HAL
open science

Suivi d'une cavité saline jusqu'à son effondrement : analyse microsismique

Lynda Driad-Lebeau, Xavier Daupley, Diego Mercerat

To cite this version:

Lynda Driad-Lebeau, Xavier Daupley, Diego Mercerat. Suivi d'une cavité saline jusqu'à son effondrement : analyse microsismique. Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur "Insertion des grands ouvrages dans leur environnement. Bulletin n°1" (JNGG'08), Jun 2008, Nantes, France. pp.313-320. ineris-00973305

HAL Id: ineris-00973305

https://ineris.hal.science/ineris-00973305

Submitted on 4 Apr 2014

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.

SUIVI D'UNE CAVITE SALINE JUSQU'A SON EFFONDREMENT : ANALYSE MICROSISMIQUE

MONITORING OF SALT CAVITY UP TO ITS COLLAPSE: MICROSEISMIC ANALYSIS

Lynda DRIAD-LEBEAU [1], Xavier DAUPLEY[1], Diego MERCERAT[2]

1 Institut National de l'Environnement industriel et du RISque (INERIS), Parc Technologique ALATA, BP 2, 60550 Veneuil-en-Halatte, France
2 Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP), 5 Place Jussieu, 75045 Cedex Paris, France

RÉSUMÉ – Ce papier présente le suivi d'une cavité saline située à 200 m de profondeur qui a fait l'objet, par les partenaires du GISOS[1], d'une importante instrumentation géophysique, géotechnique et hydrogéologique. L'occasion offerte de l'effondrement délibéré de cette cavité permet de tester, en conditions contrôlées, des techniques d'auscultation et de surveillance, notamment l'écoute microsismique, suivie par l'INERIS, et ce, depuis son état stationnaire jusqu'à son effondrement.

ABSTRACT – This paper presents the monitoring of a 200 m deep salt cavity which was the object, by the partners of the GISOS, of a significant geophysical, geotechnical and hydrogeological instrumentation. The opportunity of a deliberated collapse of this cavity makes it possible to test from its stationary state to its collapse and in controlled conditions, several techniques of auscultation and monitoring, in particular the microseismicity, conducting by INERIS.

1. Introduction

La gestion des risques dans le contexte de l'après-mine nécessite une connaissance pointue de l'évolution, sur le long terme, des ouvrages souterrains afin de prévenir les évolutions potentiellement dommageables pour les biens et les personnes. Cette problématique se pose dans le contexte des anciennes exploitations de sel qui ont pu laisser, dans le sous-sol, des cavités plus ou moins vastes qui peuvent, sous certaines conditions, évoluer pour occasionner en surface des phénomènes tels que des affaissements ou encore des effondrements. Un programme de recherche a été proposé pour mettre en œuvre et valider des outils et des méthodes permettant, d'une part, de définir des moyens de surveillance adaptés au contexte des anciennes exploitations de sel et, d'autre part, d'acquérir des données indispensables pour améliorer la connaissance sur le comportement et l'évolution de ces cavités. Pour y parvenir, des expérimentations *in situ* ont été réalisées pour optimiser et tester des outils et des méthodes adaptés à la surveillance des cavités salines et étudier très précisément l'apport de chacune des méthodes pour la détection et/ou la prévision du phénomène redouté et de connaître

[1] GISOS : Groupement d'intérêt Scientifique sur l'Impact et la Sécurité des Ouvrages Souterrains créé par le BRGM, l'INERIS, l'INPL et l'ENSMP.

leurs limites d'application. La cavité instrumentée se situe dans la concession de sel de Cerville-Buissoncourt (Meurthe-et-Moselle), exploitée par dissolution par la société SOLVAY.

