



ED 398 Géosciences, Ressources Naturelles et Environnement

Proposition de sujet de thèse pour la rentrée universitaire 2018-2019

1. Titre/Title: Modélisation numérique de l'excavation de tunnels dans des conditions géotechniques complexes/
Numerical modeling of tunnels excavation in complex geotechnical conditions

2. Adresse courriel du contact scientifique : frederic.pellet@mines-paristech.fr

3. Description du projet de thèse/ Proposal description : voir pages suivantes

4. Compétences et connaissances requises/ Required skills : Géomécanique, Modélisation Numérique, Statistique élémentaire / *Geomechanics, Numerical Modeling, Basics Statistics*

5. Modalités d'encadrement

Unité(s) de recherche au sein de laquelle le doctorat est réalisé : **Mines ParisTech - Centre de Géosciences, 35 rue Saint Honoré, 77300 Fontainebleau**

Directeur de l'unité : **Sellami Hedi, Directeur**

Directeur(s)* de thèse (HDR ou équivalent) : **Pellet Frédéric, Professeur (HdR)**

Co-directeur* de thèse (HDR ou équivalent) : **David Ryckelynck, Professeur, Mines ParisTech - Centre des Matériaux**

Responsabilités spécifiques de chaque encadrant : Le directeur assurera la responsabilité du travail de recherche en faisant appel au co-directeur pour la partie de son domaine d'expertise.

6. Conditions matérielles de réalisation du projet de recherche

Financement spécifiques obtenus pour le projet : **[Oui]**, si oui lesquels ? **VINCI Construction (Démarches en cours)**

Financement des missions nécessaires pour la réalisation du projet : **Oui**, si oui lesquels et pour quelles missions ? **Participations à des conférences internationales**

Accès à des bases de données spécifiques : **Non**, si oui lesquelles ?

Accès à des ressources documentaires spécifiques : **Non**, si oui lesquelles ?

Accès à des plateformes : **Non**, si oui lesquels ?

Accès à des grands instruments : **Non**, si oui lesquels ?

Autres

7. Précisions sur les objectifs de valorisation des travaux issus du projet de recherche : Publications dans des revues internationales de rang A/ Conférences internationales

* si un seul directeur de thèse est déclaré, il endosse 100% de la responsabilité de la thèse au regard de l'ED. Si 2 directeurs sont déclarés, ils partagent cette responsabilité à 50 %. Le taux de responsabilité maximal est fixé à 300 %. Les co-encadrants n'entrent pas dans le décompte, quelsoit leur rôle effectif.

Modélisation numérique de l'excavation de tunnels dans des conditions géotechniques complexes

• Cadre de recherche

La réalisation de tunnels dans des conditions géotechniques complexes (roches poussantes, décompressions violentes, traversées de failles) est associée à de nombreuses incertitudes. Ces dernières résultent de la connaissance limitée du sous-sol avant la construction, ainsi qu'à la variation des performances des procédés de construction. Ces incertitudes conduisent souvent à des événements inattendus qui peuvent générer des retards indésirables dans la construction, des dépassements de coûts et parfois des pertes en vies humaines. Le présent projet vise à améliorer le processus de construction des tunnels qui implique la prise de décisions cruciales lors de la planification et lors de la construction de l'ouvrage. Pour prévenir les risques liés aux incertitudes susmentionnées, une approche globale associant la modélisation numérique déterministe à l'analyse stochastique doit être développée, pour fournir un outil d'aide à la décision qui permettra au constructeur de surmonter les événements inattendus en mettant en œuvre des contre-mesures flexibles et adéquates.

• Objectif et étapes de recherche

La modélisation numérique du processus de réalisation des tunnels sera effectuée à l'aide de la méthode des éléments finis. Des modèles constitutifs appropriés seront étudiés en fonction des conditions géotechniques. Deux scénarii extrêmes seront considérés. Le premier est le cas des formations rocheuses de faible résistance (roches poussantes) qui présentent un comportement mécanique dépendant du temps. Pour cette situation, le problème le plus important est le développement de grandes convergences qui peuvent restreindre l'utilisation de l'installation souterraine. Dans un premier temps, le candidat explorera l'adéquation des modèles viscoplastique-endommageables pour modéliser les séquences d'excavation et les systèmes de soutènement de la roche. La deuxième situation est liée aux roches dures qui sont sujettes aux décompressions violentes. Ce cas sera traité dans le cadre de la mécanique de la rupture dynamique, éventuellement avec la méthode des éléments finis étendue (XFEM). Ici aussi, il est crucial de choisir des séquences d'excavation appropriées et des systèmes de soutènement adéquats.

