

APPORT DE LA SURVEILLANCE MICROSISMIQUE POUR LA COMPRÉHENSION DES MÉCANISMES D'EFFONDREMENT DANS LES MINES DE SEL EXPLOITÉES PAR DISSOLUTION

Contributeur

Jannes
KINSCHER

Du fait de sa nature souvent brutale, l'effondrement de terrain provoqué par l'instabilité de cavités souterraines représente un aléa important rencontré dans de nombreuses exploitations minières. Lors des opérations d'extraction de sel par dissolution, ces effondrements peuvent généralement être anticipés à partir de l'inspection des paramètres de production enregistrés aux puits d'injection et d'extraction (par exemple, le niveau de nappe, sa température et sa salinité). De plus, des mesures *in situ*, comme le sonar, le GPS ou les campagnes de nivellement, sont souvent réalisées pour caractériser l'évolution de la cavité souterraine. Les recherches actuelles se concentrent sur la compréhension du processus de dissolution à différentes échelles, comprenant les interactions entre la convection naturelle ou forcée en lien avec l'évolution de la cavité dans le temps et dans l'espace.

OBJECTIF ET MÉTHODE

Dans cette étude, l'Ineris a démontré que la surveillance microsismique peut constituer une solution fiable pour prévenir de tels risques. Elle peut également être un outil intéressant pour optimiser la stratégie d'exploitation locale. Les résultats de cette étude ont été basés sur une approche multiparamétrique effectuée sur une mine de sel située à Cerville-Buissoncourt (Lorraine, France). La surveillance microsismique a été accompagnée par plusieurs campagnes de mesures géotechniques

complémentaires, offrant ainsi l'opportunité de comprendre en détail la signature microsismique des mécanismes d'effondrement et de développer des outils de traitement de données adaptés. Cette approche multiparamétrique a été appliquée à un cycle d'exploitation quasi complet, comprenant la croissance et l'effondrement induit d'une vaste cavité souterraine d'un diamètre voisin de 130 m (figure 1).

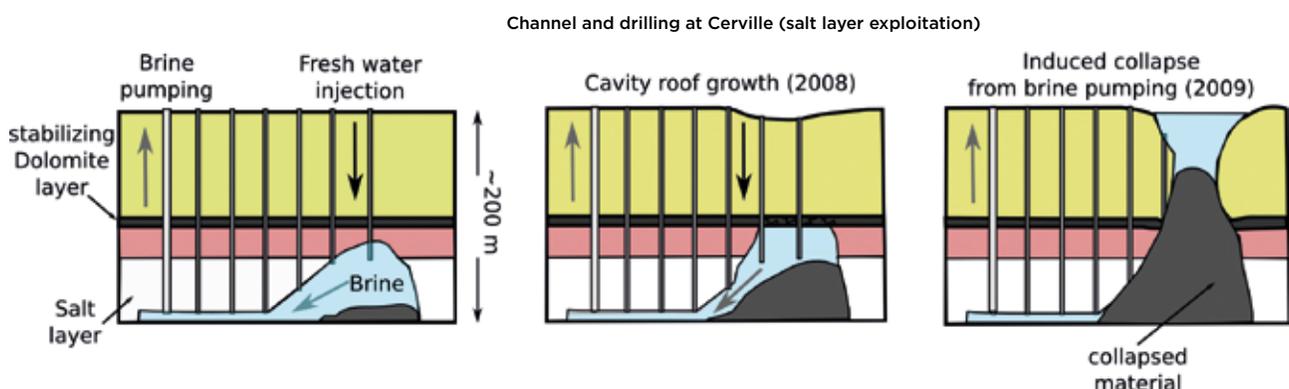
Les événements microsismiques (d'un total de ~ 50 000) apparaissaient principalement (~ 80 %) sous forme d'essaims sismiques caractérisés par des superpositions denses et complexes. La détection et la localisation de ces événements particuliers ont pu être réalisées grâce au développement d'une approche probabiliste combinant l'information de la polarisation du signal des ondes P et l'amplitude du signal. Les mécanismes et les paramètres des sources sismiques ont ensuite été étudiés en comparant les formes d'ondes, les spectres de fréquence et les rapports d'amplitude issus des données observées et des données synthétiques, basées sur différents modèles standards de sources.

RÉSULTATS

Les résultats de localisation des événements sismiques ont montré que l'origine de la sismicité est principalement liée aux processus de déformation du toit de la cavité. Ainsi, la surveillance microsismique permet de suivre directement l'évolution de la cavité

Figure 1 /

Illustration des différentes étapes d'extraction du sel par dissolution dans la mine de Cerville-Buissoncourt.



souterraine dans l'espace et le temps, avant qu'elle n'atteigne la surface.

Une activité microsismique significative a ainsi notamment été enregistrée 48 heures avant le déclenchement de l'effondrement. En outre, la distribution spatio-énergétique de la sismicité illustre approximativement l'extension spatiale de la cavité souterraine et permet donc de contraindre spatialement la zone d'effondrement en surface (figure 2a).

