



Axe de  
recherche

Mines Paris - Centre de Géosciences  
35, rue Saint-Honoré - 77305 Fontainebleau cedex  
Tel : +33 (0)1 64 69 48 96 / 47 10  
contact@geosciences.mines-paristech.fr  
www.geosciences.minesparis.psl.eu



# Modélisation de la stabilité et de l'évolution des ouvrages souterrains

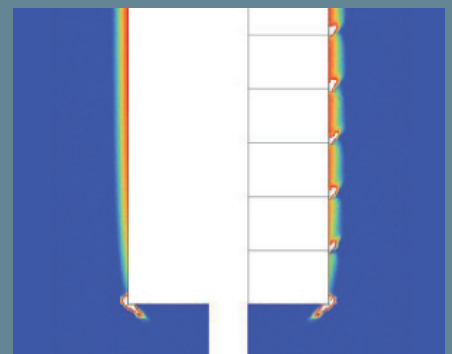
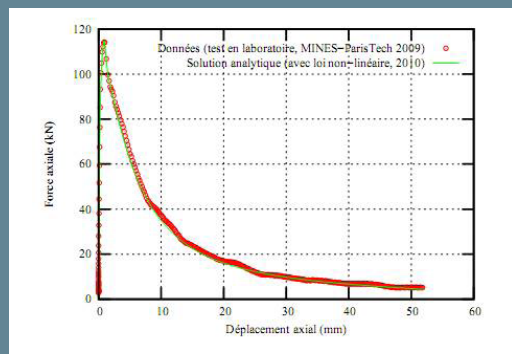
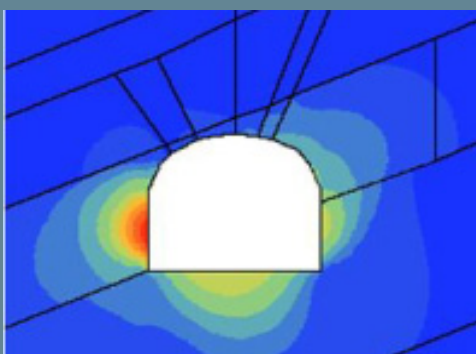
## *Modelling the stability and the behaviour of underground excavations*

Les activités de recherche en géomécanique du Centre de Géosciences reposent en grande partie sur le développement de modèles numériques permettant de prédire la réponse du massif rocheux au creusement d'ouvrages souterrains, et ceci à différentes échelles spatio-temporelles. Ces modèles sont continuellement adaptés en fonction de l'évolution des méthodes numériques et des moyens informatiques, tout en privilégiant l'adéquation avec les découvertes dans le domaine des lois physiques qui régissent les phénomènes à modéliser.

Le progiciel VIPLEF développé au centre depuis une quarantaine d'années, permet le calcul des températures (et des flux), des pressions (et des débits), des déplacements (et des contraintes) dans un milieu poreux, continu, solide, éventuellement hétérogène et affecté de surfaces de discontinuités. Le temps réel est pris en compte (régime transitoire, viscosité, dynamique ...) et les lois de comportement des matériaux peuvent présenter une anisotropie ainsi que des non linéarités. Par ailleurs, il est possible de traiter des problèmes couplés THM pour des structures pouvant être composées simultanément de matériaux élastoplastiques et élastoviscoplastiques tout en traitant des transformations finies (grands déplacements et déformations). Une version 3D permet de plus de résoudre des problèmes dynamiques.

*Research in geomechanics at the Geosciences and Geoengineering Research Department is largely based on the development of numerical models to predict the response of the rock mass to underground excavations, at different spatial and temporal scales. These models are continually adapted to the evolution of numerical methods and computer resources, while giving priority to the adequacy with discoveries made in the field of physical laws that govern phenomena to be modelled.*

*The VIPLEF software package, developed at the Department for the last forty years, allows the computation of temperatures (and flows), pressures (and flow rates), displacements (and stresses) in a porous, continuous, solid medium, possibly heterogeneous and affected by discontinuities. The real time is taken into account (transient regime, viscosity, dynamics ...) and the material behaviour laws may emphasize an anisotropy as well as non linearities. Furthermore, it is possible to deal with THM-coupled problems for structures that can be composed simultaneously of elastoplastic and elastoviscoplastic materials, while modelling finite transformations (large displacements and strains). In addition, a 3D version was developed to solve dynamic problems.*





# Modélisation de la stabilité et de l'évolution des ouvrages souterrains

## Modelling the stability and the behaviour of the underground excavations



Modélisation de la stabilité des blocs rocheux aux parois des cavités minées destinées au stockage de produits pétroliers (GEOSTOCK) et détermination d'un éventuel soutènement assurant la stabilité.