1.2. Site expérimental

Le site salin de Cerville-Buissoncourt se situe dans le bassin salifère de Nancy (54). Il est exploité depuis 1997 par dissolution par la méthode des pistes et sondages. Il s'agit de forages alignés atteignant la base du gisement de sel à environ 260 m de profondeur. La méthode consiste à exploiter la totalité du gisement jusqu'à provoquer volontairement l'effondrement des terrains de recouvrement. Le contexte général du site ainsi que la cavité formée par dissolution sont illustrés sur la figure 1. Deux points essentiels sont à noter : (1) la géométrie, connue de la cavité au début de l'expérimentation, va évoluer inéluctablement jusqu'à son effondrement. Toutes les étapes de l'évolution de cette cavité pourront ainsi être suivies et mesurées ; (2) l'exploitation a été interrompue en 2004, stoppant l'évolution de la cavité. Une première phase, dite d'état initial, sans dissolution dans la cavité, a pu être suivie. A cette date, le toit de la cavité avait atteint, sur une moitié de sa superficie, la base des marnes à anhydrite sus-jacentes. Depuis 2006, l'exploitant pratique la dissolution en aval de la cavité (à plus de 200 m) et, depuis mai 2007, une évolution significative de la cavité a été constatée.

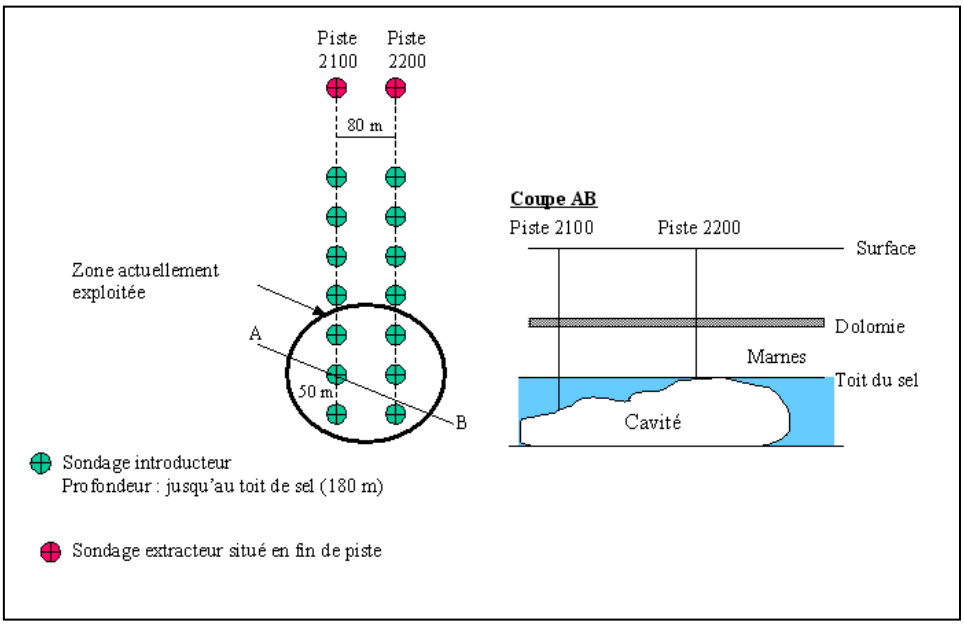

Figure 1: Schéma de principe de l'exploitation par piste et sondages de Cerville-Buissoncourt et position de la cavité instrumentée

1.2. Programme instrumental

Le programme instrumental a consisté en la mise en œuvre, par des partenaires du GISOS et en étroite collaboration avec l'exploitant (Solvay), de techniques géophysiques, géotechniques et de suivis hydrochimiques (Figures 2a et 2b). Les instrumentations opérationnelles depuis fin 2004, ont permis l'acquisition de mesures de l'état de la cavité en particulier l'écoute microsismique avant la reprise de la

dissolution au droit de la cavité (mars 2008) qui entraînera l'effondrement de la cavité.

