Modélisation numérique de l'ordre de construction des tunnels sur le comportement du sol et des structures en surface : cas des tunnels parallèles inclinés

D.TABBAL[a], F.HAGE CHEHADE[b]

a. Ecole Doctorale des Sciences et de Technologie - Université Libanaise, Beyrouth, Liban.
b. Université Libanaise – Institut Universitaire de Technologie Saida; Centre de Modélisation, PRASE, EDST Beyrouth – Liban

Résumé :

On étudie l'effet de l'ordre de construction des tunnels dans le cas de deux tunnels parallèles inclinés à faible profondeur sur le comportement du sol et des structures en surface. On effectue une étude paramétrique portant sur l'effet de la distance entre les tunnels, de la position de la structure par rapport aux tunnels. La modélisation numérique est effectuée respectivement dans les espaces bi-et tri-dimensionnel. L'étude est réalisée d'abord en champ libre puis en présence d'une structure en surface. Des recommandations seront données pour minimiser les conséquences obtenues.

Abstract :

In this paper, we present the interaction between two shallow tunnels with inclined alignment. Studies were generated in 2D and 3D numerical modeling based on the finite elements method.

The study was realized, initially, in open field then with a structure on surface. In each case, we present a parametric study according to the distance between tunnels, the order of construction of tunnels and the position of structure. Some recommendations will be given to limit the impact of the construction of tunnels on soil deformation and surrounding structures.

Mots clefs: interaction, tunnel, sol, structure, déformation, ordre de construction, bidimensionnel, tridimensionnel.

1 Problématique : But et objectifs

Le sujet traité s'inscrit dans un cadre de géotechnique urbaine où on peut être amené à construire plusieurs tunnels parfois dans un terrain meuble de faibles caractéristiques mécaniques. Pour plusieurs raisons, les tunnels peuvent se trouver très proches et aussi ils peuvent prendre une configuration quelconque.

La construction de ces tunnels peut affecter le sol et les structures existantes en surface. En fait, le creusement des tunnels à faible profondeur peut induire des mouvements de terrain qui sont susceptibles de provoquer des déformations et dans des cas extrêmes des dégâts importants aux structures en surface.

L'ordre de construction (creusement du tunnel et mise en place du revêtement du tunnel) peut influer les résultats obtenus.

Dans ce contexte, on s'intéresse à analyser l'interaction à faible profondeur entre deux tunnels parallèles inclinés dans le but de donner des recommandations pour limiter les conséquences sur la déformation du sol et sur les structures avoisinantes.

La modélisation de ce phénomène sera effectuée respectivement dans les espaces bidimensionnels et tridimensionnels basée sur la méthode des éléments finis avec un comportement non linéaire du sol.

L'étude est réalisée d'abord en champ libre puis en présence d'une structure en surface. Les études paramétriques porteront sur l'effet de la distance entre les tunnels, de l'ordre de construction des tunnels et de la position de la structure par rapport aux tunnels.

2 Modélisation numérique en champ libre

2.1 Géométrie du modèle

Les tunnels ont une section circulaire de diamètre égal à 7.5 m. Les centres des tunnels se trouvent à 2.5D en dessous de la surface du sol (D étant le diamètre du tunnel).

La géométrie du modèle utilisé et les dimensions du domaine sont représentées sur la figure 1.

