



HAL
open science

Caractérisation numérique et expérimentale de l'endommagement durant l'excavation d'une saignée et son reconfinement

Cyrille Balland, Jean-Bernard Kazmierczak, Jamil Damaj

► **To cite this version:**

Cyrille Balland, Jean-Bernard Kazmierczak, Jamil Damaj. Caractérisation numérique et expérimentale de l'endommagement durant l'excavation d'une saignée et son reconfinement. Rapport Scientifique INERIS, 2007, 2006-2007, pp.82-85. ineris-01869097

HAL Id: ineris-01869097

<https://ineris.hal.science/ineris-01869097>

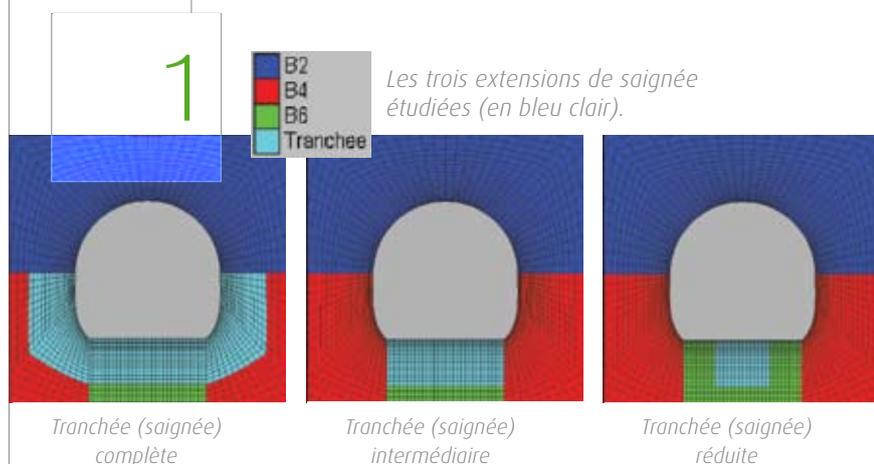
Submitted on 6 Sep 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

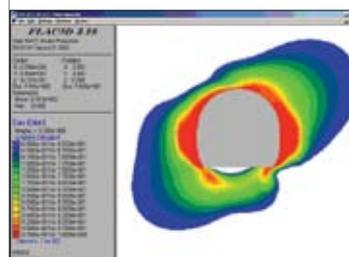
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Caractérisation numérique et expérimentale de l'endommagement durant l'excavation d'une saignée et son reconfinement

Cyrille Balland, Jean-Bernard Kazmierczak, Jamil Damaj



Ratio de plasticité ¹, avant et après creusement de la saignée complète.



AVANT

APRÈS

Pas de pression sur les flancs

L'existence d'une zone fracturée et/ou endommagée autour des ouvrages souterrains d'un stockage profond peut affecter l'aptitude de la formation géologique hôte à confiner des radionucléides. Dans ce cas, elle est dénommée EDZ (de l'anglais Excavation Damaged Zone). Afin de renforcer l'efficacité du scellement des ouvrages d'un stockage vis-à-vis d'un court-circuit hydraulique empruntant la zone fracturée et/ou endommagée, la solution étudiée par l'Andra dans ses concepts de stockage est d'interrompre, autant que possible, l'EDZ au droit des scellements. Cette solution consiste à pratiquer des saignées radiales de faible épaisseur (typiquement inférieure à 50 cm) recoupant la part de zone fracturée plus transmissive et à les remplir de briquettes d'argile gonflante. Pour comprendre et maîtriser le fonctionnement de ces saignées, une expérimentation a été réalisée au laboratoire souterrain de Mont-Terri (Suisse). L'INERIS a réalisé deux études spécifiques

en collaboration avec l'Andra :