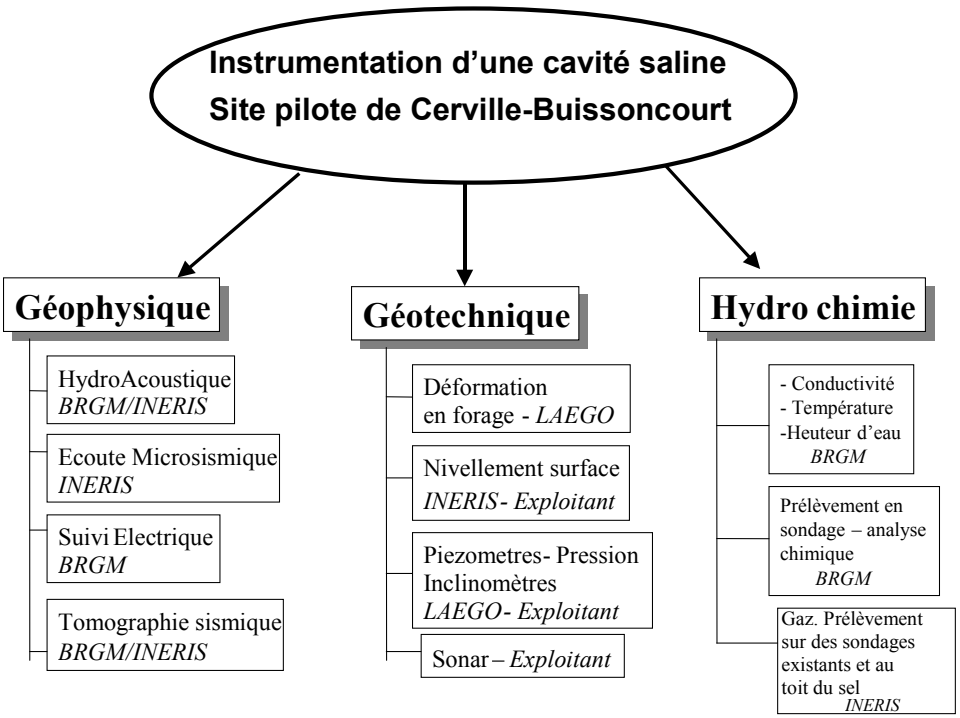

Figure 2a: Organigramme de l'instrumentation de la cavité saline de Cerville-Buissoncourt

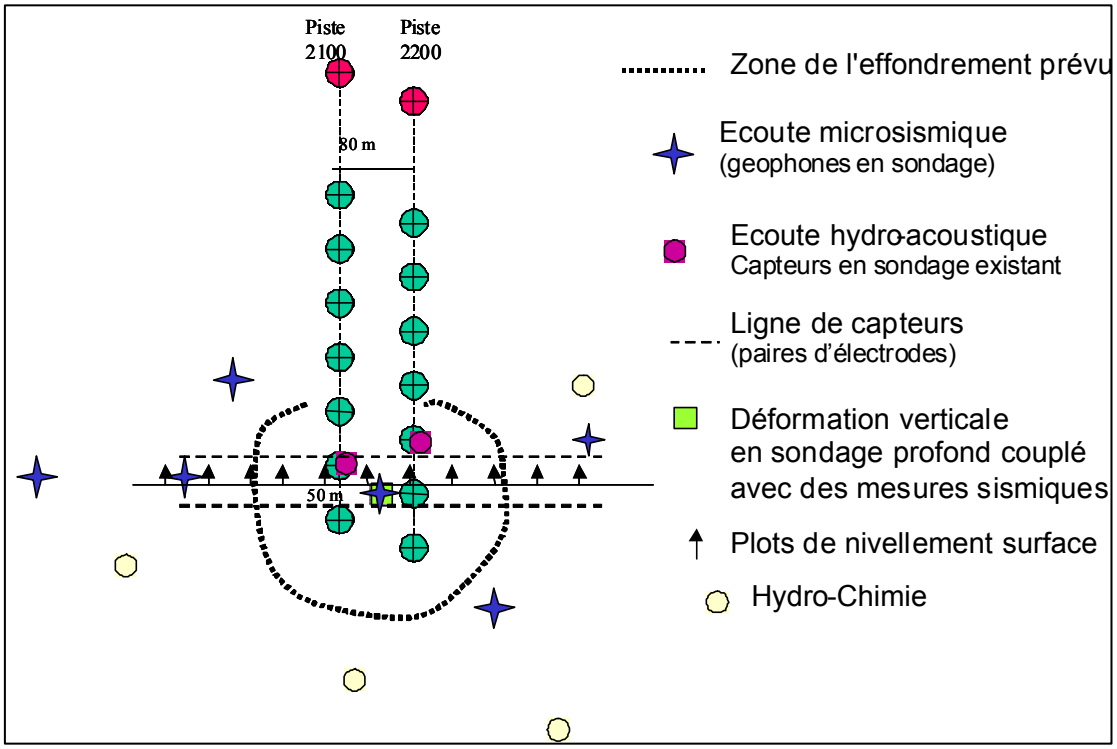

Figure 2b: Schéma des différentes instrumentations de la cavité saline de Cerville-Buissoncourt