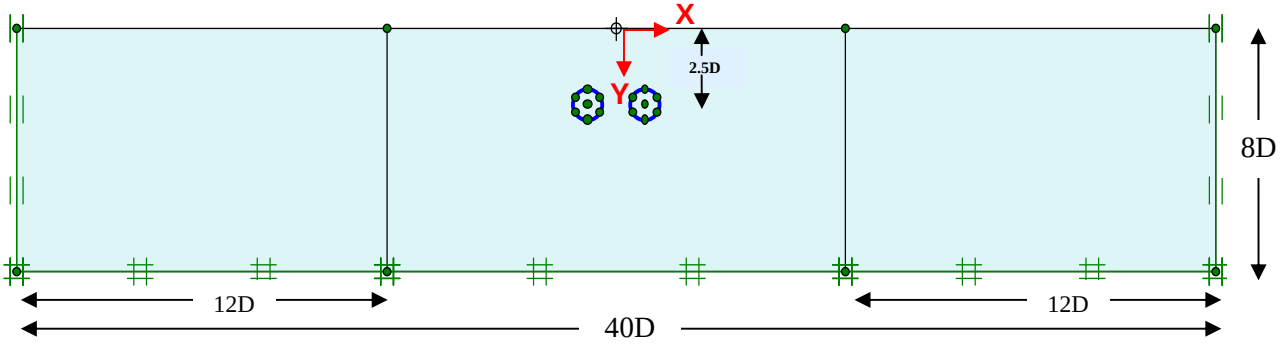

FIG. 1 – Géométrie du modèle

2.2 Modélisation numérique

La modélisation numérique est effectuée avec la méthode des éléments finis [1] en utilisant le logiciel PLAXIS.

Dans le cas de la modélisation numérique bidimensionnelle (2d), on adoptera des éléments triangulaires à 6 nœuds et pour la modélisation numérique tridimensionnelle (3d), on adoptera des éléments à 15 nœuds.

Une comparaison sera ensuite faite entre les résultats de ces deux types de modélisation pour illustrer la limitation de la modélisation bidimensionnelle.

2.3 Etapes du chargement

Le comportement du sol est prédit avec le modèle élastique parfaitement plastique non associé de Mohr-Coulomb [2].

La construction des tunnels se fait en quatre phases de la manière suivante :

- **Phase 1:** Excavation du premier tunnel
- **Phase 2:** Revêtement du premier tunnel.
- **Phase 3:** Excavation du deuxième tunnel.
- **Phase 4:** Revêtement du deuxième tunnel

2.4 Modélisation numérique : Résultats obtenus

Deux configurations ont été modélisées avec des distances horizontales (Sx) entre les axes des tunnels respectivement égales à 2D et 2.5D. La distance verticale (Sy) est la même dans les deux cas et elle est égale à 2D. L'ordre de creusement des tunnels a été également investigué.

Ainsi, deux cas on été distingués : le premier consiste à construire le tunnel supérieur et ensuite le tunnel inférieur (cas de référence). Le second cas consiste à creuser le tunnel inférieur en premier et ensuite le tunnel supérieur (cas inverse).

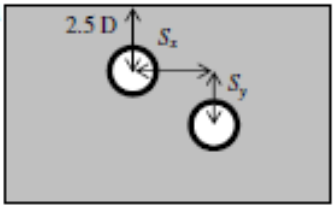

FIG. 2 – Configuration des tunnels parallèles inclinés

Les profils du tassement en surface du sol et du moment sont donnés sur les figures 3, 4 et 5.

On constate que le tassement a la surface du sol diminue lorsque la distance entre les centres des tunnels augmente (figure 3).

Une comparaison entre les résultats fournis par un calcul (2d) et un calcul (3d) montre des valeurs très proches. Donc, on peut se contenter d'un calcul bidimensionnel seulement.

L'analyse des résultats montre que la construction du tunnel inférieur en premier conduit à un tassement plus important en surface et à un moment plus important dans le revêtement du tunnel inférieur (figure 4 et 5).

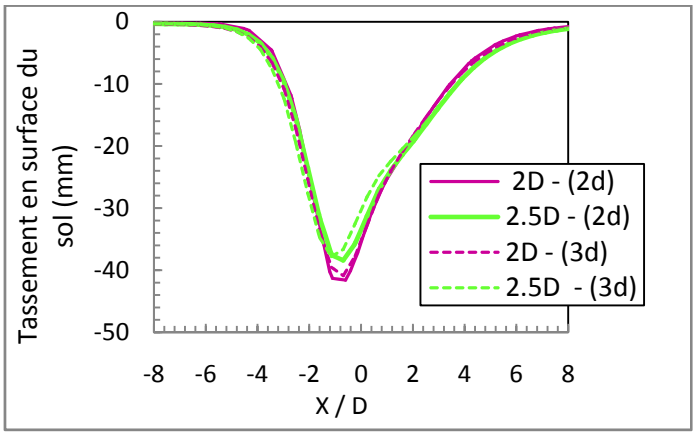

FIG. 3 – Effet de la distance sur le tassement en surface.

