; h (m) = 2 ; l (m) = 2,20.

3.5 Différents types de maillage utilisés dans les calculs

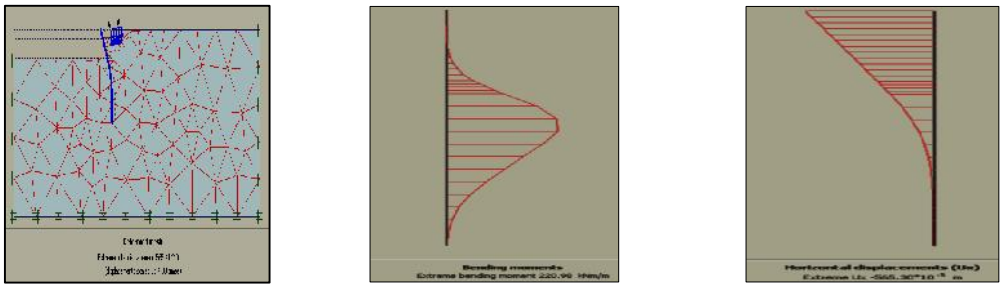
Le logiciel Plaxis2D v8.5 permet à l'utilisateur de choisir le maillage via le menu arborescent, il peut être un maillage individuel ou combiné. Pour notre cas, nous avons opté pour les maillages détaillés suivant le tableau 3 ci-dessous :

Tableau 2. Type de maillage opté pour les calculs

Ordre de maillage	Type de maillage	Nombre d'éléments	Nombre de noeuds
Maillage1	Coarse	233	2019
Maillage2	Medium	383	3255
Maillage2	Fine	699	5835
Maillage4	Fine+refine cluster +refine line	2920	23933

3.6 Cas d'une fondation chargée à une distance de 0,75m de l'écran

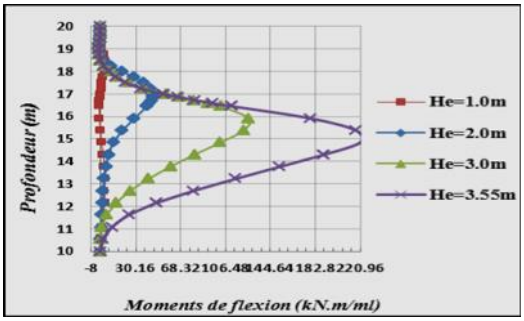
La modélisation de l'écran de soutènement avec présence de fondation chargée et située à une distance de 0,75m de la paroi, porte sur l'utilisation des mêmes propriétés de la paroi moulée et de la fondation données ci- dessus quand la surcharge est prise égale à 300kPa. Les phases d'exécution sont modélisées par 4 couches, les trois premières couches ont une épaisseur de 1m pour chacune quand la hauteur d'excavation maxiamle vérifiée correspond à celle estimée expérimentalement et qui vaut 3,55m. Les mêmes paramètres du sol sont aussi utilisés avec cohésion du sol c=2,60kPa. Le coefficient réducteur R_{inter} est pris égal à 0,88 ce qui correspond à un contact non frottant. La figure 5 ci-après montre le modèle numérique et les profils de moment et de déplacement horizontal maximums :

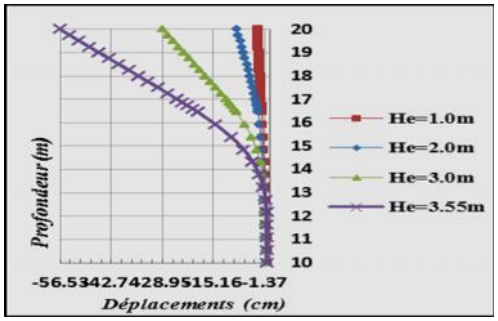


a- *Maillage déformé* **b-** *Profils des moment de flexion maximal* **c-** *Profil de déplacement horizontal maximal*

Figure 5. *Profils de moment maximal et de déplacement horizontal maximal à la 4ème Phase - He=3,55m ;c=2,60kPa et R_{inter}=0,88 - « écran avce fondation chargée à X=0,75m ».*

Par conséquence, les profils de moments de flexion et de déplacements horizontaux maximaux au cours de l'excavation sont illustrés par la figure 6 suivante:





a-*Profils des moments de flexion* ***b-*** *Profils de déplacements horizontaux*

Figure 6. *Profils de moments de flexion et de déplacements horizontaux par hauteur (c=2,60kPa et R_{inter}=0 ,88) – « écran avec fondation chargée à X=0,75m».*

3.6.1 Interprétations des résultats et commentaires

La présence de la fondation ne modifie pas le comportement général de l'ouvrage et les performances de la modélisation numérique. Il apparaît ainsi que :

1/- Les résultats des calculs montrent une surestimation des déplacements horizontaux en tête de l'écran de 26% et des moments maximaux dans la paroi de 223% lorsque la fondation est proche de la paroi (X ≤ 0,75m). Bien que la hauteur d'excavation maximale expérimentale (He=3,55m), soit correctement estimée par le calcul, elle est cependant légèrement surestimée.