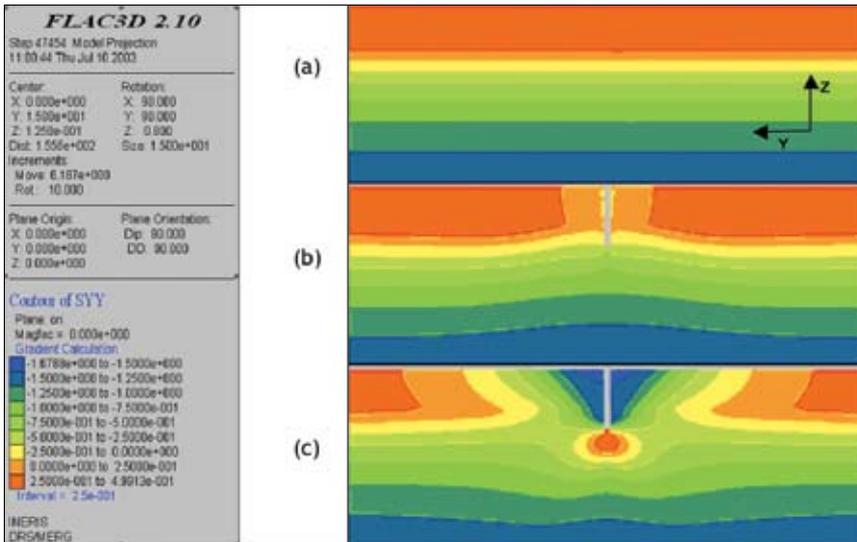
- la modélisation numérique bi et tridimensionnelle des champs de contrainte et d'endommagement ;
- la surveillance et l'imagerie ultrasoniques de la zone encaissante de la saignée.

MODÉLISATIONS NUMÉRIQUES BI ET TRIDIMENSIONNELLES

L'objectif de cette recherche était de contribuer à la conception et au dimensionnement de l'expérimentation, à l'aide de modélisations numériques (logiciel FLAC^{3D}), des différents essais prévus, c'est-à-dire le creusement de différentes extensions de saignées (figure 1), et la mise en pression progressive par paliers de pression de confinement. Cette étude a également permis de définir le positionnement optimal des instrumentations géotechniques nécessaires à la réalisation « physique » des essais *in situ*. Compte tenu de la complexité du site, liée à l'anisotropie du comportement du massif, il a été nécessaire de faire appel à des modèles de comportement élastique isotrope transverse puis élastoplastique. Les résultats des modélisations mettent en évidence clairement l'effet de l'anisotropie de comportement (figure 2) et l'effet du creusement des différentes saignées sur la modification des états de contraintes dans le massif, ainsi que sur les amplitudes de déplacements attendus, ce qui a permis de proposer un positionnement adapté pour les instrumentations.

NOTES

1 - Ratio de plasticité : distance entre l'état de contrainte et le critère de plastification.



3

Effet du creusement de la saignée (b) et de sa mise en pression (c), sur la contrainte SY.

Ces travaux permettent également d'évaluer l'effet de la mise en pression des parois de la tranchée sur le reconfinement et l'amélioration des caractéristiques mécaniques du massif rocheux. À titre d'illustration, la figure 3 présente la composante horizontale SY de contrainte avant creusement de la tranchée, juste après le creusement et finalement après application d'une pression de confinement. On observe ainsi que les contraintes de traction (valeur positive en orange) se réduisent fortement au moment du creusement de la saignée (b) et disparaissent totalement sur une étendue pouvant atteindre plusieurs décimètres (c - zones bleues) autour de la saignée. On voit cependant apparaître, en partie basse de la saignée, un phénomène de traction

