

Candidature Prix Jean Kérisel

Simulation numérique tri-dimensionnelle de tunnels réalisés en méthode conventionnelle ou mécanisée.

Alors que les agglomérations urbaines se densifient de plus en plus, la réalisation d'ouvrages souterrains, tels que parkings, tunnels métropolitains, routiers, ferroviaires etc..., est devenue un enjeu prioritaire dans le cadre des politiques de réorganisation des espaces, d'amélioration de la viabilité et de développement des transports en commun. Le creusement de ces ouvrages pose la question de l'interaction avec les bâtiments en surface et les structures déjà existantes en souterrain. L'approche de l'ingénieur doit ainsi tenir compte de deux problématiques: d'une part assurer le bon déroulement des travaux en préservant la stabilité de l'excavation, et, d'autre part, contrôler les déformations du massif encaissant pour limiter l'interaction avec les constructions avoisinantes.

La pratique courante de dimensionnement des tunnels, notamment vis-à-vis des déformations, s'appuie principalement sur les principes de la méthode convergence-confinement, où la modélisation du creusement du tunnel est faite par des calculs numériques bi-dimensionnels en déformations planes, simulant les phases successives de creusement, en intégrant la notion de taux de déconfinement. Cependant, cette méthode, dont la fiabilité est directement liée au choix du taux de déconfinement, est souvent utilisée dans des situations où les hypothèses de base ne sont pas respectées (tunnel peu profond, massif hétérogène et anisotrope, excavation phasée...). Le recours à une modélisation tri-dimensionnelle devient ainsi incontournable pour étudier le problème dans toute sa complexité et se rapprocher au mieux de la réalité.

Lors de mon travail de thèse, réalisée en convention CIFRE entre l'INSA de Lyon et TERRASOL, j'ai pu me consacrer au suivi régulier du chantier du deuxième tube de Toulon. Cette expérience a été très enrichissante car elle m'a permis d'appréhender la complexité des différentes problématiques caractérisant un chantier de tunnel. La mise en place et l'exploitation de deux sections instrumentées m'ont également aidé à comprendre le caractère tri-dimensionnel du champ de déformation provoqué par le creusement du tunnel et de bâtir une base de données utilisée dans un deuxième temps pour une retro-analyse numérique menée sous le code de calcul PLAXIS 3D.

Le modèle numérique, dont la validité a été vérifiée par la bonne concordance avec les mesures in situ, a mis en évidence l'importance d'une simulation correcte du présoutènement (particulièrement celui au front) et du phasage des travaux, pour bien évaluer le déconfinement et les déformations engendrées dans le massif. Le résultat de ce travail a été mis au profil de plusieurs projets sensibles où le recours à un modèle 3D a été la clé de la réussite des études. Celles-ci ont permis de formaliser les enseignements suivants :

- Excavation multi-phases de longueur limitée par la méthode traditionnelle : l'approche bi-dimensionnelle, dans ce cas d'étude, conduit souvent à une surestimation des déformations, mettant en doute la faisabilité du projet. Une modélisation 3D permet alors de simuler plus correctement le phasage réel des travaux et de prendre en compte le report de charge sur les parties déjà réalisées. Cela a été le cas, par exemple, de l'étude concernant la réalisation de la chambre de démontage du tunnelier dans le 9^{ème} arrondissement de Paris sous des bâtiments haussmanniens sensibles, dans le cadre du prolongement nord de la ligne 14 du métro parisien.
- Interaction entre ouvrages souterrains : la question des interactions requiert systématiquement le recours à un modèle tri-dimensionnel apte à tenir compte de l'historique des contraintes et du caractère complexe de la géométrie du problème. Ça a été le cas par exemple des études menées pour la réalisation d'accès secondaires à des stations

de métro existantes ou futures (station Olympiade sur la ligne 14, station Mairie des Lilas sur la ligne 11 du métro parisien).

- Excavation en front mixte: la traversée d'un multicouche présentant un contraste de rigidités et de résistances important entre les différentes formations (comme dans le cas de la ligne 15 sud du projet Grand Paris avec une lithologie typique du bassin parisien où les Argiles Plastiques sont rencontrées immédiatement sous le Calcaire Grossier) rend très délicat le choix d'un taux de déconfinement représentatif des effets de voûte qui se développent longitudinalement autour de l'excavation. Une approche 3D permet d'étudier plus correctement cette problématique et de mieux estimer les déformations engendrées par l'excavation.
- Tunnelier avec un bouclier pressurisé : le processus mécanisé d'avancement d'un tunnelier fermé constitue une problématique complexe à étudier. Les déplacements générés par l'excavation sont influencés, en effet, par différents facteurs : la pression de confinement au front, la surcoupe et la conicité du bouclier, la pression de confinement éventuelle autour de la jupe, les paramètres d'injection du vide annulaire, la rigidité des voussoirs, la consolidation du mortier de bourrage etc.... Seule une approche 3D permet de simuler de façon réaliste ces différents paramètres et d'estimer correctement les déformations induites dans le massif.

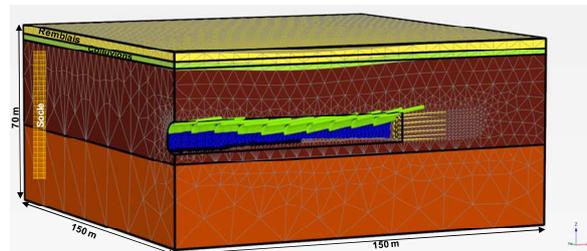


Figure 1. Tunnel sud de Toulon

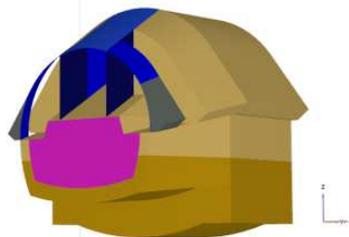


Figure 2. Chambre de démontage du tunnelier (prolongement nord de la ligne 14 du métro parisien)

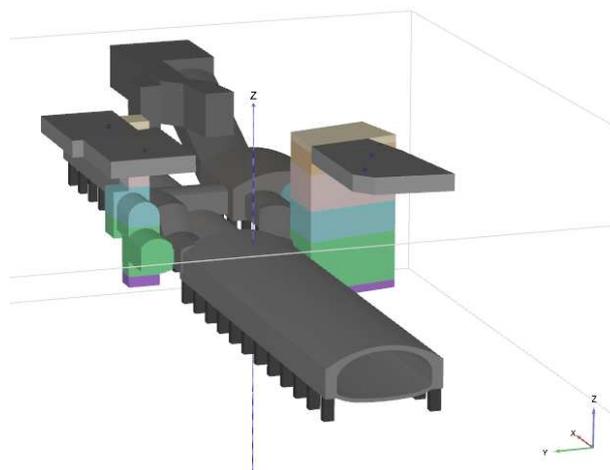


Figure 3. Réalisation de nouveaux accès secondaires à la station de Mairie de Lilas (ligne 11 du métro parisien)