



Séance technique : Massif Fracturé et Reconnaissances

Organisée par Daniel Billaux (Itasca France), Véronique Merrien (CNAM), Muriel Gasc (CEREMA)

Jeudi 14 novembre 2019, à 14h00

CNAM, 292, rue Saint-Martin, 75003 Paris

Amphi Robert Faure

14 : 00 Accueil des participants et informations CFMR

Jean SULEM, Président du CFMR.

14 : 10 Introduction à la séance

Daniel BILLAUX (Itasca France).

14 : 20 Capacité de détection des fractures par la méthode de surface « Ground Penetrating Radar » : résultats d'expériences réalisées dans le laboratoire souterrain d'Äspö (Suède)

Justine MOLRON, Niklas LINDE, Ludovic BARON, Jan-Olof SELROO³, Caroline DARCEL et Philippe DAVY

15 : 00 Détermination de la densité de fracturation à partir de nuages denses 3D

P. CAUDAL, V. MERRIEN, E. SIMONETTO, T. DEWEZ, E. LABERGERIE

Pause

16 : 00 Application and experience of tunnel seismics for rock mass characterisation during tunnelling

Jozsef HECHT MENDEZ

16 : 40 High-resolution characterization of the induced fracture network around galleries in the Callovo-Oxfordian Clay using 4-D numerical borehole analysis and pneumatic tomography approaches

Ralf BRAUCHLER, Rémi DE LA VAISSIERE, Médéric PIEDEVACHE, Sacha REINHARDT

17 : 10 Discussion

17 : 30 Fin de la séance

CFMR

Capacité de détection des fractures par la méthode de surface « Ground Penetrating Radar » : résultats d'expériences réalisées dans le laboratoire souterrain d'Äspö (Suède)

Justine MOLRON¹, Niklas LINDE², Ludovic BARON², Jan-Olof SELROOS³, Caroline DARCEL¹ et Philippe DAVY⁴

¹ Itasca Consultants S.A.S., 64 Chemin des Mouilles, 69130 Ecully, France.

² Université de Lausanne, Géopolis UNIL, Quartier Mouline, 1015 Lausanne, Suisse.

³ Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company (SKB), Evenemangsgatan 13, Box 3091, SE-169 03 Solna, Suède.

⁴ Géosciences Rennes, OSUR, CNRS, Université de Rennes 1, 263 Avenue Général Leclerc, 35042 Rennes, France.

L'identification des fractures dans le sous-sol est essentielle afin d'évaluer les chemins potentiels de transport de contaminant depuis un site de stockage nucléaire en profondeur. De ce fait, nous avons utilisé la méthode de surface « Ground Penetrating Radar » (GPR) pour imager les fractures du sous-sol. Sa capacité de détection dépend des caractéristiques de la fracture (orientation, ouverture et taille) et du contraste diélectrique et électrique entre le remplissage de la fracture (fluide ou minéral) et la roche environnante.

L'expérience GPR a été réalisée dans un laboratoire souterrain en Suède (Äspö Hard Rock Laboratory), dans un tunnel de 20 m de long, 4 m de large et 4.5 m de hauteur situé à 410 m de profondeur. Les formations géologiques sont composées de granite, diorite et granodiorite fracturés, ayant une perméabilité très faible et des fractures très peu transmissives (10^{-9} à 10^{-10} m²/s pour les plus perméables). Trois fréquences différentes (160 MHz, 450 MHz et 750 MHz) permettent d'obtenir différentes résolutions d'image et profondeurs d'investigation (atteignant 10 m, 8 m et 5 m respectivement). Les antennes radar ont été tirées sur la surface du sol, le long de lignes parallèles séparées de 0.10 m (fréquence 160 MHz) et 0.05 m pour les fréquences 450 MHz et 750 MHz. Cette configuration permet d'obtenir un bloc d'investigation 3D dans lequel les réflexions et diffractions GPR nous donnent une image des fractures.

Au total, 15 réflexions pourraient correspondre à des fractures ayant une surface comprise entre 1 et 10 m² et un pendage compris entre 0 et 35°. Afin de confirmer nos résultats, 3 forages de 9.5 m de profondeur ont été implantés. La profondeur et l'orientation des fractures GPR intersectant les puits correspondent avec celles des fractures identifiées par caméra optique dans le forage. De plus, des tests d'injection et de pompage dans les forages nous indiquent qu'elles sont situées dans les régions les plus perméables des puits. Enfin, les fractures GPR ont été comparées avec le modèle statistique du réseau de fractures construit à partir des traces 2D de fractures observées sur les parois du tunnel d'étude et de tunnels voisins situé à la même profondeur. Compte tenu de la taille moyenne des fractures imagées par le GPR et de leur orientation, nous démontrons qu'elles correspondent à la densité de fractures prévue par le modèle.

En conclusion, cette expérience nous indique que le GPR permet d'identifier 42 % des fractures dans la gamme de tailles et d'orientations détectées par cette méthode d'imagerie de surface.

Détermination de la densité de fracturation à partir de nuages denses 3D

P. CAUDAL^{1,2,3}, V. MERRIEN³, E. SIMONETTO³, T. DEWEZ¹, E. LABERGERIE³

¹ BRGM, DRP/RIG

² Université Le Mans

³ CNAM, Laboratoire GeF

L'imagerie 2D et 3D peut permettre l'optimisation de l'exploitation des fronts rocheux (carrières, routes, réseaux ferrés, éventuellement tunnel). L'utilisation de plus en plus commune des LiDAR et de la photogrammétrie permet de disposer de nuages de points 3D géoréférencés et utiles à la connaissance du massif rocheux.