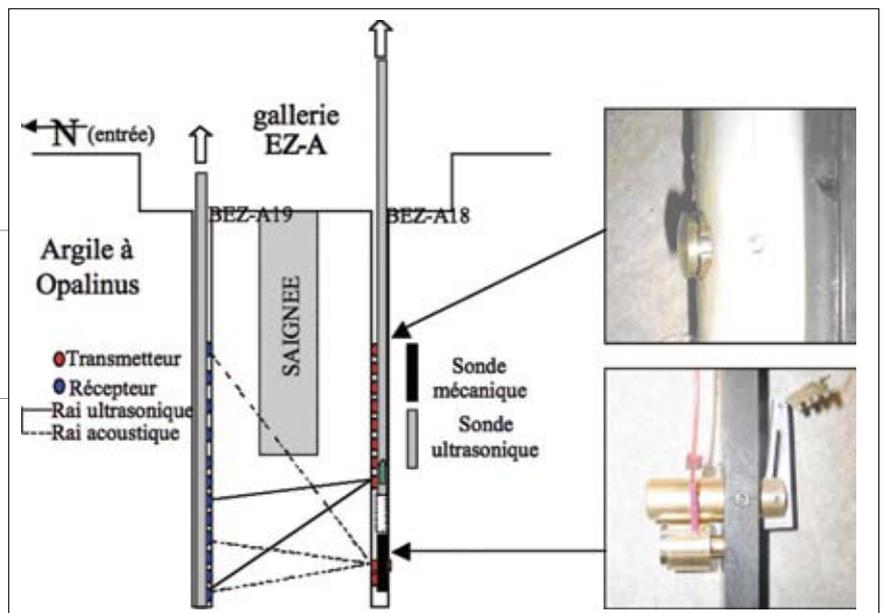
en forme de bulbe, totalement déconnecté des autres zones restées en traction.

LA SURVEILLANCE ET L'IMAGERIE ULTRASONIQUES DE LA ZONE ENCAISSANTE

Le second volet de cette recherche était de vérifier expérimentalement le comportement mécanique suggéré par la modélisation. Les argilites à Opalinus du Mont-Terri présentent une fracturation naturelle importante qui s'ajoute à la fracturation induite par l'excavation des galeries. Une expérimentation a donc été mise en œuvre pour ausculter l'excavation de la saignée puis son reconfinement [2, 3]. Un dispositif ultrasonique a été développé pour ausculter la roche perturbée par la saignée. Cette méthode non destructive est sensible aux très légères variations de sollicitations mécaniques de la roche. Vingt-quatre capteurs répartis sur trois sondes ultrasoniques ont été disposés autour de la saignée avant son creusement puis dans le vérin hydraulique pendant son reconfinement (figures 4 et 5). L'image tomographique avant le creusement de la saignée a montré une zone fracturée correspondant aux perturbations induites par le creusement de la galerie principale. Les mesures ont aussi révélé la présence de fractures perturbant fortement la propagation des ondes et donc les caractéristiques mécaniques de la roche jusqu'à une profondeur du même ordre que celle de la saignée.

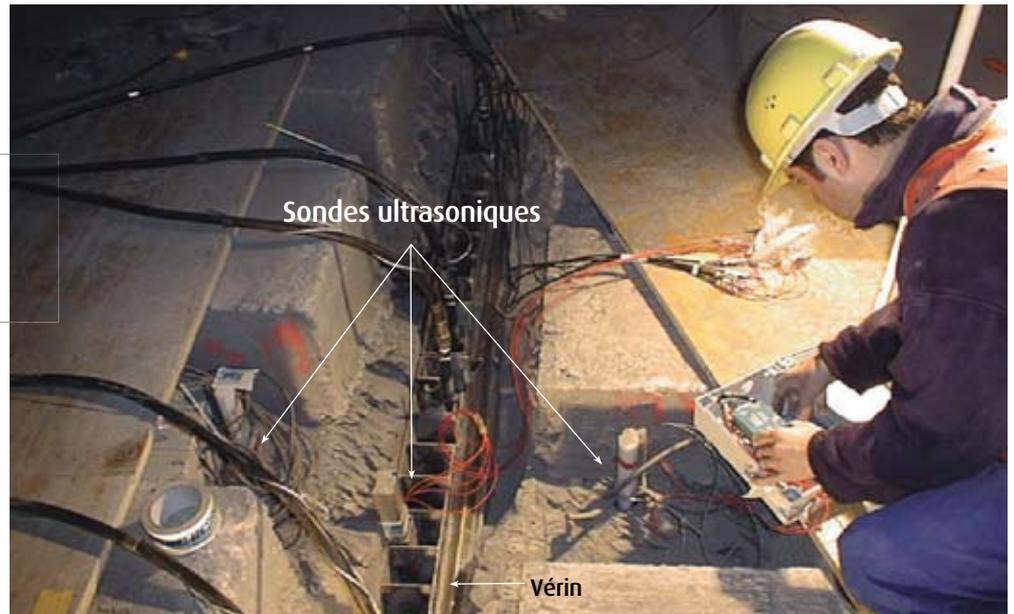
Schéma de principe du dispositif de tomographie ultrasonique.