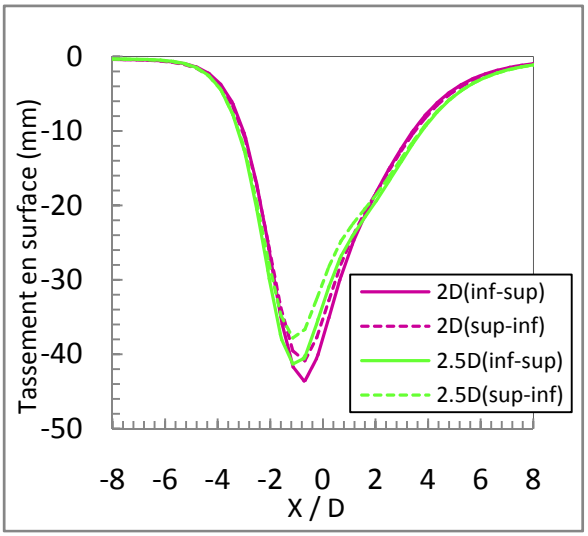

FIG. 4 – Effet de l'ordre de creusement des tunnels sur le tassement en surface (3d)

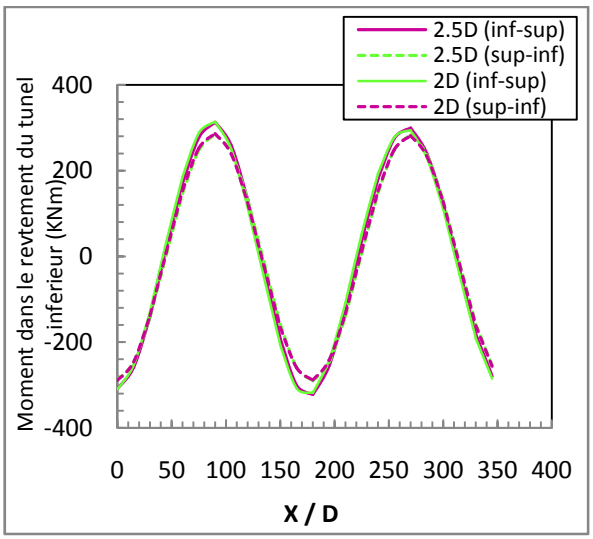

FIG. 5 – Effet de l'ordre de creusement sur le moment dans le revêtement du tunnel inférieur

3 Modélisation numérique en présence d'une structure en surface

3.1 Géométrie du modèle

La structure est représentée par un portique de 5m de largeur et de 4m de hauteur. Elle est soumise à un chargement uniforme de 14.5 KN/m^2 (figure 6).

Les figures 7 et 8 montrent la modélisation de ce phénomène dans les espaces bidimensionnels et tridimensionnels basée sur la méthode des éléments finis.

On cherche à étudier l'effet de la position de la structure et l'ordre de construction des tunnels sur le comportement de la structure en surface.

L'étude paramétrique portera sur l'effet de la distance entre les tunnels, de l'ordre de construction des tunnels et de la position de la structure sur le mouvement du sol et le comportement de la structure.

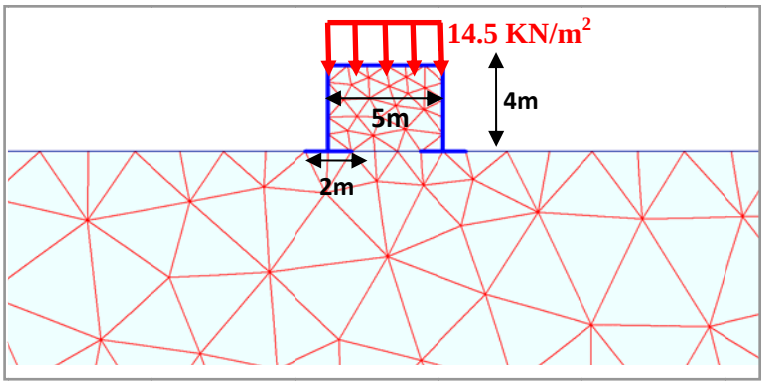

FIG. 6 – Structure présente à la surface du sol avant la réalisation des tunnels.