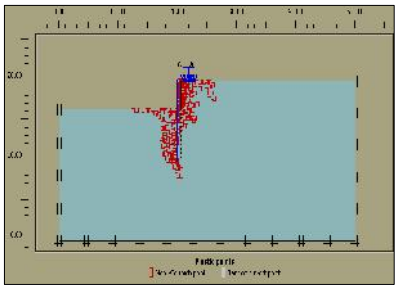


Figure 7. *Zone de plastification du sol au voisinage de la paroi à la 4ème phase 04-(He=3,55m).*

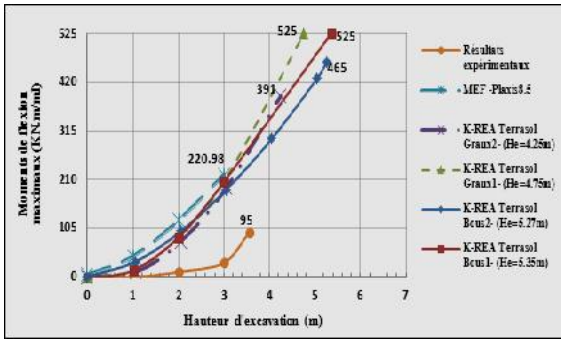
2/- L'interaction entre la paroi et la fondation est également correctement estimée et traduite par l'évolution des déplacements en tête et des moments maximaux en fonction de la distance entre la paroi et la fondation.

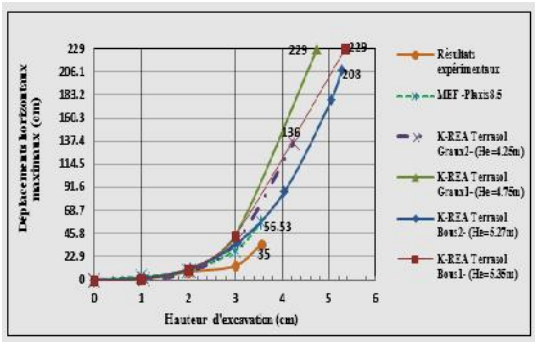
3/- Les résultats numériques montrent un accroissement des déplacements horizontaux en tête de la paroi et des moments de flexion maximaux tant pour la distance X=0,75m que pour la distance X=1,50m. Ce résultat laisse supposer que la répartition des contraintes sous la fondation, dues au chargement de celle-ci, est correctement modélisée.

En conclusion, Lorsque la fondation est chargée avant excavation, le chargement engendre la plastification du sol au voisinage de la paroi- figure 7 et diminue ainsi l'importance de la réponse élastique du modèle. En outre, le comportement de l'ouvrage et de la fondation en utilisant une interface sol-paroi lisse (R_{inter}=0,88), est alors correctement estimé par le modèle de Mohr-Coulomb néanmoins la surestimation des valeurs correspondantes aux moments de flexion et aux déplacements horizontaux devra être soumise à un tel coefficient réducteur afin d'évaluer correctement le taux de surestimation admissible.

4 Confrontations des résultats expérimentaux avec les calculs numériques

La confrontation des résultats numériques aux resultats expérimentaux nous a permis de comparer les performances de chacune des deux méthodes (Calcul aux coefficients de réaction et méthode des éléments finis) et de préciser leurs limites. Pour se faire, les différents profils de moments de flexion et de déplacements maximaux resultants des deux méthodes sont regroupés et présentés par la figure 8 suivante:





a- Evolution de moments de flexion maximaux *b- Evolution de déplacements horizontaux maximaux*

Figure 8. *Comparaison des résultats expérimentaux avec les calculs numériques -« écran avec fondation »-*

5. Conclusion

Il ressort de la présente étude de modélisation et d'analyse du comportement de l'écran que les deux méthodes ont permis de définir correctement le comportement de l'écran de soutènement conformément aux modèles théorique et expérimental, cependant elles n'ont pas parvenu à traduire correctement l'interaction écran –fondation vis-à-vis les résultats expérimentaux du moment que les valeurs relatives aux moments de flexion et des déplacements demeurent fortement surestimées et incohérentes entre eux en relation avec le type de chargement, le coefficient de réaction et d'une méthode à l'autre.

