

# COMITE FRANCAIS DE MECANIQUE DES ROCHES



<http://www.geotechnique.org>  
e-mail: [cfmr@brgm.fr](mailto:cfmr@brgm.fr)

## Le secrétaire général

S. GENTIER  
BRGM/CDG/ENE  
Avenue Claude Guillemin  
B.P. 6009, 45060 Orléans Cedex 2, France  
Tél : (33) 02.38.64.38.77

assistée de E. ORTEGA  
Tél : (33) 02.38.64.39.61  
Fax : (33) 02.38.64.33.34

Orléans, le 27 février 2006

## 1. INVITATION

La prochaine réunion technique du CFMR aura lieu le:

**6 avril 2006  
de 14h00 à 17h30  
Salle L109**

à l'Ecole des Mines de Paris  
60 Boulevard Saint - Michel  
Paris 6<sup>ème</sup>

Cette réunion est organisée par K. Ben Slimane (IRSN). La séance d'exposés aura pour thème :

**« Ouvrages de fermetures d'installations souterraines »**

*Ouvrages de fermetures d'installations souterraines*

\*\*\*\*\*

Le programme de la séance

\*\*\*\*\*

- 14h00 - 14h10 : **Introduction à la séance et présentation des orateurs** - K. BEN SLIMANE (IRSN)
- 14h10 - 14h40 : **Scellements dans un stockage géologique de déchets radioactifs, enjeux de sûreté et principes de conception** - O. OZANAM (ANDRA)
- 14h40 - 14h50 : **Discussion**
- 14h50 - 15h20 : **Techniques de mise en sécurité des ouvrages miniers débouchant à la surface** - C. FRANCK (GEODERIS)
- 15h20 - 15h30 : **Discussion**
- 15h30 - 16h00 : **Ouvrages de fermeture, le cas des stockage d'hydrocarbures** - T. YOU (GEOSTOCK)
- 16h00 - 16h10 : **Discussion**
- 16h10 - 16h40 : **Scellements de galeries de stockage, mise en oeuvre et premiers résultats d'expérimentations in situ** - G. ARMAND (ANDRA/Laboratoire de recherche souterrain de Bure)
- 16h40 - 16h50 : **Discussion**
- 16h50 - 17h00 : **Conclusion et synthèse de la séance** - K. BEN SLIMANE (IRSN)

*Ouvrages de fermetures d'installations souterraines*

**Scellements dans un stockage géologique  
de déchets radioactifs:  
enjeux de sûreté et principes de conception**

*ODILE OZANAM (ANDRA)*

Dans le cadre des études de faisabilité d'un stockage en formation géologique argileuse profonde, l'Andra a étudié en particulier comment fermer le stockage de manière à en assurer la sûreté à long terme. Un stockage de déchets radioactifs a pour fonction principale, après sa fermeture, de protéger les personnes et la biosphère de la dissémination de radionucléides contenus dans les déchets. L'opération de fermeture consiste principalement à remblayer et sceller les installations souterraines. Une fois fermés, les ouvrages doivent contribuer aux fonctions de sûreté suivantes : i) limiter sur le long terme les déformations mécaniques de la roche hôte, ii) limiter la circulation d'eau et iii) fractionner le stockage. La limitation des déformations de la roche repose essentiellement sur le remblayage de l'ensemble des galeries. La limitation des écoulements d'eau repose, en complément des caractéristiques de la roche et de l'architecture du stockage, sur des scellements, ouvrages localisés de faible perméabilité. Différents scellements sont implantés à des emplacements favorisant leur efficacité et leur redondance. Ils assurent ainsi le fractionnement du stockage.

La fermeture des puits comprend deux scellements et des remblais. Un premier scellement en partie supérieure de la couche d'argilites du Callovo-Oxfordien étudiée par l'Andra, isole le stockage des formations géologiques sus-jacentes ; il est constitué d'un noyau à base d'argile gonflante mis en contact direct avec la roche après dépose du revêtement entouré de massifs d'appui en béton. Le deuxième scellement a pour fonction de séparer les niveaux plus perméables des formations de couverture ; il est conçu comme le premier scellement.