Compte tenu du retard[2] accumulé sur la reprise de la dissolution au niveau de la cavité, les mesures acquises en continu et analysées depuis le début de l'instrumentation concernent principalement l'écoute microsismique et ponctuellement les mesures extensométriques en forage, obtenues lors des essais contrôlés de pression. Dans ce qui suit, on s'intéressera à l'analyse de l'écoute microsismique de la cavité pendant les phases d'essai contrôlé de pression et d'évolution récente de la cavité.

2. Ecoute microsismique

2.2. Configuration du réseau

Le réseau microsismique de Cerville-Buissoncourt est constitué de 3 sondes unidirectionnelles (M1, M2, et M4) et 4 sondes tridirectionelles (M3, M5, M63, et M62 du sondage M6) installées dans des trous de forages autour de la cavité saline (Figure 3). Cette géométrie circulaire permet d'assurer une couverture azimutale de la zone d'intérêt pour la localisation des foyers d'événements microsismiques associés à l'évolution de la cavité. Les sondes sont placées à des profondeurs variables entre 35 m et 125 m dans des forages cimentés. Chaque sonde est composée de géophones dont la fréquence naturelle est de 40 Hz, et permettent d'enregistrer des signaux jusqu'à 1, kHz. Le système d'acquisition a enregistré les premiers évènements microsismiques en janvier 2005 ; l'activité dite « normale » est en moyenne de 3 événements par jour.

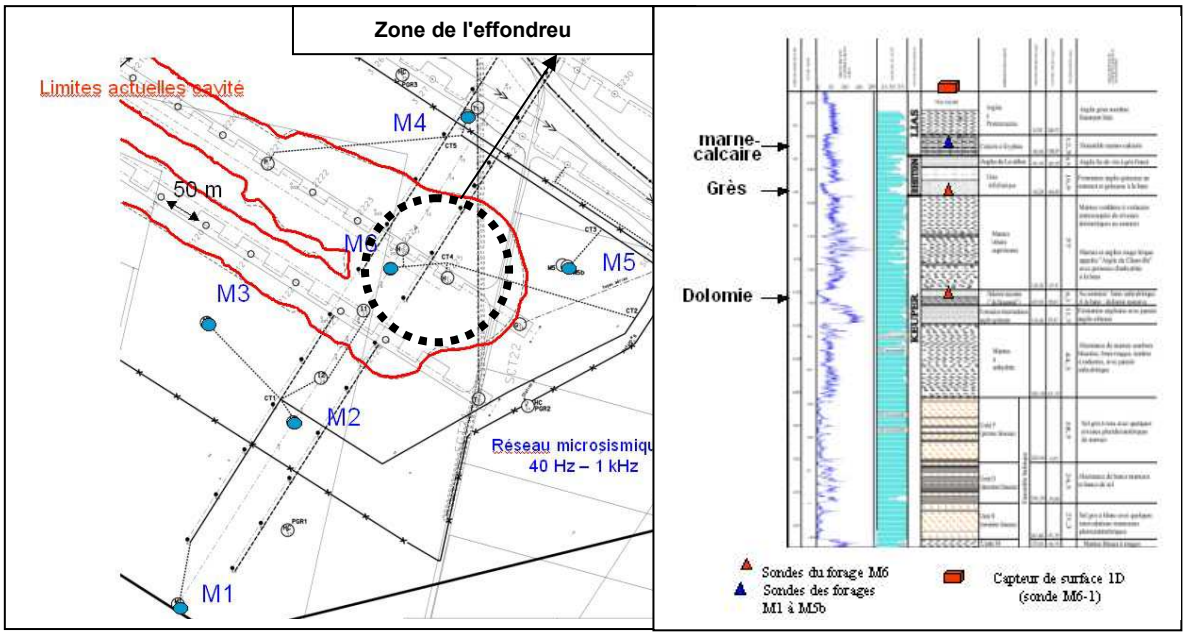

Figure 3 : Situation du réseau microsismique par rapport à la cavité saline (gauche) et à la lithologie du site (droite)