6. Références bibliographiques

[CHO 13] CHOGUEUR A., *Modélisation numérique et analyse du comportement d'un écran de soutènement – Cas de l'interaction écran-fondation- Mémoire de magistère, 2013,* Université d'Abou Bakr Belkaid -Tlemcen, Algérie.

[DEL 01] DELATTRE LUC., *Un siècle de méthodes de calcul d'écrans de soutènement: I. L'approche par le calcul – les méthodes classiques et la méthode au coefficient de réaction*, Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées n°234, 2001, pp.35-55.

[GAU 02] GAUDIN CHRISTOPHE., Modélisation physique et numérique d'un écran de soutènement autostable, application à l'étude de l'interaction écran-fondation - Thèse de doctorat, 2 0 0 2 , Ecole centrale de Nantes, France.

[KRE 06] K-REA TERRASOL., Manuel d'utilisation 2004, Edition 2006.

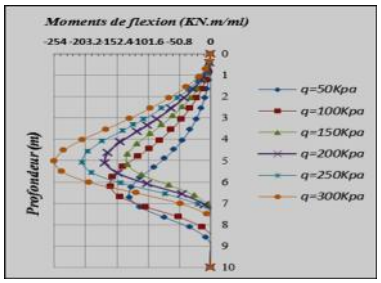
[MON 94] MONNET A., *Module de réaction, coefficient de décompression, au sujet des paramètres utilisés dans la méthode de calcul élasto-plastique des soutènements, 1994*, Revue française de Géotechnique N° 67-1er trimestre.

[OLI 01] OLIVIER COMBARIEU., YVES CANÉPA., *l'essai cyclique au pressiomètre*, Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées, 2001, Réf.4381-PP.37-65.

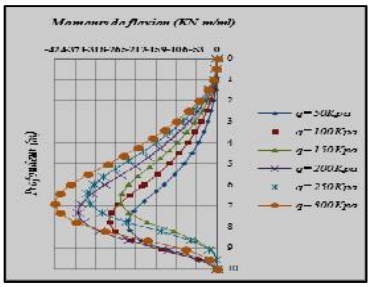
[PLA 08] PLAXIS2D., Manuel de référence, Version8.

[WIL 08] WILLIAM CHEANG., *Acknowledgement, and Part1: Geometry space, boundaries and meshing –Part2: Initial stresses and Phi-c reduction,* 2008, Plaxis seminar-Vietnam.

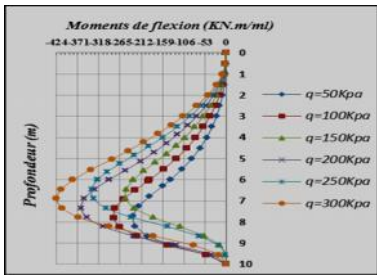
ANNEXES, *[CHO 13]*



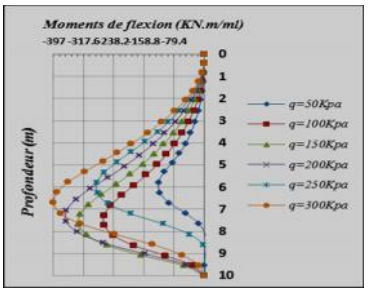
a- *Charge type* ***Bous1*** *à X=0.00m*



b- *Charge type* ***Bous2*** *à X=0.00m*

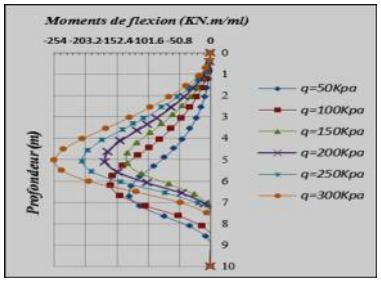


c- *Charge type* ***Bous1*** *à X=0.75m*

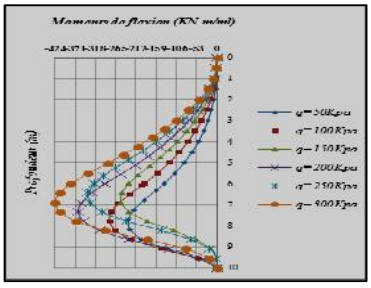


d- *Charge type* ***Bous2*** *à X=0.75m*

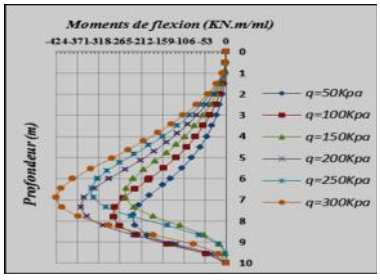
Figure A 4.13- *Profils de moments de flexion relatifs à la variation de la charge en type et en valeurs, appliquée à* ***X*** *de la paroi et correspondant à la dernière phase-*- Ecran + Fondation -**



