

Surveillance de l'évolution d'une cavité saline jusqu'à son effondrement

La prévention et la maîtrise des risques de mouvements de terrains liés à la présence de cavités souterraines font l'objet de travaux de recherche et développement menés à l'INERIS dans le cadre de programmes d'appui technique au Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT).

Ainsi, l'INERIS participe depuis 2004, dans le cadre du GISOS¹, à une expérimentation sur une cavité saline en exploitation dans le bassin salifère lorrain, à quelques kilomètres de Nancy. Le site d'expérimentation se situe à l'intérieur du périmètre de la concession minière de Cerville-Buissoncourt appartenant à la société SOLVAY. La méthode d'exploitation utilisée, dite "intensive" consiste à récupérer l'intégralité du gisement de sel par dissolution, laisser s'effondrer les terrains de couverture puis réaliser des réaménagements de surface. L'INERIS a mis à profit l'occasion unique, offerte par l'effondrement volontaire d'une grande cavité souterraine dans le sel (effondrement faisant partie de la méthode d'exploitation employée), pour confirmer en vraie grandeur, la validité des techniques d'auscultation et de surveillance employées par l'Institut. Dans le contexte de cavités abandonnées, ces techniques permettent de détecter les phénomènes d'effondrement, dont le déclenchement peut être brutal, et laisser le temps aux pouvoirs publics et aux collectivités de prendre les mesures de protection nécessaires. Notons que plusieurs méthodes géotechniques et géophysiques complémentaires ont été mises en œuvre sur le site par les partenaires du GISOS, notamment le BRGM.

Pour suivre les différentes étapes de l'évolution de la cavité jusqu'à son effondrement, l'INERIS a implanté dans le sous-sol un réseau de capteurs microsismiques, destiné à "écouter" les micro-craquements des terrains, signes précurseurs de l'évolution instable de la cavité conduisant à son effondrement. Ce travail est réalisé par une équipe de l'INERIS basée à l'Ecole des Mines de Nancy, partenaire historique de l'Institut².

En parallèle à l'écoute microsismique, l'INERIS suit également l'évolution de la surface du sol à l'aide de balises GPS haute résolution et d'un tachéomètre, dispositif automatisé de visée laser de cibles implantées sur la zone d'effondrement.

Les différentes mesures réalisées sur le site, depuis le début de l'expérimentation, sont transmises, en temps réel, au centre de surveillance de l'INERIS à l'Ecole des Mines de Nancy.

Précisons que la surveillance microsismique est opérée par l'Institut sur des zones à risque d'effondrement au droit d'anciennes exploitations souterraines, notamment dans le bassin ferrifère lorrain. La méthode a déjà été validée par plusieurs essais in situ (torpillage d'un pilier, tirs de calage). Toutefois, aucun effondrement ne s'est produit jusqu'à présent sur les sites instrumentés. La cavité de Cerville offre donc la première occasion de mettre à l'épreuve la surveillance microsismique dans le cadre d'un effondrement en vraie grandeur.

¹ Le GISOS (Groupement d'Intérêt Scientifique sur l'Impact et la Sécurité des Ouvrages souterrains) associe l'INERIS, le BRGM, l'INPL et l'ENSMMP.

² Conclu il y a 50 ans, ce partenariat sera renforcé dans le domaine de la surveillance géophysique et géotechnique, dans le cadre du projet ARTEM, soutenu par la Communauté Urbaine du Grand Nancy, la Région Lorraine et le Département de Meurthe-et-Moselle.

Dans la zone étudiée, le gisement de sel est situé entre 200 et 280 m de profondeur. Au début de l'expérimentation, le toit de la cavité, réalisée par dissolution de sel, se situait à 200 m de profondeur. La chute progressive des bancs marneux du toit de la cavité a conduit à sa remontée jusqu'au niveau d'un banc très raide et résistant, de 8 m d'épaisseur, constitué de dolomie et d'anhydrite (ensemble connu sous le nom de Dolomie de Beaumont). A ce stade d'évolution, atteint en avril 2008, la cavité dont le toit se situait à 120 m de profondeur avait une largeur de l'ordre de 120 m et une hauteur voisine de 50 m (figure 1). La remontée de la cavité sur ce schéma s'explique d'une part, par la chute du toit et, d'autre part, par le foisonnement des terrains d'éboulis, responsable d'une remontée de la base de la cavité (le mur).