[2] La reprise de la dissolution prévue initialement pour l'année 2005 a été reportée de manière récurrente pour des raisons techniques et de production

2.2. Essai de pression – analyse microsismique

Pour étudier les effets de changement de pression dans la cavité saline, un essai contrôlé de pression a été réalisé en octobre 2005. L'objectif était d'obtenir, d'une part, un premier retour d'expérience sur le comportement mécanique de la cavité et du recouvrement et, d'autre part, d'adapter une surveillance fine et maîtrisée de l'évolution de la cavité pendant la phase de dissolution. Le rabattement du niveau de saumure s'est déroulé suivant un mode opératoire qui a permis une descente de pression sur deux paliers (ΔP_{total} = 0,5 MPa) et une remontée rapide pour atteindre le niveau d'origine. A l'exception de l'écoute microsismique, l'essai de pression n'a *a priori* pas induit d'instabilités suffisantes dans le massif, détectables par les instrumentations de mesure en mode d'acquisition continue (extensomètre, inclinomètre, tachéométrie…). Lors de la descente du niveau de la saumure, une activité microsismique s'est manifestée par une rafale d'événements d'une durée de 3 secondes alors qu'à la remontée trois rafales de 20 secondes ont été enregistrées (Figure 4). Ces dernières rafales auraient un lien avec la vitesse de remontée (plus importante qu'à la descente) de la saumure qui induiraient des instabilités dans le massif de manière plus soutenue. Notons que l'énergie de ces événements reste relativement faible, voire comparable à celle mesurée avant les essais.

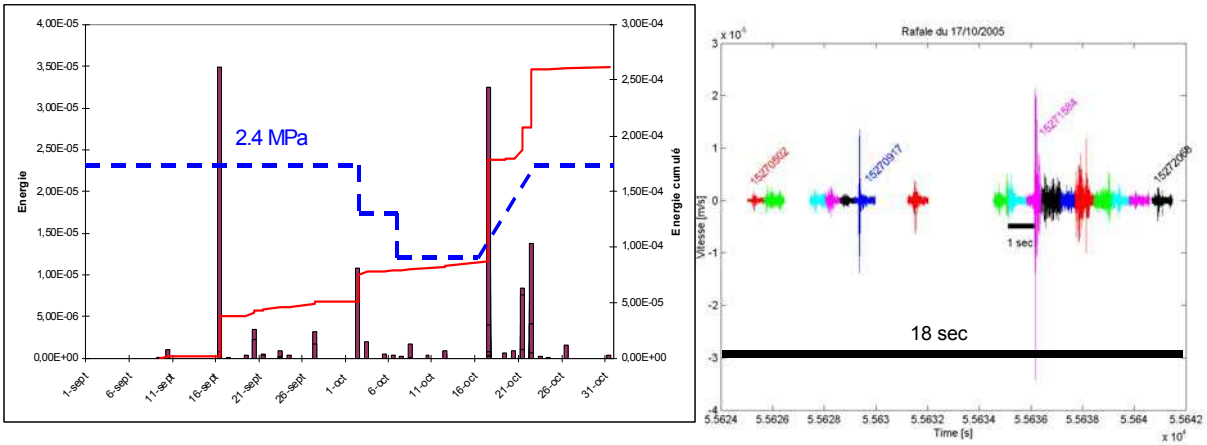

Figure 4 : Essai de pression dans la cavité saline de Cerville (gauche) et activité microsismique enregistrée lors de la remontée de la saumure (droite).