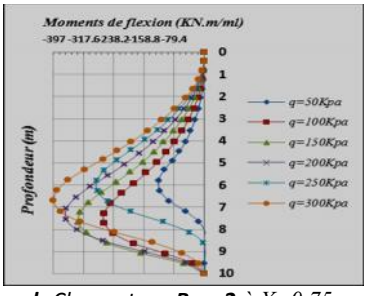
a- *Charge type* ***Bous1*** *à X=0.00m*



b- *Charge type* ***Bous2*** *à X=0.00m*



c- *Charge type* ***Bous1*** *à X=0.75m*



d- *Charge type* ***Bous2*** *à X=0.75m*

Figure A 4.13- *Profils de moments de flexion relatifs à la variation de la charge en type et en valeurs, appliquée à* ***X*** *de la paroi et correspondant à la dernière phase-*- Ecran + Fondation -**

ANNEXES, *[CHO 13]*

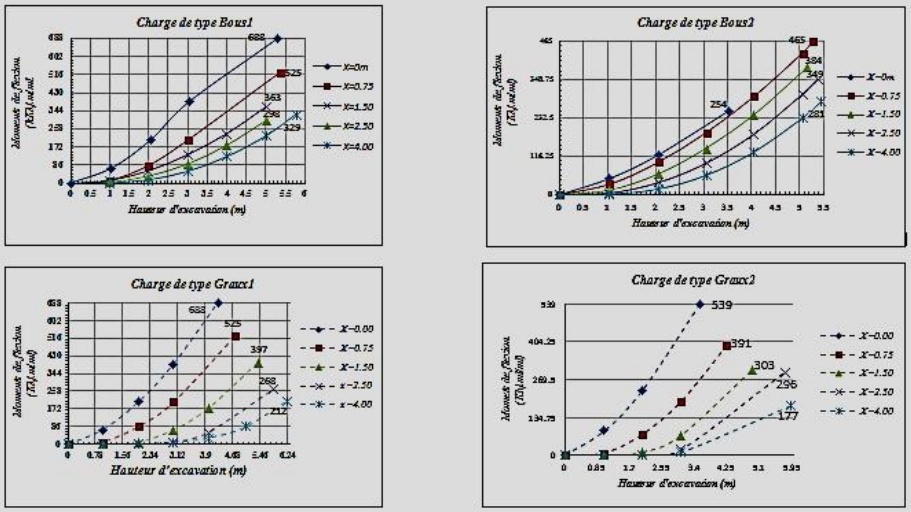


Figure A 4.8- *Evolution des moments de flexion au cours de l'excavation par type de charge.*

–Cas de q=300kPa à distance X de la paroi n°01--Ecran + Fondation -**

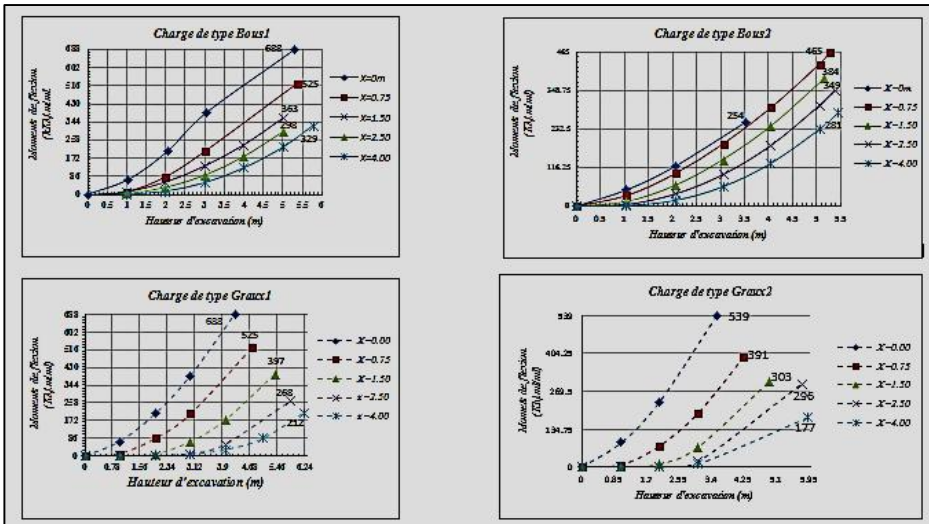


Figure A 4.8- *Evolution des moments de flexion au cours de l'excavation par type de charge.*

