Apport de la surveillance microsismique continue en champ proche pour la détection de mécanismes et signes précurseurs aux instabilités gravitaires - Surveillance expérimentale d'une cavité saline en exploitation : cas de Cerville-Buissoncourt

Ngoc-Tuyen CAO – Ngoc-Tuyen.CAO@ineris.fr

Directeur de thèse : Jack-Pierre **PIGUET** – Ecole des Mines de Nancy / LAEGO – directeur@mines.inpl-nancy.fr -- Pascal **BERNARD** – Institut de Physique du Globe de Paris – bernard@ipgp.jussieu.fr

Thèse suivie à l'INERIS (Nancy) par Isabelle **CONTRUCCI** – Direction des risques du Sol et du Sous-sol – Auscultation et surveillance géotechnique et géophysique

Contexte général et objectifs de la thèse

La présence de cavités souterraines naturelles ou anthropiques peut être à l'origine de mouvements de terrain par effondrement localisé ou généralisé. Une solution, pour diminuer la vulnérabilité des zones concernées, est la gestion du risque par la surveillance géotechnique et/ou géophysique. Cette dernière est cependant difficile à mettre en œuvre et le retour d'expérience est encore limité. Pour améliorer la prévention des risques liés à ces cavités, le GISOS[1] a instrumenté en 2004 une cavité saline exploitée de manière intensive par dissolution allant jusqu'à l'effondrement des terrains de recouvrement. Les objectifs généraux du projet étaient (1) de tester des méthodes géophysiques et géotechniques de détection des signes précurseurs d'instabilité (2) d'améliorer la connaissance sur le comportement et l'évolution des cavités salines et (3) d'évaluer la possibilité de transposer les résultats obtenus à d'autres contextes miniers. Cette thèse s'inscrit dans le cadre général de ce projet et exploite de façon privilégiée les données microsismiques pour répondre à ces questions. En particulier, la mise en œuvre d'algorithmes novateurs devrait permettre de tirer profit de toute l'information contenue dans le signal microsismique.

Présentation du site d'expérimentation et des données

Le site d'expérimentation se situe dans le bassin salifère lorrain, dans la concession minière de Cerville-Buissoncourt appartenant à Solvay SA. Sa géologie montre la présence singulière d'un banc de dolomie situé à 120 m de profondeur, conditionnant la stabilité du recouvrement lors de la création et de l'agrandissement de la cavité. Il joue le rôle d'un "banc raide".

Le dispositif multi-paramètres, installé par l'INERIS, comprenait un système d'écoute microsismique haute résolution composé de 9 sondes (bande passante de 40 Hz à 1 kHz), dont 4 tridirectionnelles ; l'une d'elles étant localisée dans le banc de dolomie. En parallèle, les changements de niveaux de la surface du sol étaient suivis à l'aide de balises GPS haute résolution (précision de ±5 mm) et d'un tachéomètre motorisé à visée laser (précision de ±3 mm) mesurant la position de 17 cibles.

Ainsi, jusqu'en Février 2008, l'activité microsismique reste faible. Ce n'est qu'à partir du printemps 2008 que des signes d'évolution ont été réellement visibles. Trois crises microsismiques majeures, avec plusieurs milliers d'événements, sont enregistrées : elles sont associées à des décrochements massifs du toit de la cavité (confirmés par les mesures de diagraphies). Les mouvements de surface, bien que faibles (< 1 cm), deviennent mesurables. Le régime microsismique de fond passe de quelques événements à ~ 25 événements par jour en moyenne.

De fait, l'exploitant a décidé de provoquer l'effondrement, dans des conditions maîtrisées, par rabattement de la saumure. Ces opérations se sont déroulées du 10/02/2009 à 06h00 TU au 13/02/2009 à 04h45. L'effondrement a été accompagné par une activité microsismique intense (> 30000 événements sur 4 jours), caractérisée par des pics d'activité coïncidant avec des variations brutales du niveau de saumure dans la cavité, ainsi que des accélérations de l'affaissement de surface (atteignant 4 m au centre de la zone environ 20 minutes avant l'effondrement final). Le dispositif a permis de mettre en évidence la rupture généralisée du banc de dolomie, une vingtaine d'heures avant l'effondrement général.