En galerie, les scellements sont constitués d'un noyau à base d'argile gonflante, conférant à l'ouvrage sa très faible perméabilité, de massifs en béton et d'un remblai d'appui, assurant un confinement mécanique du noyau. Compte tenu des propriétés mécaniques des argilites au niveau des galeries, une zone d'argilites peut être endommagée, voire fracturée, en paroi lors de l'excavation. Comme cette zone fracturée peut limiter la performance globale d'un scellement, deux options de conception ont été retenues suivant qu'il y a ou non apparition d'une telle zone : (1) en l'absence de zone fracturée, dépose du revêtement pour assurer un contact direct entre l'argile gonflante du scellement et l'argilite, (2) en présence d'une zone fracturée, interruption de la zone fracturée par des saignées minces remplies ensuite d'argile gonflante. Par prudence au stade actuel des connaissances, l'Andra a considéré la deuxième option comme configuration de référence, en particulier pour les évaluations de sûreté.

D'après les évaluations de sûreté, les scellements jouent un rôle important dans la fonction « s'opposer à la circulation d'eau », mais le milieu géologique mobilisé par l'architecture arborescente en cul-de-sac assure une redondance en limitant les apports d'eau, même en cas de défaillance de tous les scellements. L'efficacité des fonctions de sûreté du stockage ne repose que partiellement sur les scellements ; la sûreté ne se fonde pas sur un composant unique dont la défaillance serait particulièrement préjudiciable : les différents éléments du stockage se combinent et se « relaient », le cas échéant, pour assurer la robustesse d'ensemble du système.

*Ouvrages de fermetures d'installations souterraines*

## **Techniques de mise en sécurité des ouvrages miniers débouchant à la surface**

*CHRISTIAN FRANCK (GEODERIS) ET ROMUALD SALMON (INERIS)*

La France métropolitaine regroupe de très nombreux sites miniers de nature, d'importance et d'âge très divers. Ils se répartissent sur des territoires géologiques variés où les gisements en métaux et substances sont apparus prometteurs et, pour nombre d'entre eux, se sont avérés propices à une exploitation, plus ou moins organisée, du matériau.

Ces travaux de recherche et d'exploitation ont nécessité de réaliser de très nombreux ouvrages débouchant à la surface, dont les fonctions étaient très variées (recherche pure, descente du personnel, extraction du minerai, aérage, etc.). Plusieurs milliers d'ouvrages ont ainsi été foncés sur le territoire national. Les techniques employées pour leur fermeture sont très variables selon l'état de l'art à l'époque des travaux, les capacités de l'exploitant, et les risques potentiels associés.

Aujourd'hui, il ne reste que quelques exploitations en activité ou dont le titulaire existe encore et en a la responsabilité : le reste des sites entre dans le cadre dit « de l'après-mine », à savoir la prise en charge par l'Etat de l'évaluation des séquelles de ces travaux miniers, ainsi que de leur surveillance et traitement.

L'exposé consistera en un panorama rapide de l'état de l'art des travaux d'obturation de ces ouvrages miniers en France, et une présentation du cadre réglementaire de leur fermeture par un exploitant. Enfin, quelques exemples de travaux spécifiques (réalisation de bouchons autoportants sur remblai ou suspendus, renforcement des terrains autour de la colonne d'un puits ...), ainsi que les contraintes qui leur sont associées, seront présentés.

\*\*\*\*\*

## **Ouvrages de fermeture, le cas des stockages des hydrocarbures**

*THIERRY YOU (GEOSTOCK)*

Les stockages souterrains d'hydrocarbures ne sont ni des Mines ni des ouvrages classiques de Génie Civil. Leur conception relève d'une méthodologie propre basée sur la comparaison avec les ouvrages similaires, le jugement d'ingénieur et le retour d'expérience. Les fermetures ne dérogent pas à ces principes généraux, la direction et la quantification des écoulements se doivent d'être maîtrisés en considérant qu'un bouchage n'est ni un barrage ni une dalle.

On présentera donc les principes de conception qui gouvernent les différents types de stockage, sans toutefois trop approfondir le cas des cavités salines pour lesquels les concepts les plus récents ont fait et feront l'objet d'autres présentations.

Par contre on présentera le cas concret d'une opération récente sur un stockage situé à Lavéra (Bouches du Rhône) pour lequel un confortement du bouchon de béton par recouvrement de coulis a été entrepris avec des précautions très particulières liées à l'opérabilité du site et à l'ancienneté de la réalisation initiale.