L'analyse des sources microsismiques approfondie dans une étape de post-traitement pour l'ensemble des événements a indiqué une dominance de deux groupes de failles inverses. Un groupe orienté NW-SE pour au moins 60 % des événements et l'autre, mineur, orienté NE-SW (figure 2b). L'explication la plus probable pour cette ressemblance entre les mécanismes des sources sismiques, est très probablement liée à la réactivation de structures ou failles préexistantes. Ainsi, il est supposé que la création de la structure de la cavité de Cerville a considérablement réduit les contraintes verticales au sein d'une zone au toit de la cavité, ce qui a conduit à des glissements le long des structures préexistantes. Cette hypothèse a pu être récemment confirmée à partir d'images satellites montrant le cratère en surface plusieurs années après l'effondrement. Ces images ont clairement révélé la présence de deux familles de failles qui ont formé des linéaments distincts au bord du cratère (figure 2b). Ces résultats montrent que la surveillance microsismique peut fournir des informations très importantes pour identifier les mécanismes d'effondrement liés à des caractéristiques géologiques spécifiques. Il est évident que la compréhension de ces mécanismes est fondamentale pour anticiper le temps de déclenchement et la cinétique de l'effondrement et pour optimiser la stratégie d'exploitation.

Références

Kinscher, J., Bernard, P., Contrucci, I., Mangeney, A., Pigué, J. P., & Bigarre, P. (2014). Location of microseismic swarms induced by salt solution mining. *Geophysical Journal International*, 200(1), 337-362.

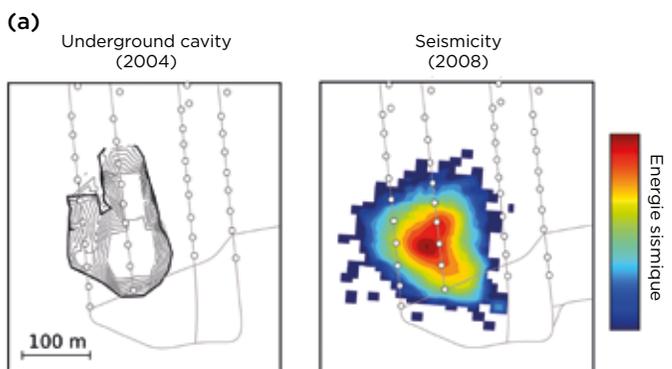
Kinscher, J. L. (2015). The analysis and interpretation of microseismicity induced by a collapsing solution mining cavity: A contribution for progress in hazard assessment of underground cavities (Doctoral dissertation, université de Lorraine).

Kinscher, J., Cesca, S., Bernard, P., Contrucci, I., Mangeney, A., Pigué, J. P., & Bigarré, P. (2016). Resolving source mechanisms of microseismic swarms induced by solution mining. *Geophysical Journal International*, 206(1), 696-715.

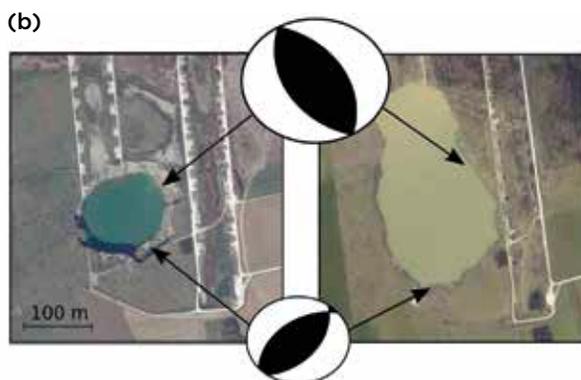
ABSTRACT /

Surface collapses are a common phenomenon in salt solution mining operations and represent often the main source of risk to manage to ensure the safety of miners working on site. As part of a surface collapse experiment carried out at a salt solution mine at Cerville-Buissoncourt (Lorraine, France), Ineris aimed to develop and optimize collapsing hazard assessment based on microseismic monitoring. A series of innovative seismic signal processing approaches have been developed, particularly in terms of source location and mechanism analysis. The results indicate that the surface collapsing mechanism was controlled by the reactivation of pre-existing structures, oriented mainly NE-SW and NW-SE. The identification of this preferential orientation of fracturing represent an important element to adapt and plan upcoming exploitation on site and to better anticipate the nature of potential collapses of underground cavities.

Figure 2 /
Résumé de la sismicité à Cerville-Buissoncourt.



Topographie de la cavité souterraine et distribution spatio-énergétique de la sismicité avant l'effondrement de la surface.



Cratère en surface (quelques mois et quelques années) après l'effondrement. Les bords du cratère de forme linéaire, confirment l'existence des deux familles de failles inverses en cohérence avec les mécanismes au foyer des sources sismiques calculés dans cette étude.