4



5

Disposition des sondes ultrasoniques en forage et vérin hydraulique en place.



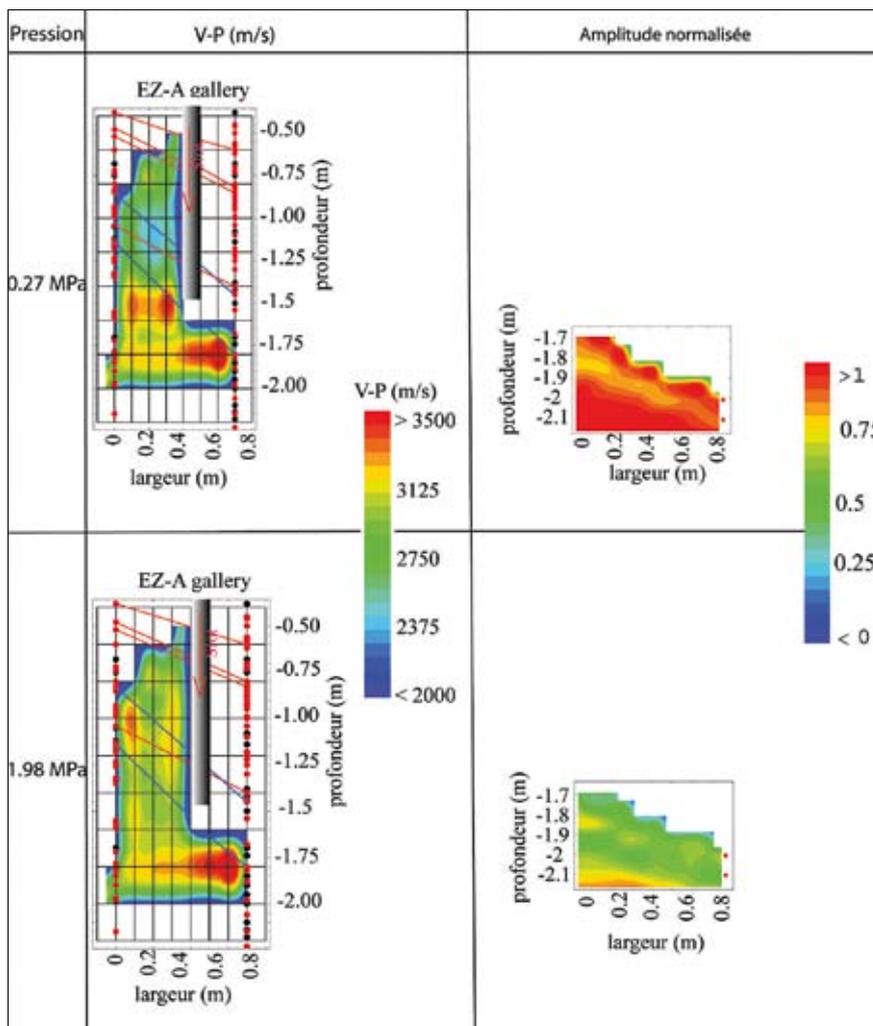
La surveillance des ondes pendant le creusement de la saignée a mis en évidence un endommagement et un déconfinement importants en bordure de saignée et un léger déconfinement sous la saignée jusqu'à 20 cm de profondeur. Le reconfinement de la saignée par le vérin hydraulique a permis d'améliorer partiellement les caractéristiques mécaniques du parement de la saignée proportionnellement à la pression appliquée (figure 6). Cependant, la configuration de l'essai a conduit à la propagation de petites fractures par traction au fond de la saignée puisque, à la différence du gonflement de briquettes de bentonite, aucune contrainte n'était appliquée au fond. Ce phénomène a été bien mis en évidence par la modélisation numérique.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'association d'une approche numérique 3D et de mesures expérimentales, dont l'implantation s'est appuyée sur les prédictions numériques, a permis d'évaluer le fonctionnement de saignées en tant que barrières hydrauliques.