Avancement des travaux / Résultats

Une première étape a consisté à analyser l'évolution de l'activité microsismique, en termes de signature des événements en amplitude, énergie au capteur et fréquence fondamentale à partir des

[1] Groupement d'Intérêt Scientifique sur l'Impact et la Sécurité des Ouvrages Souterrains, regroupant le BRGM, l'INERIS et l'INPL et l'ENSMP

informations extraites de la base de données. Les résultats obtenus montrent une évolution significative des maxima atteints pour chacun des paramètres considérés, entre les crises anté-effondrement et la période d'effondrement.

Aussi, la pertinence de l'expertise des données microsismiques en termes d'évolution (instable ou non) de la zone surveillée repose avant tout sur la distribution spatio-temporelle des foyers. Ce point est crucial, puisqu'il conditionne toute la qualité des résultats qui suivent la localisation. En outre, afin d'assurer l'homogénéité des traitements du fait notamment du volume important de données (~ 60 000 événements microsismiques), cette dernière a nécessité :

- le paramétrage du module de pointé automatique des ondes P (basé sur un algorithme de type STA/LTA, avec un seuil du rapport signal sur bruit comme critère de "non pointé"), effectué sur la base de tests comparatifs avec des pointés manuels. Les écarts obtenus sont relativement faibles, de l'ordre de 0.004 à 0.007 s en moyenne selon les sondes (soit 20 à 40 échantillons) ;
- un tri des événements microsismiques, sur la base de l'amplitude du signal en début de fenêtre pour discriminer : (1) les événements isolés sur les fenêtres d'enregistrement, pointables, représentant environ 1/3 des enregistrements ; (2) des "rafales", où l'association de phases entre les diverses sondes du réseau est délicate. Seuls les événements issus de ce tri, montrant les meilleurs rapports signal sur bruit, soit 10% de l'ensemble des enregistrements, ont en première approche été localisés du fait qu'ils présentent les erreurs les plus faibles ;
- le calibrage de la localisation, notamment la détermination du modèle de vitesse du milieu, a été effectué à l'aide de tirs de calage réalisés en surface en 2004. Un modèle de vitesse (initial) optimal a ainsi été ajusté, par inversion : ce dernier montre une inversion de vitesse dans le recouvrement, n'étant pas représenté ou en contradiction avec les anciens modèles (thèse de D. Mercerat, 2007) ;
- une étude paramétrique pour évaluer l'impact des erreurs sur les données d'entrée (temps d'arrivée des ondes P pointés manuellement ou automatiquement, temps d'arrivée des ondes S et angles de polarisation, etc.) et l'apport même de ces données dans le calcul de localisation, afin de juger de la pertinence des résultats. Ces derniers montrent des tendances similaires, les décalages moyens entre les positions calculées avec les diverses localisations étant de l'ordre de la vingtaine à la quarantaine de mètres.

La distribution spatio-temporelle des foyers pendant la période anté-effondrement montre la chute progressive du toit de la cavité. Durant celle d'effondrement, elle souligne d'abord la rupture du banc de dolomie, puis la remontée des foyers dans le recouvrement.

Perspectives

La concordance des mesures met en évidence les principales étapes d'évolution du site et permet déjà d'appréhender un scenario de rupture généralisé. Ce dernier doit cependant être affiné par l'analyse approfondie de l'ensemble des données de mesure collectées sur le site. Dans la suite, il s'agira de continuer à exploiter les données microsismiques, notamment par : (1) la localisation "relative" d'essaims (doublets/multiplets) par corrélation des événements microsismiques qui se ressemblent ; (2) la localisation "relative" selon un critère en amplitude des rafales, de la même manière que les trémors sismiques ; (3) la recherche et mise en œuvre des méthodes de caractérisation de la source, en termes d'énergie et de mécanismes au foyer. Ceci devrait permettre de valider ou non le scénario d'effondrement.

Mots clés : écoute microsismique, système de surveillance, signes précurseurs, instabilité gravitaire, cavité saline

Publications

Cao, N.T., Klein, E., Contrucci, I., Daupley, X. & Bigarré, P., 2010. Large-scale salt cavern collapse: Multi-parameter monitoring from precursor signs to general failure. *EUROCK 2010.*