L'activité microsismique serait liée à deux mécanismes comportementaux de la cavité saline. Il s'agit du délitement (assimilable à des ruptures) des marnes au contact direct de la saumure (toit de la cavité) et des chutes de blocs de marne dans la saumure (Mercerat et al, 2007, Driad-Lebeau, 2007a, 2007b). Ces deux mécanismes présentent clairement deux types d'événements microsismiques : (1) événements de fréquence inférieure à 100 Hz représentant 80 % des enregistrements et correspondraient au mécanisme de chute de marne dans la saumure et (2) les événements de plus courte durée et haute fréquence (> 100 Hz) qui se produiraient lors des ruptures au sein des marnes au toit du sel (mécanisme décrochant et non cisaillant).

3. Evolution de la cavité

L'écoute microsismique du site de Cerville depuis janvier 2005 a permis de relever une évolution relativement remarquable de la cavité saline notamment dans la période du mois de mai 2007. Les événements marquant peuvent être soulignés comme suit (Figure 5):

1. une activité microsismique de moins de 10 événements/jour jusqu'à novembre 2005. Ces événements sont localisés au niveau de la cavité (toit et saumure) ;
2. depuis janvier 2006, une augmentation notable de l'activité avec une fréquence (i.e. pente nombre événements/jour) particulièrement importante à partir de septembre 2006 ;
3. dans la journée du 8 mai 2007 à 23h56, une crise sismique s'est manifestée par des déclenchements quasi-continus de rafales (plus de 1000) dont 70 sont exploitables (rapport signal/bruit > 100) ;
4. dans la journée du 31 mai à 23h45, une rafale a été enregistrée. Cette activité est moins importante que celle du 8 mai en nombre d'événements mais elle se caractérise par une énergie comparable ;
5. entre les mois de juin et septembre 2007, l'activité a légèrement baissé mais reste néanmoins plus importante que celle enregistrée avant la journée du 8 mai 2007.

Les résultats d'analyse de l'ensemble des événements sismiques indiqueraient que l'augmentation de l'activité sismique est liée en partie aux effets de la dissolution partielle en cours sur la piste 2200 à plus de 200 m de la cavité. Par ailleurs, la crise sismique enregistrée en mai 2007, particulièrement forte dans la journée du 8 mai, serait associée à la chute d'une épaisseur de marne du toit comprise entre 8 à 22 m d'épaisseur, observée par mesures de diagraphie (Figure 6). Dans la soirée du 31 mai, une rafale d'événements microsismiques a été enregistrée avec une énergie aussi forte que celle de la crise du 8 mai, la cavité continuerait donc à évoluer. Compte tenu des évènements récents ainsi que des conclusions tirées des analyses de données, il est désormais possible de distinguer un état initial (année 2005) et un état dit « évolutif » de la cavité (depuis 2006).

Il ressort des observations déduites de l'écoute microsismique que la cavité est réactive avec une tendance d'évolution avérée. A noter que les marnes décrochées du toit immédiat de la cavité sont plutôt résistantes (alternance de niveaux anhydritiques). Une évolution plus rapide dans les niveaux marneux sus-jacents peut donc être attendue, pour atteindre finalement le mur du banc de dolomie, niveau le plus résistant mécaniquement dans le recouvrement. Compte tenu des dimensions actuelles très importantes de la cavité (portée supérieure à 160 m), le critère de rupture de ce dernier pourrait être atteint rapidement conduisant à l'effondrement de la cavité.