Les phénomènes mécaniques ainsi que l'ordre de grandeur de la déformation obtenue par la modélisation numérique ont été confirmés par les résultats

expérimentaux. Ainsi, les modèles numériques s'avèrent adaptés pour reproduire ou prévoir le comportement de l'ouvrage et du massif encaissant. Par ailleurs, il est possible de suivre dans le temps et dans l'espace les perturbations que subit la roche à l'aide des méthodes instrumentales fines de type ultrasonique. Enfin, les résultats de ces études ont contribué à évaluer le concept de saignée que développe l'Andra. L'association de la modélisation avec l'observation a donc montré tout son intérêt. Ces recherches se poursuivent dans le laboratoire souterrain de l'Andra [1, 4] autour de saignées et de galeries et pourront avantageusement être développées à l'avenir tant dans la compréhension des phénomènes que leur caractérisation *in situ*. Les technologies et méthodologies de caractérisation *in situ* décrites précédemment ont été, en grande partie, développées dans le cadre de contributions de l'INERIS aux programmes de recherche européens OMNIBUS et NF-PRO, en partenariat avec l'Andra.



6

Variations de vitesse et d'atténuation des ondes pendant le reconfinement de la saignée.

SUMMARY

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL CHARACTERIZATION OF DAMAGE INDUCED BY EXCAVATION AND RE-CONFINEMENT OF SLOTS

The existence of an excavation damaged zone (EDZ) around a storage gallery may reduce the efficiency of the storage to confine radionuclides. Andra (French National Radioactive Waste Management Agency) is developing a new concept for storage sealing, based on the excavation of radial slots in the EDZ. Those slots have a low thickness and are filled with bentonite swelling bricks. Numerical and experimental approaches have highlighted the effect of the slot as a hydraulic barrier. The experimental results confirm the mechanical phenomenon and deformation level described by the numerical modelling. Therefore, the numerical modelling is suitable for reproducing and predicting the mechanical behaviour of the excavation and the rock mass. Moreover, ultrasonic velocity surveys of the vicinity are able to monitor precisely rock mass perturbations. These results have contributed to validating the slot barrier concept developed by Andra.

RÉFÉRENCES

- [1] Balland C., Renaud V., Morel J., Damaj J. (2005). "Velocity field simulation and velocity survey design around the Meuse/ Haute-Marne shaft excavation". Andra. Clays in natural and engineered barriers for radioactive waste confinement: abstracts of the 2nd international meeting, 14-18 March 2005, Tours, France, pp. 755-756.
- [2] Damaj J. (2006). « Auscultation et surveillance des perturbations hydromécaniques d'ouvrages souterrains par méthodes ultrasonores », thèse de doctorat de l'INPL, 160 p. + annexes.
- [3] Damaj J., Balland C., Armand G., Verdel T. (2005). "Velocity survey around a cross-cut slot". Andra. Clays in natural and engineered barriers for radioactive waste confinement: abstracts of the 2nd international meeting, 14-18 March 2005, Tours, France, pp. 753-754.
- [4] Kazmierczak J.B., Renaud V., Ghoreychi M., Ozanam O., Barnichon J.D. (2005). "Mechanical behaviour of a cut-off in argillites". Andra. Clays in natural and engineered barriers for radioactive waste confinement: abstracts of the 2nd international meeting, 14-18 March 2005, Tours, France, pp. 739-741.