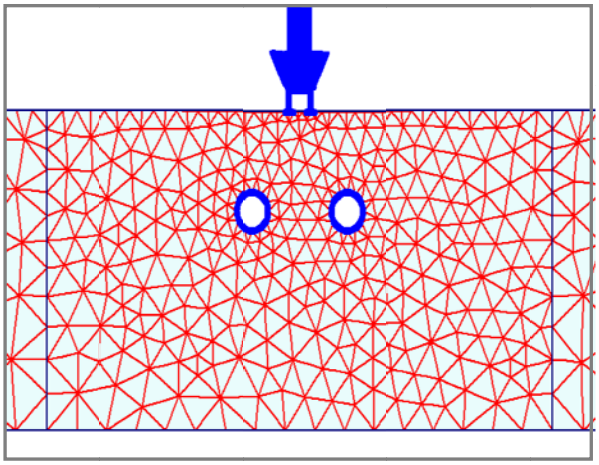

FIG. 7 – Modélisation bidimensionnelle.

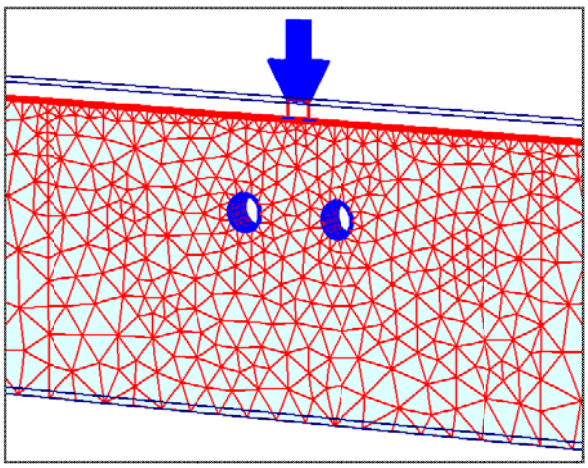

FIG. 8 – Modélisation tridimensionnelle.

3.2 Etapes du chargement

On suppose que la structure est en place et les tunnels sont construits après. Les étapes de construction des tunnels sont les mêmes que celles présentées dans le cas de la modélisation en champ libre.

3.3 Modélisation numérique : Résultats obtenus

Trois configurations ont été analysées. D'abord, la structure est centrée entre les deux tunnels puis l'axe de la structure confondu avec l'axe du tunnel gauche et enfin l'axe de la structure décalé d'une distance 'D' du tunnel gauche.

Les figures 9 à 11 présentent l'effet du positionnement de la structure et de l'ordre de construction des tunnels sur le moment dans la travée de la structure.

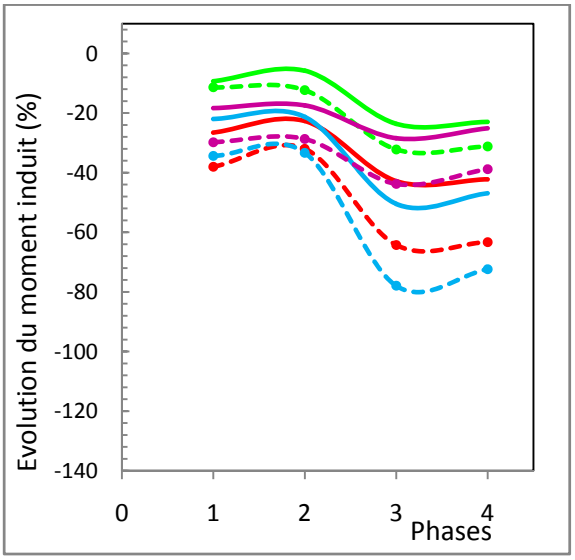

FIG. 9 – Moment induit dans la structure – Axe de la structure au centre entre les deux tunnels.