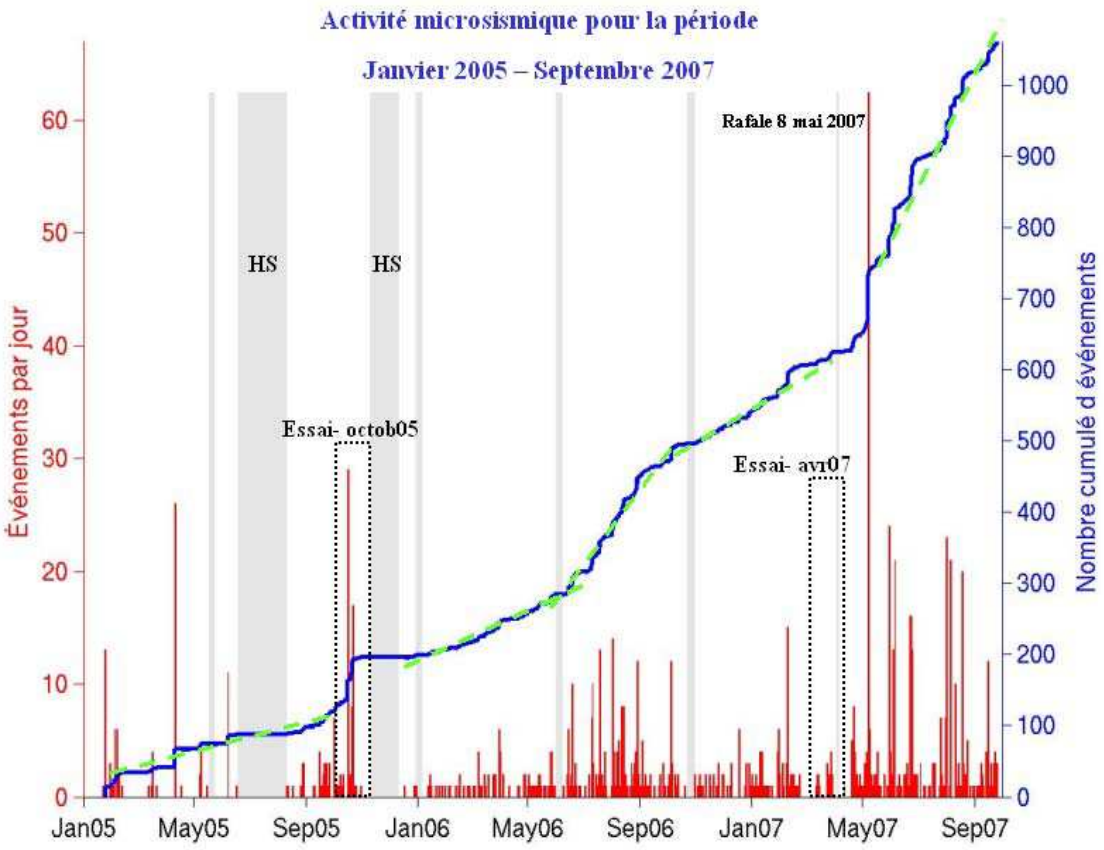

Figure 5 : Activité microsismique enregistrée entre janvier 2005 et septembre 2007.