La détection de la fracturation et des zones densément fracturées peut être effectuée à partir d'un nuage de points dense 3D par le biais de logiciels développés dans ce sens.

CloudCompare [1] est un des logiciels libres les plus utilisés pour la visualisation des nuages de points 3D et leur analyse. Le plugin Facets [2] permet de segmenter les discontinuités par famille et d'extraire leur orientation ainsi que leur position dans l'espace 3D. Un logiciel complémentaire appelé DiscontinuityLab a été développé pour permettre une caractérisation interne et externe des couloirs de fracturation.

Mots clés : front rocheux ; photogrammétrie ; lasergrammétrie ; analyse structurale ; géologie ; segmentation ; scanline.

[1] D. Girardeau-Montaut. CloudCompare : v2.11.alpha, 64 bits, 3D point cloud and mesh processing software, Open Source Project. Available at : <http://www.cloudcompare.org>. Access date Oct. 2019.

[2] T. Dewez, D. Girardeau-Montaut, C. Allanic, and J. Rohmer. FACETS : a CloudCompare plugin to extract geological planes from unstructured 3D point cloud. *Proceedings XXIII ISPRS Congress, Prague, Czech Republic*. Volume XLI-B5, p. 799-804, 2016.

CFMR

Application and experience of tunnel seismics for rock mass characterisation during tunneling

Jozsef HECHT MENDEZ

Amberg Technologies AG, Trockenloostrasse 21, 8105 Regensdorf - Switzerland

Unknown geological conditions can cause serious problems and risks in tunneling projects. Due to the scarce or limited geological and geotechnical preliminary information, the initial geological forecast and geotechnical classification are subject to large uncertainties. Therefore, a continuous characterisation of the ground is crucial in the construction phase. Tunnel Seismic Prediction (TSP) is a geophysical technique based on the principle of seismic reflection. The TSP method makes it possible to detect changes in the rock mass that are closely related to seismic wave velocities. This results in derived geomechanical properties which allow the identification of fault and shear zones, cavities and the exploration of water-bearing formations.

In this lecture, different case studies will be presented, which concentrate on the most important steps necessary to obtain a reliable prediction of the unfavourable rock condition. The estimation of seismic velocities and geomechanical parameters is compared to the geological findings and the classification methods. The latter was achieved after tunnelling along the forecast area. Furthermore, insights into the tunnel seismic data processing including its extent and limitation are given.



CFMIR

High-resolution characterization of the induced fracture network around galleries in the Callovo-Oxfordian Clay using 4-D numerical borehole analysis and pneumatic tomography approaches

Ralf BRAUCHLER^{1*}, Rémi DE LA VAISSIERE², Médéric PIEDEVACHE³, Sacha REINHARDT¹,

¹ AF-Consult Switzerland Ltd, Taefernstrasse 26, 5405 Baden, Switzerland

² Andra, R&D Division, Meuse/Haute-Marne Underground Research Laboratory, 52290, Bure, France

³ Solexperts SA, Technopôle Nancy-Brabois10, allée de la forêt de la Reine 54500 Vandoeuvre les Nancy

* Corresponding Author, E-mail: ralf.brauchler@afconsult.com

The Meuse / Haute Marne Underground Research Laboratory (URL) provides the location for a long-term experiment designed to investigate the induced fracture network around open or sealed drifts. The aim of this experiment, called the CDZ-experiment (Compression of the Damaged Zone), is to monitor the effects of mechanical loading and unloading on the mechanical and gas properties of the induced fracture network around galleries. In the context of this experiment, a large number of gas tests were performed between six closely spaced wells prior to and after the mechanical loading of the induced fracture network. The tests, performed by Solexperts SA, allow for the long-term monitoring and quantification of the effect of the mechanical loading on the gas and mechanical properties of the induced fracture network.

The gas tests were first analyzed using the numerical borehole simulator Multisim, which was developed by AF-Consult Switzerland SA. The borehole simulator Multisim is particularly suited for the analysis of hydraulic and gas tests performed in low permeability media and allows for a rigorous uncertainty analysis, which comprises a residual analysis, estimation of joint confidence regions of the fitting parameters, a perturbation analysis to appraise the accuracy of the estimated fitting parameters, and a sampling analysis to quantify the influence of the non-fitted parameter.

In a second step, the cross-hole pressure responses of the gas tests were analyzed with a travel time based tomographic approach. The inversion is based on the transformation of the transient groundwater flow equation into the eikonal equation using an asymptotic approach. The eikonal equation can be solved with ray tracing techniques or particle tracking methods, which allows the inversion of large data sets in a short time with relatively low computational effort (common PC). The main feature of this procedure is a travel time integral relating the square root of the peak travel time, assuming a Dirac point source at the origin, to the inverse square root of the gas diffusivity.

The reconstructed three-dimensional gas diffusivity distribution displays the different zones of the induced fracture network around galleries with a high level of detail and provides important information about the spatial distribution of gas parameters of the induced fracture network. The comparison of the reconstructed tomograms with the results of the borehole test analysis performed with Multisim shows a reasonable agreement. The time-lapse pressure tomography results describing the gas tomographic results prior and after the mechanical loading allow for monitoring the change in gas properties caused by mechanical loading with a spatial resolution not possible with conventional test analysis techniques. It could be shown that the long-term effect of the mechanical loading on the spatial distribution of the gas properties is in good agreement with the predicted induced stress field.