

Thèse soutenue le 20 mars 2006

Auscultation et surveillance des perturbations hydromécaniques d'ouvrages souterrains par méthodes ultrasonores

Jamil DAMAJ

Directeur de thèse : Françoise HOMAND, LAEGO

Correspondant INERIS : Cyrille BALLAND, Direction des Risques du Sol et du Sous-sol

L'excavation d'un ouvrage souterrain profond induit une redistribution du champ de contrainte, une variation de la pression des pores et en conséquence une zone endommagée ou fracturée. L'étude de la zone endommagée (EDZ : Excavation Damaged Zone) est essentielle dans la problématique du stockage souterrain pour lequel il est nécessaire d'empêcher le passage préférentiel des matériaux stockés vers la biosphère. Plusieurs études ont été abordées lors de ces quinze dernières années afin d'étudier le comportement hydromécanique de la zone endommagée. Les méthodes d'auscultation et de surveillance du champ de vitesse des ondes sismiques, acoustiques ou ultrasoniques peuvent caractériser la zone endommagée aux échelles du laboratoire et in situ. Cette thèse s'inscrit dans le cadre de l'étude de la zone endommagée par l'analyse des éléments d'un train d'ondes ultrasonores se propageant dans un milieu argileux à l'échelle centimétrique (laboratoire) et à l'échelle métrique (in situ).

Des échantillons ont été prélevés au laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne (France) à une profondeur de 472 m et ont été soumis à un chargement triaxial ou uniaxial. Ces éprouvettes ont permis d'étudier les éléments caractérisant le train d'ondes ultrasonore suivant différentes directions en fonction de la contrainte appliquée. Les résultats montrent une chute de la vitesse et une augmentation de l'atténuation pour des rais se propageant perpendiculairement à la contrainte.

Une expérimentation in situ, conduite par l'ANDRA dans une galerie du laboratoire souterrain du Mont Terri (Suisse) a consisté à caractériser la réponse des argilites à Opalinus lors du creusement d'une saignée dans le mur d'une galerie et de son reconfinement par un système de vérins hydrauliques. Pour cela, une auscultation par tomographie ultrasonique a été mise en œuvre pour caractériser l'endommagement dû au creusement de la galerie. Ensuite, un dispositif de surveillance du champ de vitesse a permis de suivre l'évolution de l'endommagement pendant le creusement et le reconfinement de la saignée.

La surveillance du champ de vitesse a montré qu'une zone endommagée s'étendait jusqu'à 0,2 m sous la base de la tranchée, que le reconfinement de la saignée améliorerait les caractéristiques mécaniques de la roche en parement tandis qu'elles continuaient à se dégrader sous la saignée. Le développement de l'imagerie du champ de vitesse, de l'atténuation et de la densité de fissuration a permis de caractériser le gradient de fracturation et la direction principale des fractures autour de la saignée

During the excavation of a gallery, whatever the excavation method is, the surrounding rock mass is mechanically disturbed. These distributions can lead to the instability of a part or all of the excavation. In addition, in the context of an underground storage, these mechanical changes of the rock state can create preferential ways for the release of the stocked material end side the excavation (nuclear or chemical wastes, gas, brine...) up to biosphere. The mechanical characterization of this disturbed zone is then essential to determine the capacity of the rockmass to constitute a geological impermeable barrier.

A set of preliminary experiments has been done on samples of the clay from Bure (Meuse/Haute-Marne), France. The samples were subject to uniaxial compressive stress and triaxial compressive stress at 10 MPa confining pressure. During these experiments, velocity measurements were made into several directions, and acoustic emissions monitoring was also performed. The results show that the confining pressure has a strong influence on the P-wave velocity and on the threshold of dilatancy. According to the ray incidence with the lithology, there is a correlation between classical mechanical parameters of damage and P-wave. Therefore, the signal changes in clay are a good indicator of confining and damaging.

The stake of the Thesis is to determine the nature, the extension, and the change of the disturbed zone. The survey by ultrasonic waves analysis is particularly appropriate for these objectives because it allows to get knowledge about the zone undisturbed by the boreholes. The main objective of this part is to describe a new in-site experiment (EDZ cut-off) that was realised in the Opalinus Clay in the Mont Terri Rock Laboratory in Switzerland. This experiment includes the use of the seismic imaging method for understanding the evolution of the excavation damaged zone before and after a slot excavation.

The velocity before and after the reloading of the slot excavation and the survey during the slot excavation showed a decrease of the P-wave velocity, under the slot floor down to 0.2 m deeper. The reloading of the hanging walls clearly improves the P-wave propagation along the sidewall and weakly decreases the same characteristic under the slot. During the all the phases of this Thesis the wave attenuation and the number density of cracks were estimated.