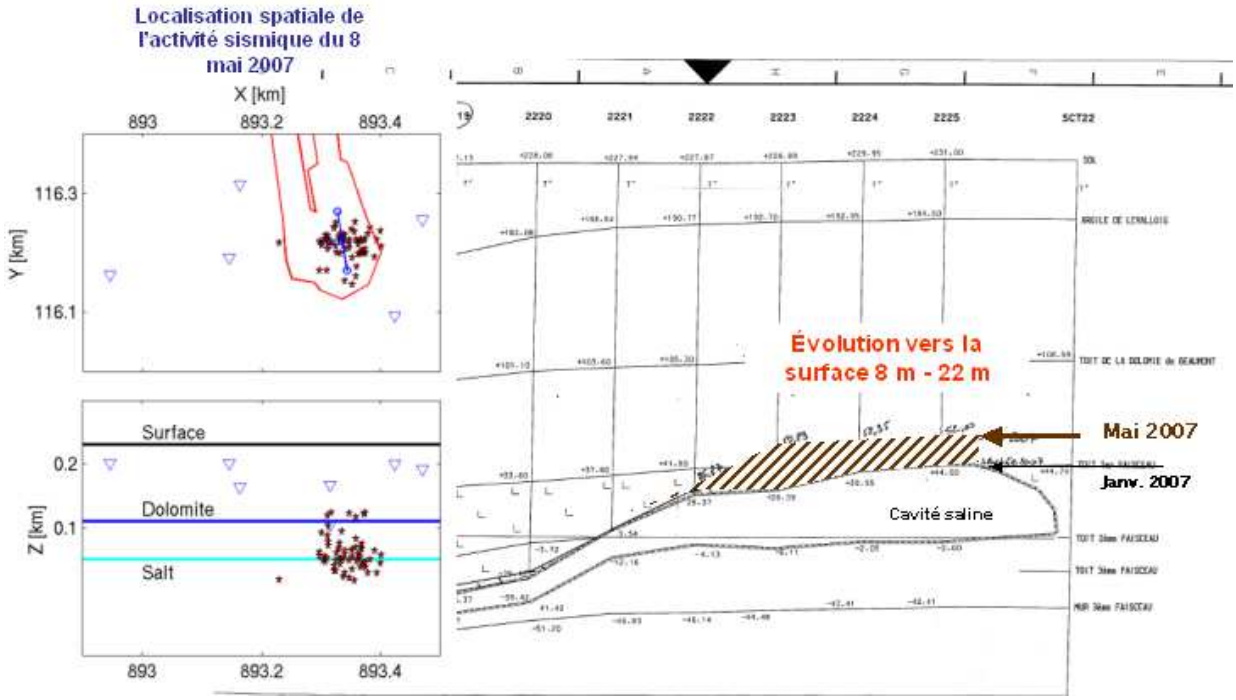

Figure 6 : Evolution du toit de la cavité saline mesurée par diagraphie (droite) et localisation des événements microsismiques de la crise du 8 mai 2007 (gauche).

Dans la figure 6, on notera que les foyers et les sondes microsismiques sont représentés respectivement par des étoiles et des triangles. Par ailleurs, la chute de marne a été observée au niveau des puits 2223-2224-2225 par mesure de diagraphie

4. Conclusion

Une instrumentation multidisciplinaire de la cavité saline sur le site pilote de Cerville-Buissoncourt a été mise en œuvre à partir de techniques d'auscultation et de surveillance telle que l'écoute microsismique afin d'acquérir des données pour la compréhension des mécanismes mis en jeu lors du processus de l'effondrement. Après une phase de relatif "calme" de l'activité microsismique, une évolution significative et graduelle de la cavité a été mise en évidence par l'augmentation du nombre d'évènements aussi bien en fréquence qu'en énergie. Cette évolution est liée à la superposition de l'effet de dissolution partielle dans la cavité instrumentée induit par la dissolution pratiquée à plus de 200 m et une évolution naturelle du toit de la cavité par délitement des marnes. Ces deux effets ne peuvent pas être discriminés tant que la cavité reste sous l'influence indirecte de la dissolution. Au vu de ces observations actées par mesures régulières de diagraphie, le toit de la cavité continue à évoluer conformément aux dernières mesures de diagraphie (nouvelle remontée de 6 m du toit en janvier 2008). En toute logique, cette période d'évolution doit être assimilée à la phase initiale du processus d'effondrement qui sera suivi en 2008 par l'ensemble de l'instrumentation mise en œuvre sur le site de Cerville-Buissoncourt.

5. Références bibliographiques

Driad-Lebeau L. (2007a) Auscultation microsismique, tachéométrique et suivi des émissions de gaz de la cavité saline de Cerville-Buissoncourt (Concession saline de Solvay, 54). Rapport N°2 INERIS -DRS-07-86098-01322A pour le DARQSI/MEDAD

Driad-Lebeau L. (2007b) Auscultation microsismique, tachéométrique et suivi des émissions de gaz de la cavité saline de Cerville-Buissoncourt (Concession saline de Solvay, 54). Rapport N°3 INERIS -DRS-07-86098-01124A pour le DARQSI/MEDAD

Fortier, E., Maisons C. and Renoux P. (2006) Seismic Monitoring of Underground Storage in Salt Cavity in a Seismo-tectonic Context, *Proc. of Solution Mining Research Institute*, *Spring Conference, Brussel, Belgium*

Mercerat D., Driad-lebeau L., Bernard P., Mountaka S. (2007) Induced seismicity monitoring of an underground salt cavity – A transient pressure experiment. Solution Mining Research Institute; Spring 2007 Technical Meeting Basel, Switzerland, 29 April 29 – 2 May 2007

Toon Samuel Styles Peter (2005) Microseismic Monitoring of Abondoned Salt Mines Beneath. NORTHWICH, CHESHIRE, UK. *Post-Mining 2005, November 16-17, Nancy.*