Ensuite, le candidat appliquera les résultats de la section précédente à des études de cas bien documentées. Les données collectées sur chantiers de constructions de tunnels seront analysées. Les données de l'étude seront principalement la mesure des déplacements, des contraintes, des vibrations (dans le cas d'un tunnel creusé à l'explosif) et les paramètres d'avancement en cas d'utilisation de tunneliers. Sur la base de cette analyse, le candidat développera ou utilisera des algorithmes d'analyse inverse existants, pour identifier les principaux paramètres du modèle constitutif utilisé dans l'analyse par éléments finis décrite ci-dessus. Les principales méthodes rapportées dans la littérature pour résoudre les problèmes d'optimisation sont basées sur des méthodes de gradient. Pour les problèmes inverses, ces méthodes supposent l'unicité de la solution. Cependant, les analyses géotechniques sont souvent perturbées par des erreurs de modélisation ou de mesures in situ. Il ne peut alors pas exister une seule solution exacte pour un problème inverse mais plutôt une infinité de solutions approchées. Cette partie permettra de définir quelle méthode d'analyse inverse permet d'identifier les solutions les plus fiables.

Enfin, le candidat déterminera la propagation des incertitudes dans le modèle. Ces simulations seront couplées à des analyses probabilistes pour tenir compte du biais de représentativité (effet d'échelle) et de la variabilité spatiale des propriétés géotechniques. Dans la phase finale, le candidat proposera un outil d'aide à la décision pour mettre en œuvre la méthodologie qu'il / elle aura élaborée afin de prendre en compte les conditions géotechniques complexes dans la réalisation de tunnels.

• Résultats de la recherche

En résumé, la stratégie proposée associant la modélisation numérique 3D des tunnels aux algorithmes d'analyse inverse et aux outils stochastiques contribuera à améliorer l'évaluation du risque rencontré lors de la construction des tunnels. En parallèle, les résultats permettront d'envisager la mise en place d'une stratégie de monitoring pour assurer la surveillance à long terme de la structure souterraine. De plus, le simulateur numérique aidera à la définition de solutions et favorisera le développement de solutions souterraines.

Numerical modeling of tunnels excavation in complex geotechnical conditions

- **Research framework**

Tunneling in complex geotechnical conditions (squeezing rock, rock prone to burst, major fault crossings) are associated with many uncertainties. The latter are due to the limited knowledge of ground conditions prior to the construction as well as the variation of the construction performance. Those uncertainties often lead to unexpected events which may generate unwanted delays in construction, cost overruns and sometimes casualties. The current project intends to improve tunneling construction process which involves many critical decisions ranging from the basic decisions to undertake while planning the project, to comprehensive decisions during the construction. These decisions must be made accounting for uncertainties to prevent hazards, and therefore comprehensive risk assessment approaches need to be developed. For this purpose deterministic 3D numerical modeling associated with stochastic analyses is expected to provide a valuable tool. Moreover, it helps the constructor to overcome unexpected events with flexible and appropriate countermeasures.

- **Purpose and research tasks**

Numerical modeling of the tunneling process will be performed with the help of the Finite Element Method. Appropriate constitutive models will be investigated depending on the geotechnical conditions. Two extreme scenarios will be considered. The first one is the case of soft and weak rock formations (squeezing rocks) which exhibit a time-dependent behavior. For this situation, the most important issue is the development of large convergences which may impede the use of the underground facility. At first, the candidate will explore the suitability of viscoplastic damageable models for modelling the excavation sequences and the rock support systems. The second situation is related to hard rock formations which are prone to rock burst. This case will be treated in the framework of dynamics fracture mechanics, possibly with the eXtended Finite Element Method (XFEM). For this case it is also crucial to select appropriate excavation sequences and adequate rock support systems.

Then, the candidate will apply the findings of the previous section to well documented case studies. The data collected in tunnel construction sites will be analyzed. Data under consideration will be mostly measurements of displacements, stresses, vibrations (in case of tunnel excavated with the drill and blast method) and boring parameters in case of the use of Tunnel Boring Machine. Based on this analysis, the candidate will develop or use existing inverse analysis algorithms to identify the main parameters of the constitutive model used in the Finite Element Analysis described above. Main methods used in literature to solve optimization problems are based on gradient methods. These methods assume the uniqueness of the solution for inverse problems. However, geotechnical studies are often perturbed by modeling errors or in situ measurement. Then, it cannot exist one exact solution for an inverse problem but rather than an infinity of approximated solutions. This part will allow one to find out which method of inverse analysis permits to identify the best approached solutions.

Finally, the candidate will determine uncertainties propagation through the model. Those simulations will be coupled with probabilistic analyses to account for representativeness bias (scale effect) and spatial variability of the geotechnical properties. In the final stage, the candidate will propose a Decision Aid Tools to run the methodology he/she developed to account for complex geotechnical conditions in tunneling.

- **Outcomes of the research**

In summary, the proposed strategy associating 3D numerical modeling of tunnels with inverse analysis algorithms and stochastic tools will contribute to enhance the assessment of the risk encountered during tunnels construction. Therefore, the risk mitigation will be possible. In parallel, results will allow to consider the establishment of a strategy for the monitoring of the long term behavior of the underground structure. Moreover, the numerical simulator will help in the definition of tunneling strategy and will foster the development of underground solutions.

* si un seul directeur de thèse est déclaré, il endosse 100% de la responsabilité de la thèse au regard de l'ED. Si 2 directeurs sont déclarés, ils partagent cette responsabilité à 50 %. Le taux de responsabilité maximal est fixé à 300 %. Les co-encadrants n'entrent pas dans le décompte, quelsoit leur rôle effectif.