*Ouvrages de fermetures d'installations souterraines*

## **Scellement de galeries de stockage: mise en œuvre et premiers résultats d'expérimentations in situ**

*Gilles Armand (Andra)*

Dans le contexte de stockage développé par l'Andra, le concept de référence pour le scellement des galeries courantes est constitué d'un serrement (ou noyau) en argile gonflante encadré de part et d'autre par des massifs de confinement en béton et du remblai. Au droit de ce noyau, plusieurs saignées radiales de faible épaisseur sont réalisées afin de réduire la perméabilité axiale du scellement le long de la galerie courante. L'Andra a mis en œuvre un programme expérimental avec des expérimentations in situ pour montrer :

- La faisabilité des saignées radiales,
- La faisabilité du remplissage de ces saignées avec un matériau gonflant, en particulier en voûte,
- L'efficacité des saignées radiales de faible épaisseur vis-à-vis de la problématique de court circuit hydraulique,
- L'efficacité de la pression de gonflement dans la saignée.

L'essai EZ\_A réalisé en 2004 au laboratoire du Mont Terri (Suisse) a montré la faisabilité (i) d'une saignée radiale autour d'une galerie au moyen d'une scie, (ii) du remplissage de la saignée avec des briquettes de bentonite pour atteindre une densité de remplissage imposée, même en voûte. Au vu de ces résultats, un prototype de scie a été spécialement construit pour le Laboratoire souterrain de Meuse Haute Marne. Il permet de réaliser des saignées radiales autour d'une galerie en fer à cheval d'une profondeur constante pouvant aller jusqu'à 2,5 m. Ce prototype a été utilisé au laboratoire de Meuse Haute Marne dans l'expérimentation KEY pour :

- l'évaluation de l'efficacité des saignées radiales à éviter des courts circuits hydrauliques par la zone fracturée. Elle consiste à vérifier que des écoulements gazeux le long de la zone fracturée sont bien interrompus par des saignées radiales, remplies de résine polyuréthane, de 7 cm d'épaisseur et de 2 m de profondeur remontant 1,4 m au dessus de la sole dans les parements.
- la vérification de l'efficacité de l'application d'une pression de gonflement dans la saignée à confiner l'argilite autour. Elle consiste à réaliser des cycles de chargement au moyen de vérins sur les parois d'une saignée de 33 cm d'épaisseur, de 2 m de profondeur, remontant 1 m au dessus de la sole dans les parements, pour simuler le gonflement de briquettes de bentonite au cours de leur saturation. Pendant l'essai l'évolution de déplacements et de vitesses des ondes de compression est mesurée à proximité immédiate de la saignée.

Avant de réaliser les essais de coupure hydraulique, il a été procédé à une caractérisation de la zone endommagée. Les différentes méthodes utilisées (analyse structurale des carottes de forage, diaggraphie microsismique, mesure de sismique réfraction et d'onde de surface, mesure de perméabilité au gaz et à l'eau) ont permis de déterminer l'extension et la perméabilité de la zone endommagée au radier de la galerie.

La réalisation des saignées n'a pas posé de difficulté, les parois étaient verticales et stables. Trois rangées de 3 forages verticaux ont été faites de part et d'autre des deux saignées. Des tests d'interférence par pompage pneumatique et par traçage à l'hélium ont été réalisés dans ces forages avant et après installation des saignées. Après réalisation des saignées, les connexions entre forages situés de part et d'autre des saignées sont interrompues. Les essais confirment ainsi le rôle de barrières étanches des saignées radiales de faible épaisseur remplies de résine.

***Ouvrages de fermetures d'installations souterraines***

Un chargement des parois a été effectué par trois vérins souples placés côte à côte dans la saignée entre des intercalaires métalliques. Le dispositif expérimental comprend une instrumentation géotechnique (inclinomètres et extensomètres) et un dispositif de mesure de vitesse « velocity survey » (comportant 4 cannes avec des capteurs piézoélectriques (émetteur/récepteur) dont une dans un des vérins).

L'augmentation de la pression dans la saignée implique une augmentation des vitesses des ondes de compression le long de la paroi de la saignée qui traduit l'amélioration du comportement mécanique de la roche autour de la saignée. Cet essai s'est poursuivi par démontage des vérins et le remplissage de la saignée avec des briquettes de bentonite. Un système d'hydratation a été mis en place entre les briquettes. La phase d'hydratation des briquettes a commencé en février 2006.