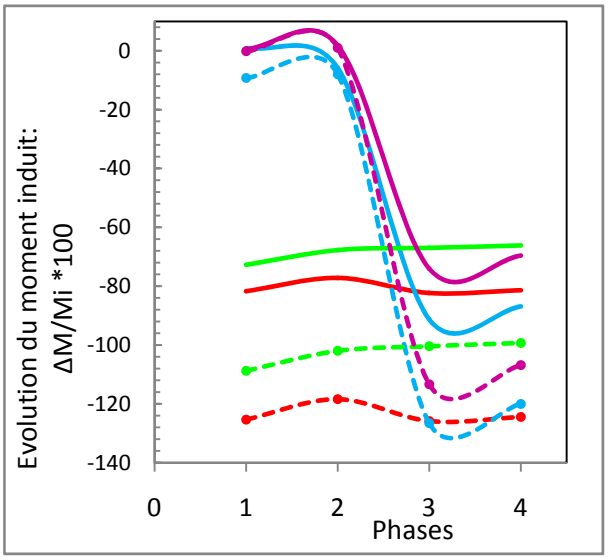

FIG.10 – Moment induit dans la structure – Axe de la structure confondu avec l'axe du tunnel gauche.

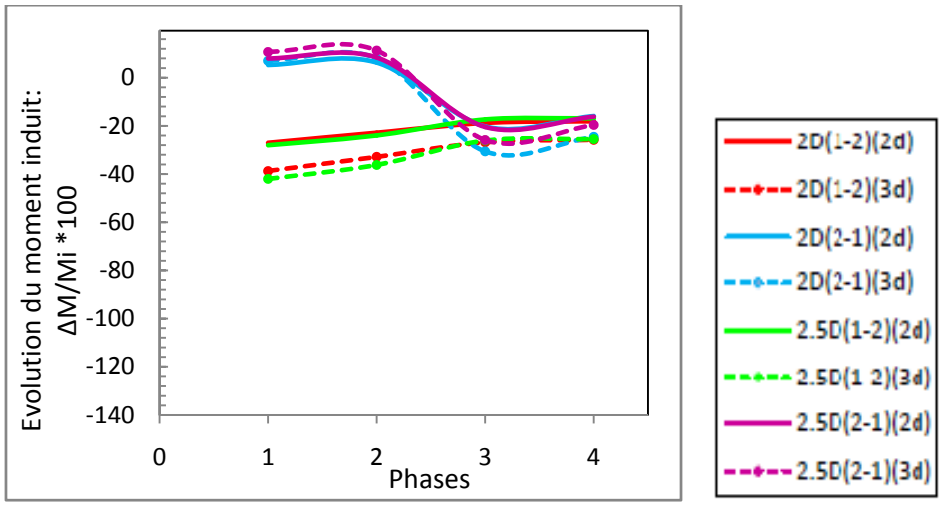

FIG. 11 – Moment induit dans la structure – Axe de la structure décalé d'une distance 'D' du centre du tunnel gauche.

Dans cette étude, les études paramétriques ont montré que le tassement puisse être affecté non seulement par la réalisation des tunnels mais aussi par l'ordre de construction de ces tunnels.

L'analyse des résultats montre que l'excavation du second tunnel engendre toujours l'impact et la variation les plus importants sur l'évolution du moment induit en travée de la structure.

Le cas le plus critique est constaté lorsque l'axe de la structure à la surface du sol est confondu avec l'axe du tunnel gauche et pour la plus petite distance entre les centres des tunnels (distance égale à 2D).

Pour l'effet de l'ordre de construction des tunnels, on retrouve la même tendance que celle prédite par la modélisation en champ libre. Il est conseillé donc, pour le cas des tunnels parallèles inclinés, de commencer par la construction du tunnel supérieur d'abord.

References

[1] Soliman E., Duddeck H. and Ahrens H., Two and three-dimensional analysis of closely spaced double-tube tunnels » Tunelling and Underground Space Technology, Vol 8, No. 1, pp.13- 18, 1993

[2] Mécanique des Roches et Travaux Souterrains, Sixième édition, Janvier 2010.