

**TRACTEBEL**  
ENGIE



**L'AFTES vous invite à participer à**

**La soutenance de thèse de doctorat :**

**« Comportement des tunnels profonds creusés dans des terrains poussants : Effet de la méthode de creusement »  
par Manuel DE LA FUENTE**

**Laboratoire Navier, Equipe Géotechnique CERMES**

le lundi 19 novembre 2018,

à l'ENPC : 6-8 Avenue Blaise Pascal

77420 Champs-sur-Marne - Amphithéâtre Caquot

à 14h00



# **Tunneling under squeezing conditions: Effect of the excavation method**

Thèse soumise pour l'obtention du grade de

*Docteur de l'Université Paris Est*

Ecole Doctorale Sciences, Ingénierie et Environnement (SIE)

Spécialité : *Géotechnique*

*présentée le 19 Novembre 2018 à Champs-sur-Marne par*

***Manuel DE LA FUENTE***

Laboratoire Navier, Equipe Géotechnique CERMES

## JURY

Amade POUYA	Ecole des Ponts ParisTech	Président du Jury
Georg ANAGNOSTOU	ETH Zürich	Rapporteur
Frédéric PELLET	Ecole des Mines ParisTech	Rapporteur
Marc PANET	Ecole des Ponts ParisTech	Examineur
Daniel BILLAUX	ITASCA Consultants	Examineur
Jean SULEM	Ecole des Ponts ParisTech	Directeur de thèse
Reza TAHERZADEH	TRACTEBEL Engineering	Co-encadrant de thèse
Didier SUBRIN	Centre d'Etudes des Tunnels	Co-encadrant de thèse
Michel LEVY	SETEC	Invité

# Comportement des tunnels profonds creusés dans des terrains poussants : Effet de la méthode de creusement

## Résumé

L'excavation d'un tunnel profond dans des terrains poussants pose des difficultés particulières de conception et d'exécution. Ce type de terrain est caractérisé par des fortes convergences en paroi du tunnel de nature différée et souvent anisotrope. Le comportement d'un tunnel excavé en terrain poussant est très influencé par la technique d'excavation utilisée. Le cas d'étude du tunnel routier du Fréjus et de sa galerie de sécurité permet d'illustrer ce phénomène. Il s'agit de deux tunnels parallèles qui montrent une configuration très intéressante étant donné qu'ils traversent des conditions géotechniques similaires et qu'ils sont creusés avec des techniques d'excavation différentes : le tunnel routier a été creusé par méthode conventionnelle à l'explosif tandis que la galerie de sécurité a été creusée avec un tunnelier à bouclier simple. Les mesures d'auscultation réalisées pendant l'excavation des deux tunnels ont été analysées et comparées. Des modélisations numériques pour simuler la réponse des deux tunnels ont été développées avec le logiciel Flac<sup>3D</sup>. Le comportement du terrain est simulé avec un modèle visco-elasto-plastique et anisotrope. L'anisotropie liée à la schistosité du terrain est introduite dans le modèle par la présence de plans de faiblesse d'orientation donnée (*ubiquitous joint model*) insérés dans une matrice rocheuse caractérisée par un comportement visco-elasto-plastique isotrope. Une rétro-analyse a été réalisée sur les mesures de convergence obtenues lors du creusement du tunnel routier du Fréjus. Le comportement du terrain identifié dans le tunnel routier est ensuite extrapolé pour prédire la réponse de la galerie de sécurité. L'objectif est de reproduire l'état des contraintes observé dans les voussoirs de la galerie de sécurité et d'extrapoler les sollicitations à long terme. L'influence que la technique d'excavation, en particulier sur le comportement différé du terrain a été prise en compte dans les simulations numériques. On a mis en évidence que les déformations différées du terrain sont réduites lorsque l'excavation est réalisée au tunnelier.

Par ailleurs, une synthèse critique de la méthode convergence-confinement et de ses variantes a été réalisée. Une discussion a été menée sur l'applicabilité des méthodes convergence-confinement quand elles sont utilisées pour le dimensionnement des tunnels circulaires excavés en section pleine avec l'installation d'un soutènement raide comme c'est le cas lors d'une excavation au tunnelier. Dans ce contexte, un ensemble de formules empiriques sont proposées. Elles permettent d'obtenir avec une bonne précision l'état d'équilibre entre le terrain et le soutènement et peuvent être utilisées dans la phase de pré-dimensionnement des ouvrages.

**Mots clés :** tunnel, terrains poussants, tunnel du Fréjus, comportement différé, simulation numérique, méthode convergence-confinement, excavation au tunnelier

# **Tunneling under squeezing conditions: Effect of the excavation method**

## **Abstract**

During the excavation of deep tunnels, squeezing ground conditions are often encountered. The squeezing behavior of the ground is characterized by large time-dependent and usually anisotropic convergences that take place at the tunnel wall. The technique of excavation has a strong influence on the tunnel response when it is excavated under squeezing conditions. This phenomenon is illustrated throughout the case study of the Fréjus road tunnel excavated with conventional drill and blast methods and of its safety gallery excavated with a single shield tunneling boring machine. They exhibit a very interesting configuration of two tunnels excavated in parallel under the same geotechnical conditions but with different excavation techniques. Monitored geotechnical data from both tunnels are analyzed and compared. Numerical simulations of both tunnels have been carried out with Flac<sup>3D</sup>. An anisotropic creep model which includes weakness planes of given orientation embedded in a visco-elasto-plastic matrix has been used for describing the behavior of the ground. A back-analysis of convergence measurements of the Fréjus road tunnel has been carried out. The behavior of the ground identified from the Fréjus road tunnel is extrapolated to predict the response of the Fréjus safety gallery in terms of the stress state in the lining. The influence of the technique of excavation on the time-dependent parameters of the ground is taken into account in the computations and its effects are discussed. It is shown that the long term ground deformation are significantly reduced with TBM excavation as compared to traditional blast and drill method.

Furthermore, the convergence-confinement methods are reviewed and their applicability is discussed when they are applied to full face circular tunnels excavated in rock masses with a stiff support system. In this context, a set of empirical formula are proposed which allows to accurately predict the equilibrium state between the ground and the lining in circular tunnels excavated in full section. These formula are useful in the preliminary phase of tunnel design.

**Key-words:** tunnel, squeezing ground behavior, Fréjus tunnel, time-dependent behavior, numerical modeling, convergence-confinement method, tunnel boring machine