Des blocs de toute forme géométrique peuvent être étudiés grâce à une discrétisation (maillage) de la surface (Fig1). L'étude de stabilité se fait pour chaque bloc isolé en prenant en compte les contraintes initiales et la loi de comportement des joints et en considérant un déplacement du bloc en corps solide sous forme de translation et de rotation.

Le degré d'instabilité est évalué en calculant le coefficient de déchargement de la future face libre au moment où le critère de Mohr-Coulomb est atteint. Une valeur inférieure à 1 signifie que le bloc est instable. Ce coefficient dépend largement des contraintes initiales et du rapport entre les rigidités des joints (Fig2). Les résultats en termes de contraintes calculées au niveau des faces (Fig3) sont beaucoup plus proches des résultats des méthodes exactes que de ceux obtenus avec les autres méthodes classiques de blocs clés.

*Stability modelling of rock blocks located at the walls of excavations for petroleum product storage (GEOSTOCK) and design of a support when needed*

*Blocks of any geometric shape can be studied through a discretization (meshing) of the surface (Fig.1). The stability analysis is performed for each isolated block by taking into account the initial stresses and the joint behavior laws and considering the block to move as a solid body translating and rotating.*

*The degree of instability is evaluated by calculating the discharge coefficient of the future free face when the Mohr-Coulomb criterion is reached. A value below 1 means the block is unstable. This coefficient largely depends on initial stresses and on the ratio between rigidities of the joints (Fig.2). In terms of stresses calculated at the sides (Fig.3), results are much closer to those of exact methods than to those obtained with other usual key-block methods.*

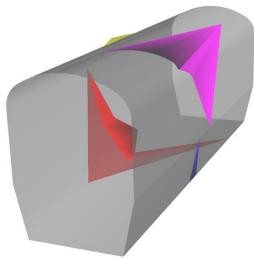


Fig1. Blocs et galerie  
Blocks and drift

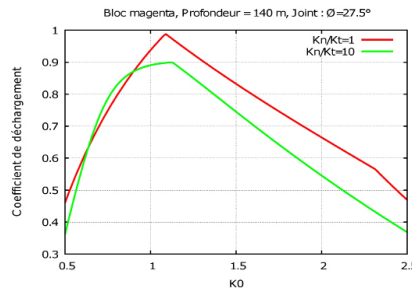


Fig2. Degré d'instabilité d'un bloc  
Instability degree of a block

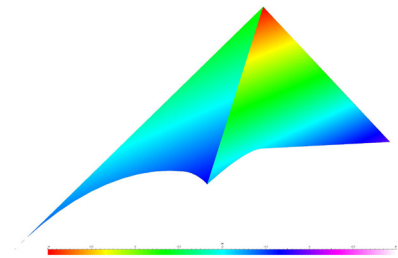


Fig3. Contraintes normales  
Normal stresses

Recherche des lois de comportement qui régissent l'action du soutènement par boulons et câbles des parois des cavités souterraines de stockage des déchets nucléaires (ANDRA).

Un nouveau banc expérimental (Fig4) a été conçu afin d'étudier le comportement à l'arrachement des boulons et des câbles d'ancrage sous différentes conditions (pression de confinement, matériau de scellement, type et profil de la tige, etc.). Ces essais ont pour but la détermination de la loi de comportement de l'interface boulon-scellement, loi dont la connaissance est nécessaire pour prédire par modélisation le rôle stabilisant d'un système de soutènement utilisant des boulons ou des câbles avec un ancrage réparti.

Dans le cadre d'une approche théorique classique une solution analytique inédite a été développée (modèle théorique). La confrontation entre réalité (un boulon en acier de 20 mm de diamètre et une roche sous un confinement de 5 MPa) et le nouveau modèle est encourageante.

*Searching constitutive laws governing the action of wall support with rockbolts and cablebolts in underground excavations dedicated to nuclear waste storage (ANDRA).*

*A new experimental bench (Fig.4) has been designed to study the pullout behaviour of rockbolts and cablebolts under various conditions (confining pressure, grouting material, type and profile of the bar, etc.). The aim of these tests is to determine the constitutive law of the bolt-grout interface, whose knowledge is necessary to predict by modelling the stabilizing role of a support system based on fully grouted rockbolts or cablebolts.*

*As part of a classical theoretical approach, a new analytical solution has been developed (theoretical model). The confrontation between reality (a 20-mm diameter steel bolt and a rock at a 5-MPa confinement) and the new model is encouraging.*

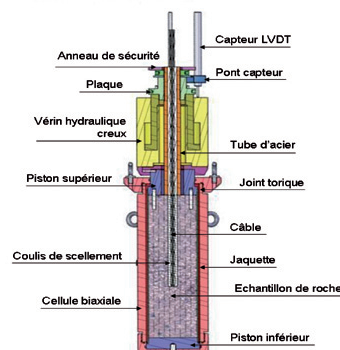


Fig4. Dispositif expérimental - Experimental equipment