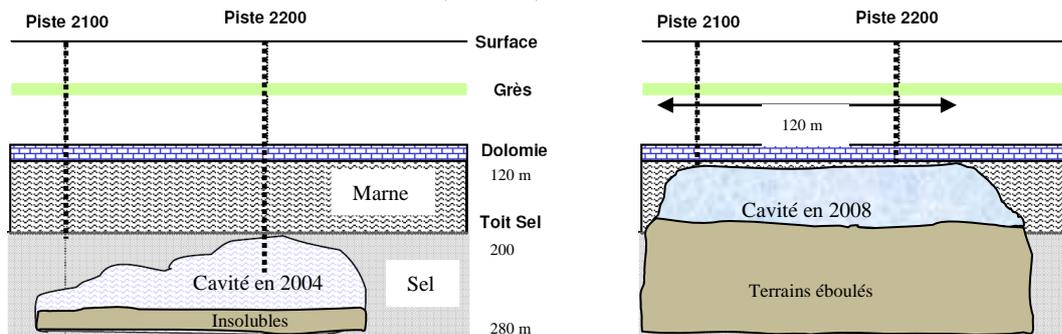


Figure 1 : Coupe schématique de la cavité et de sa position en 2004 et 2008 (estimation) avant l'effondrement

Opérations récentes ayant conduit à l'effondrement de la cavité

Alors que la cavité avait atteint ses dimensions critiques, l'exploitant a décidé d'accélérer son effondrement. Pour ce faire, des opérations de pompage dans la cavité ont permis de réduire le niveau de la saumure et ainsi la pression hydrostatique qui contribuait jusqu'alors à soutenir les parois de la cavité.

Ces opérations ont débuté le mardi 10 février 2009 à 7 heures et se sont poursuivies jusqu'à l'effondrement de la cavité, survenu le vendredi 13 février à 5h45.

Principaux résultats de la dernière année jusqu'à l'effondrement de la cavité

Les premiers signes d'évolution significative de la cavité ont été détectés par le dispositif de surveillance microsismique en mars et avril 2008³. Ces signes précurseurs de l'évolution de la cavité vers son effondrement ont précédé un déplacement de la surface du sol de faible amplitude. Cet affaissement n'avait pas dépassé 3,5 cm pendant toute la période qui a précédé l'opération récente de pompage. Des accélérations épisodiques de l'activité microsismique ont continué d'être enregistrées au second semestre 2008.

³ Ces travaux ont fait l'objet de différentes publications : Mercerat, 2007, Driad et al, 2008, Klein et al, 2008.