–Cas de q=300kPa à distance X de la paroi n°01--Ecran + Fondation -**

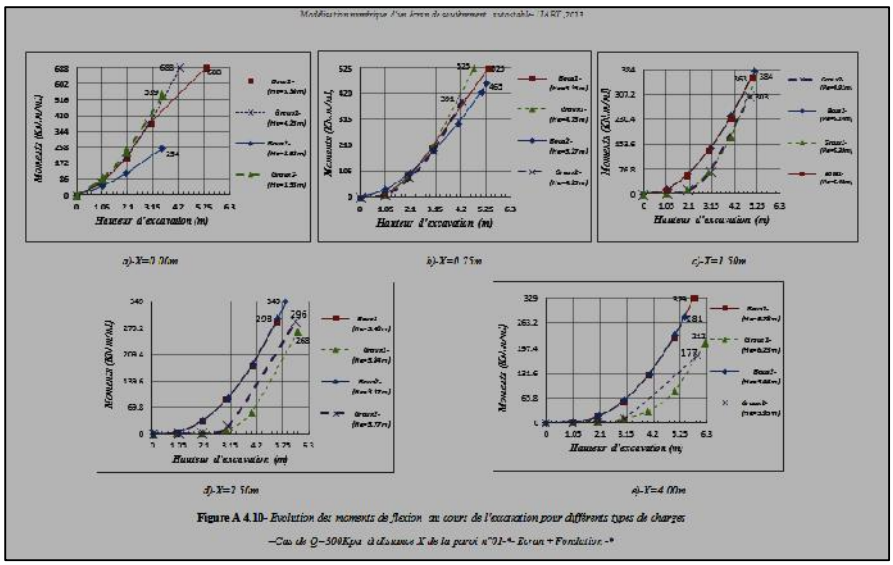


Figure A 4.10- *Evolution des moments de flexion au cours de l'excavation pour différents types de charges*

–Cas de Q=300Kpa à distance X de la paroi n°01-- Ecran + Fondation -**

ANNEXES, *[CHO 13]*

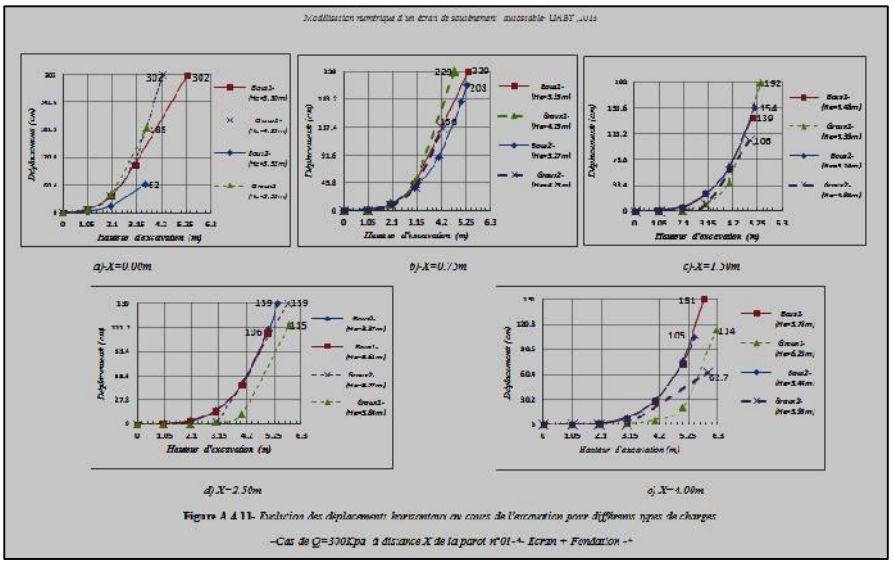


Figure A 4.11- *Evolution des déplacements horizontaux au cours de l'excavation pour différents types de charges*

-Cas de Q=300Kpa à distance X de la paroi n°01-A- Ecran + Fondation -