



Méthodes 3D simplifiées pour évaluer l'impact du boulonnage au front : REX du chantier du prolongement de la L11-GC03, Paris

D. ZAPATA FRANCO, J-P. JANIN, Terrasol, Lyon, France
 C. DANO, H. LE BISSONNAIS, Terrasol, Paris, France
 F. FALCONI, Spie batignolles, Neuilly-sur-Seine, France
 C. GERARDIN, RATP, Paris, France

Introduction
 Il existe différentes méthodes pour évaluer les tassements en surface générés par le creusement d'un tunnel. Parmi eux, la modélisation numérique 3D est la méthode qui permet de mieux prendre en compte le problème complexe qu'est le creusement d'un tunnel (géométrie, phasage, interaction les ouvrages existants...), et d'étudier l'effet des présoutènements. Cependant, les modélisations numériques 3D nécessitent un temps de préparation et de calcul importants. Par ailleurs, il existe également des méthodes permettant de simplifier la simulation du boulonnage au front (pression fictive par exemple) mais celles-ci tendent à surestimer l'effet positif du boulonnage.
 Des méthodes 3D simplifiées ont été développées dans le cadre d'une étude de retro-analyse sur le tunnel en traditionnel du prolongement de la ligne 11.

Contexte

La galerie du lot GC03 a été creusée à partir de deux attaques partant de l'ouvrage Calmette: vers l'Atelier Mairie Tunnel (AMT) et vers la future Station Serge Gainsbourg.

Le projet se situe sur le plateau de Romainville. Le creusement de la galerie côté AMT s'est effectué en front mixte dans les Argiles Vertes (AV) et les Marnes de Pantin (MP), avec les Marnes d'Argenteuil (MA) sous le radier.

Méthodologie de l'étude

- 1) Appropriation des données de chantier : phasage et calendrier des travaux, analyse des mesures d'auscultation, analyse des essais réalisés.
- 2) Calage des paramètres géotechniques sur les mesures enregistrées in situ par le biais d'une modélisation numérique 3D complète, simulant suffisamment de phases d'avancement pour atteindre l'état stationnaire des déplacements à l'arrière du front.
- 3) Développement et validation des méthodes 3D simplifiées sur les résultats obtenus avec la modélisation 3D complète.

Auscultation

Le système d'auscultation, mis en place avant le démarrage des travaux, était composé :

- Des cibles X, Y, Z en surface au niveau de la voirie et des bâtiments avoisinants ;
- Des inclinomètres et des extensomètres verticaux à proximité du puits Calmette ;
- Des extrusomètres de 22 m au centre du front (une bague tous les 1m) ;
- Deux cintres auscultés en X, Y et Z et équipés de jauges de contrainte.

Présentation du modèle EF 3D

- Demi-section modélisée (symétrie verticale)
- Stratigraphie sub-horizontale
- Section excavée moyenne : Rexc = 4,7 m
- Front mixte : 2/3 AV, 1/3 MP
- Couverture moyenne : 11 m
- Soutènement composé de cintres HEB 180 et 23 cm de béton projeté : élément « plaque » homogénéisée
- Boulons au front de 17 m de long renouvelés tous les 12 m (modélisés par des « embedded beam »)
- Loi de comportement : HSM (m = 0)
- Comportement des formations peu perméables (AV, MP et MA) modélisé en contraintes totales

Le béton projeté au front et la voûte parapluie n'ont pas été modélisés.

Méthodes 3D simplifiées

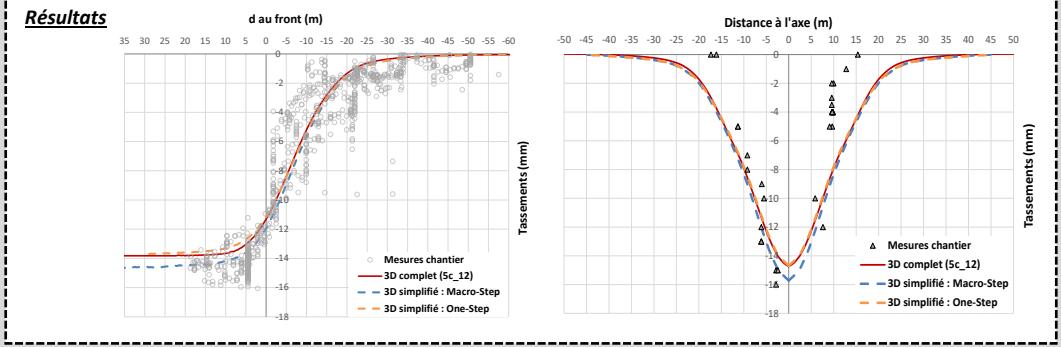
Macro-Step

La méthode se base sur les déplacements générés dans le massif lors d'un cycle complet de creusement, c'est-à-dire entre deux phases de renouvellement du boulonnage au front (ici 12 m). Elle modélise la longueur réelle des boulons à chaque phase d'excavation. Cette longueur décroît à chaque passe d'excavation.

One-Step

La méthode se base sur les déplacements générés dans le massif lors d'une seule phase d'excavation. L'idée sur laquelle se base cette méthode est de trouver une longueur « utile » des boulons, permettant d'obtenir une cuvette instantanée « moyenne » capable de donner les déplacements stabilisés du massif obtenus avec la modélisation complète. Le boulonnage est simulé cette fois-ci avec une longueur constante définie : $L_{\text{utile}} = (L_{\text{max boulons}} + L_{\text{min boulons}})/2$

Principe pour obtenir le profil en long des tassements: Il faut décaler la cuvette générée lors d'un cycle de creusement (macro-step) ou d'un seul pas de creusement (one-step) respectivement de la longueur du cycle ou du pas d'avancement et sommer la contribution de toutes les cuvettes en tout point de coordonnées « y » dans le sens du creusement.



Conclusions et perspectives

Deux méthodes 3D simplifiées ont été développées : la méthode Macro-Step et la méthode One-Step. Les deux méthodes se sont révélées bien efficaces puisqu'elles permettent de bien retrouver les déplacements stabilisés dans le massif. La première méthode présente l'avantage de pouvoir obtenir aussi des ordres de grandeurs en termes d'efforts dans les boulons et dans le soutènement, tout en diminuant le temps de calcul par 5 par rapport à un modèle complet. La deuxième méthode est beaucoup plus rapide, de l'ordre de 10 fois plus rapide qu'un modèle complet, et permettrait d'effectuer ainsi des calculs paramétriques concernant l'influence des paramètres du boulonnage (type de boulon, longueur, densité, etc.) sur les déplacements engendrés dans le massif.