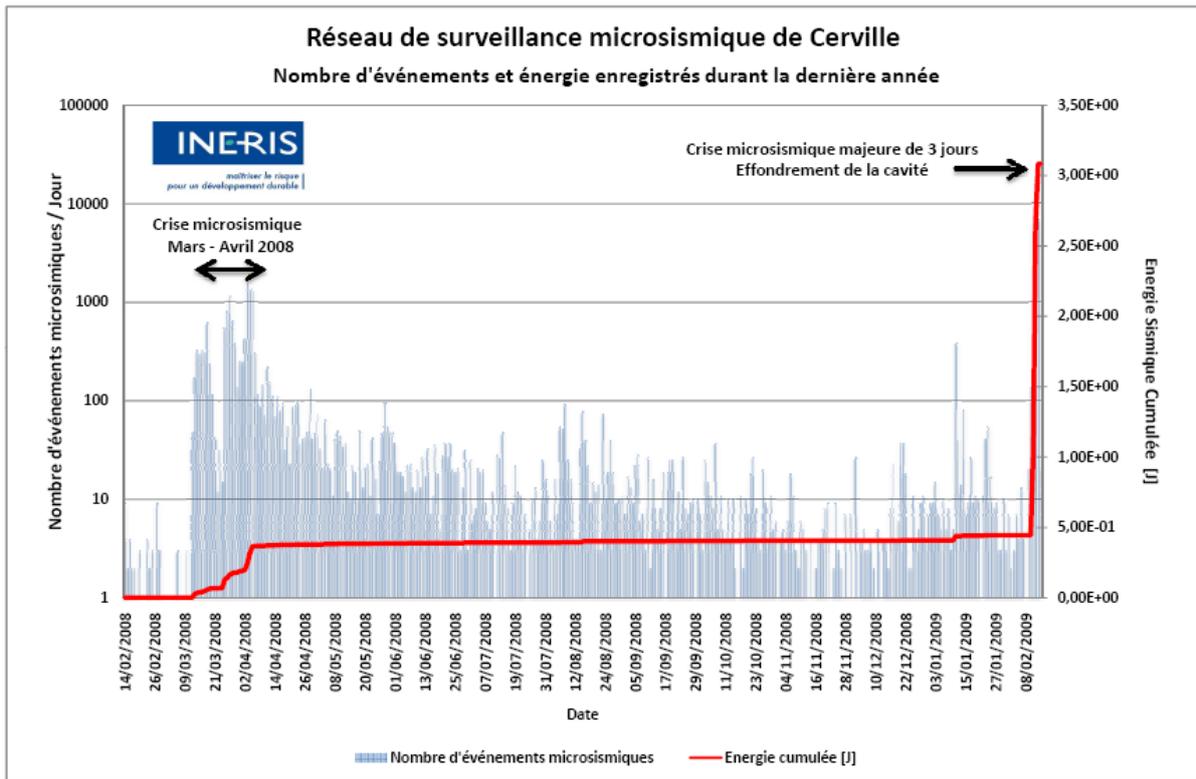


Figure 2 : Evolution de la microsismicité lors de la dernière année de mesure

Plusieurs milliers d'événements microsismiques ont été enregistrés durant les jours qui ont précédé l'effondrement. Un travail d'interprétation fine de ces données est en cours. Les premiers résultats de dépouillement partiel des données sont présentés sur la figure 3.

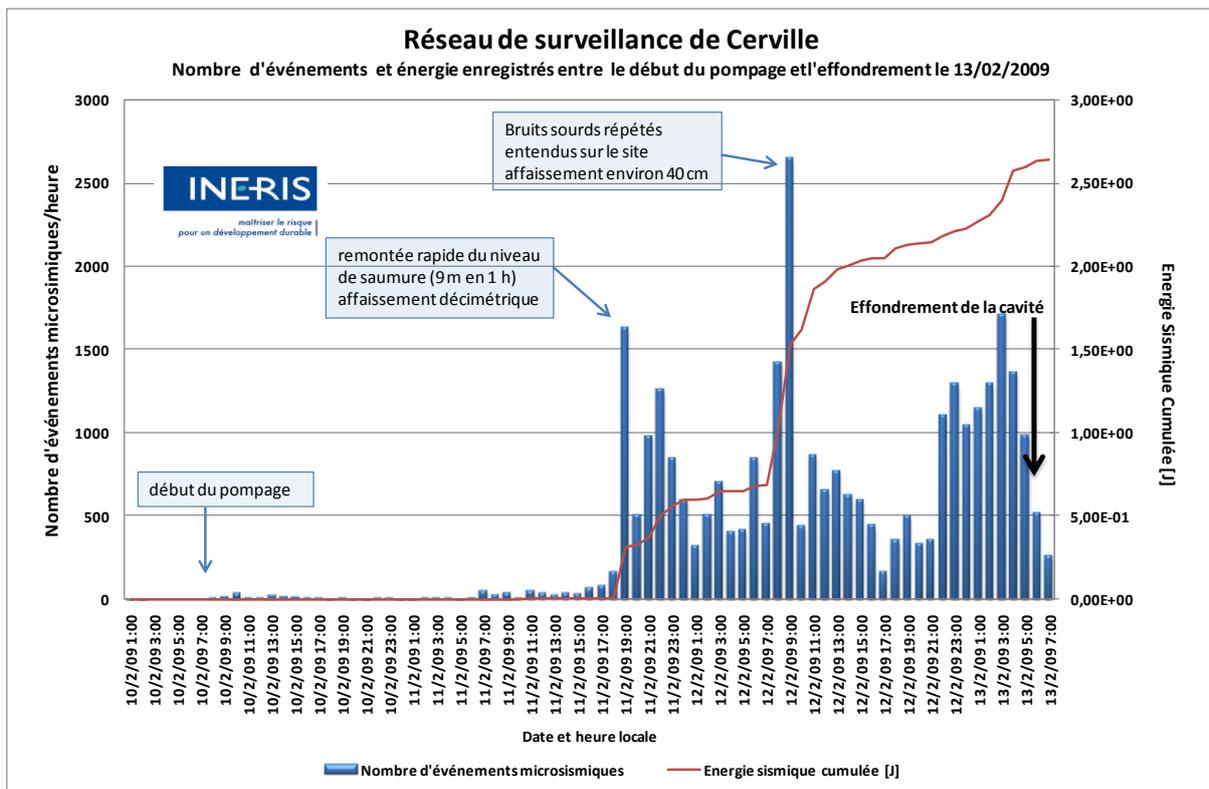


Figure 3 : Evolution de la microsismicité lors du pompage

Les figures 3 et 4 montrent :

- une activité microsismique peu significative en nombre d'événements et en énergie cumulée, durant la première journée de pompage. Ce fait s'explique par le déplacement encore modéré de la couverture de la cavité dont l'amplitude n'a pas dépassé 5 cm en surface du sol. Ce phénomène apparaît sur la figure 4 qui présente l'évolution dans le temps de l'affaissement maximum de la surface du sol, mesuré par le GPS différentiel haute résolution, au centre de la zone de l'effondrement ;
- une accélération brutale de l'activité microsismique, détectée le soir du deuxième jour du pompage à 19 h. Elle est caractérisée par des déclenchements continus d'événements microsismiques d'un niveau d'énergie élevé, sans commune mesure avec les événements de mars et avril 2008. Ce phénomène est marqué par l'accélération de l'affaissement de la surface du sol, visible sur la figure 4. Cette accélération est accompagnée d'une augmentation rapide du niveau de saumure, d'une amplitude de 9 m en 1 heure. A partir de cette date, l'activité microsismique est restée très soutenue ;
- un nouveau pic d'activité microsismique, enregistré le 12 février 2009 au matin. Il se traduit par un nouveau saut de l'énergie cumulée et est accompagné de bruits sourds répétés entendus sur le site, alors que l'affaissement de la surface du sol a atteint environ 40 cm. Ces bruits témoignent d'une rupture franche du banc de Dolomie de Beaumont dont la fracturation avait probablement commencé la veille, comme l'indique le premier pic d'activité microsismique ;
- une accélération notable de l'affaissement, liée à la descente des terrains de recouvrement. Ce processus dure environ une journée. Sa cinétique est contrôlée, d'une part par le frottement sur le pourtour de la zone d'effondrement et d'autre part, par la présence de la saumure dans la cavité (liquide peu compressible) dont l'évacuation est contrainte tant que des fractures ne sont pas ouvertes jusqu'à la surface.

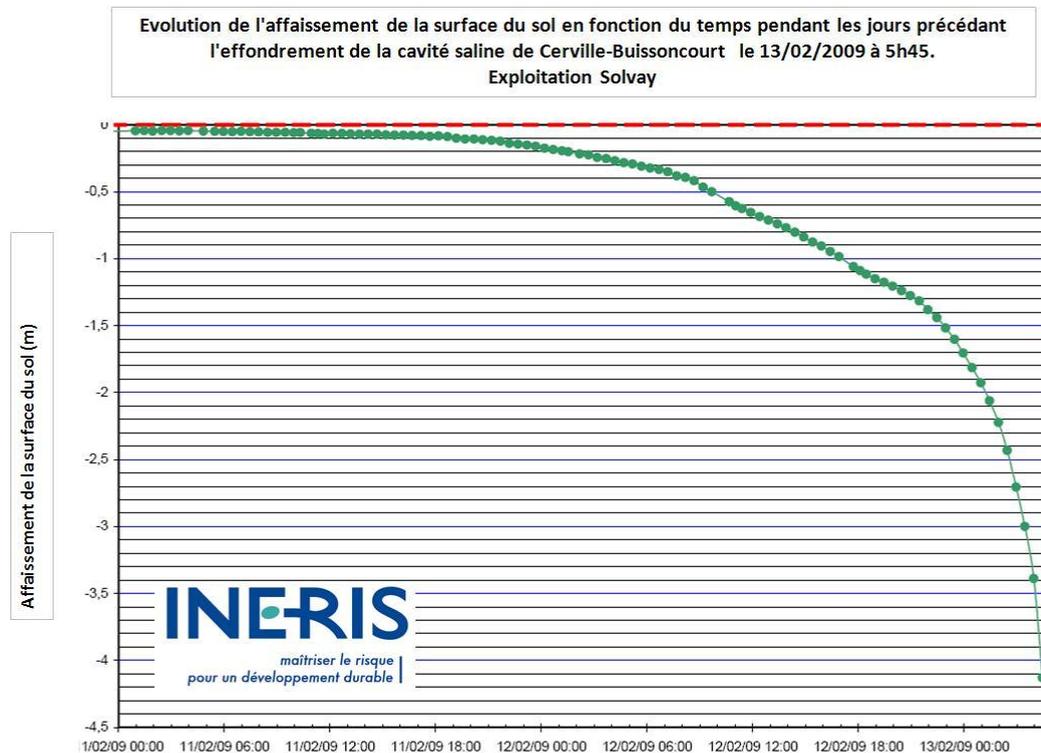


Figure 4 : Evolution de l'affaissement mesuré par le GPS différentiel haute résolution

La figure 5 montre l'évolution de la cuvette d'affaissement. Le soir précédant l'effondrement, l'affaissement maximum au centre de la cavité était de l'ordre de 1 m. Il a ensuite été suivi par la balise GPS pour atteindre plus de 4 m quelques minutes avant l'effondrement.

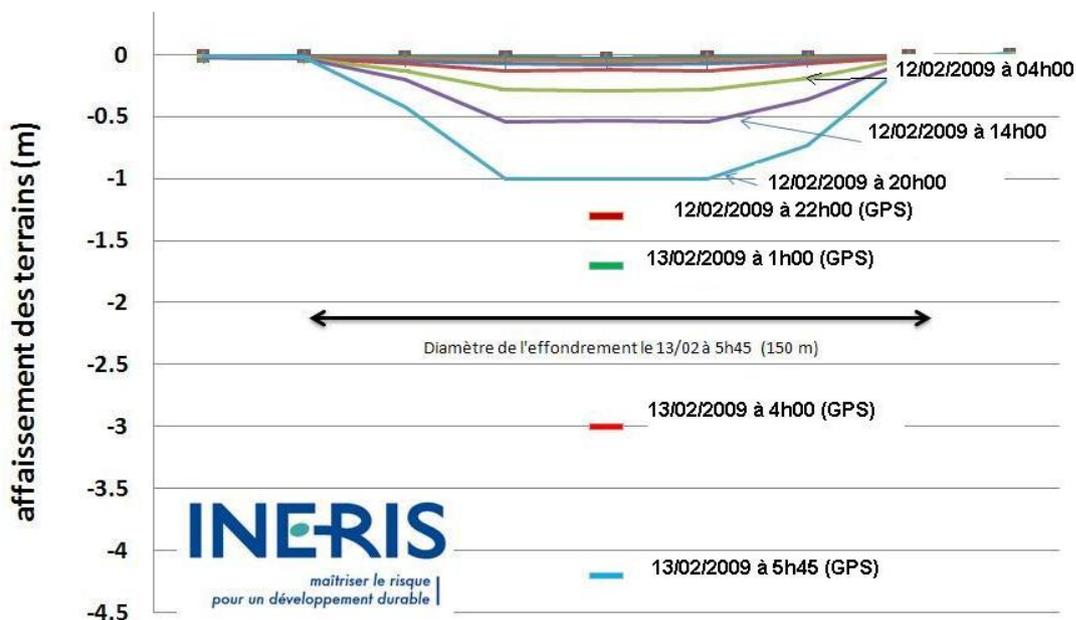


Figure 5 : Evolution de la cuvette d'affaissement enregistrée par le tachéomètre et affaissement final avant l'effondrement mesuré par le GPS.

La figure 6 présente une vue photographique de l'effondrement le 13 février au matin. Le plan d'eau visible sur la photographie correspond à la saumure contenue initialement dans la cavité.



Figure 6 : photographie de l'effondrement

Ces résultats, qui feront l'objet d'une analyse scientifique approfondie, mettent en évidence l'intérêt d'une surveillance opérationnelle géophysique et géotechnique dans le contexte post minier où la sécurité des personnes et des biens et la protection de l'environnement peuvent être menacées par la présence d'anciennes cavités souterraines.

Références

Mercerat (D.). *Sismicité induite et modélisation numérique de l'endommagement dans un contexte salin*. Thèse de doctorat soutenue en 2007 à l'Institut National Polytechnique de Lorraine, en collaboration avec l'Institut de Physique du Globe de Paris.

Driad-Lebeau (L.), Daupley (X.), Mercerat (D.). *Suivi d'une cavité saline jusqu'à son effondrement : analyse microsismique*. Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur JNGG'08, Nantes, 18-20 juin 2008, pp. 313-320.

Klein (E.), Contrucci (I.), Daupley (X.), Hernandez (O.), Bigarré (P.), Nadim (C.), Cauvin (L.). *Experimental Monitoring of a Solution-mining Cavern in Salt: Identifying and Analyzing Early-Warning Signals Prior to Collapse*. SMRI Fall 2008 Technical Conference, Austin, Texas (Etats-Unis), 13-14 octobre 2008.

Pour en savoir plus : www.ineris.fr