

la dilatance n'est pas atteinte). Les résultats des calculs, dans lesquels on a pris en compte l'existence de l'exploitation en 4^e couche, sont présentés à la figure 8. Les trois dessins montrent le développement de la zone « dilatante », successivement après l'ouverture des 7^e, 8^e et 9^e galeries. Après que cette dernière est ouverte, s'étend du toit du quartier jusqu'au toit du sel une zone dilatante continue, qui peut fonctionner un peu comme une rotule plastique.

10

Conclusion

L'analyse des observations rapportées par les témoins de l'accident du quartier Saint-Maximilien permet de proposer une description cinématique de l'effondrement. L'origine de celui-ci doit être cherchée dans le poinçonnement par les piliers de sel des marnes du mur, affaiblies par la présence de grandes quantités d'eau utilisées pour l'exploitation de la mine. Le caractère brutal de l'effondrement, pour sa part, a pour origine vraisemblable une perte de résistance

des terrains du recouvrement à l'aplomb du pourtour extérieur de la mine, qui était le siège de sollicitations croissantes quand la mine s'élargissait. On a pu rendre compte de l'effondrement par le calcul numérique en traitant les marnes du mur comme un milieu viscoplastique de Bingham de cohésion réduite, en dotant le toit en sel, qui est traversé par de nombreuses discontinuités horizontales, d'une raideur à la flexion faible, et en prenant en compte un critère dilatant du sel proche de ceux proposés dans la littérature. Ces caractéristiques font de l'effondrement du quartier Saint-Maximilien un exemple probablement unique dans l'histoire des mines de sel.

Cette étude a été rendue possible par un financement de Geoderis, l'agence de l'État chargée de l'Après-Mine, qui a autorisé la publication de cet article. La Compagnie des salins du Midi et des salines de l'Est (CSME) a aimablement autorisé la reproduction de photographies provenant de ses archives et Emmanuel Hertz a fait part aux auteurs de nombreuses remarques très précieuses. Gérard Vouille a proposé le découpage du creusement des chambres utilisé pour les calculs et rectifié plusieurs erreurs du manuscrit. Des discussions avec Jean Salençon et Alain Pecker ont permis d'éclaircir divers points relatifs à la capacité portante et aux effets dynamiques.

Bibliographie

- Anonyme – Note sur l'effondrement de la mine de sel gemme de Varangéville-Saint-Nicolas (Meurthe-et-Moselle). *Annales des mines*, 7^e série, Tome IV, 1873, p. 613-627.
- Bekendam R.F., Oldenzil C.E., Paar W.A. – Subsidence potential of the Hengelo brine field (part I). Physico-chemical deterioration and mechanical failure of salt-cavern roof layers. *Proceedings of the SMRI fall meeting*, San Antonio, 2000, p. 103-117.
- Bérest P., Brouard B., Feuga B. – Abandon des mines de sel : faut-il enoyer ? *Revue française de géotechnique*, n° 106-107, 2004, p. 53-71.
- Bérest P., Blum P.A., Charpentier J.-P., Gharbi H., Valès F. – Very slow creep tests on rock samples. *International Journal Rock Mechanics Mining Sciences*, n° 42, 2005, p. 569-576.
- Boidin E. – *Interactions roches/saumures en contexte d'abandon d'exploitations souterraines de sel*. Thèse de doctorat de l'Institut national polytechnique de Lorraine, février 2007.
- Braconnier M.A. – 1^{er} rapport de l'ingénieur des mines sur l'effondrement de la mine de sel gemme de Varangéville-Saint-Nicolas, 2 novembre 1873a.
- Braconnier M.A. – 2^e rapport de l'ingénieur des mines sur l'effondrement de la mine de sel gemme de Varangéville-Saint-Nicolas, 3 novembre 1873b.
- Braconnier M.A. – 3^e rapport de l'ingénieur des mines sur l'effondrement de la mine de sel gemme de Varangéville-Saint-Nicolas, 4 novembre 1873c.
- Buffet A. – The Collapse of Compagnie des Salins SG4 and SG5 Drillings. *Proceedings of the SMRI fall meeting*, Roma, 1998, p. 79-105.
- Chan K.S., Munson D.E., Fossum A.F., Bodner S.R. – A constitutive model for representing coupled creep, fracture and healing in rock salt. *Proceedings of the 4th conference on the mechanical behavior of salt*. Clausthal-Zellerfeld, Germany : Trans Tech Publishers, 1996, p. 221-247.
- De Vries K.L., Mellegard K.D., Callahan G.D. – Cavern Design Using a Salt Damage Criterion : Proof-of-Concept Research Final Report. *Proceedings of the SMRI spring meeting*, Houston, 2003, p. 1-18.
- Feuga B. – Old salt mine at Dieuze (France) revisited 150 years after being abandoned. *Proceedings of the SMRI fall meeting*, Chester, 2002, p. 114-128.
- Feuga B., Bérest P., Karimi-Jafari M., Brouard B. – Mechanical Behaviour of a Marly Floor in two mines where brine or water was abundant. *Proceedings of the SMRI fall meeting*, Porto, 2008, p. 19-40.
- Feuga B. – Les effondrements dus à l'exploitation du sel. *Geosciences*, n° 9, avril 2009.
- Jeanneau V. – The sinkhole of the cavity LR 50/51 in La Rape Area, a case history. RHODIA Company. *Proceedings of the SMRI fall meeting*, Nancy, 2005, p. 9-24.
- Klein E., Contrucci L., Daupley X., Hernandez O., Bigarré P., Nadim C., Cauvin L., Pirson M. – Experimental monitoring of a solution-mining Cavern in Salt : Identifying and Analyzing Early-Warning Signals Prior to Collapse. *Proceedings of the SMRI fall meeting*, Austin, 2008, p. 135-146.
- Marchal C. – *Le gîte salifère keupérien de Lorraine-Champagne et les formations associées. Étude géométrique. Implications génétiques*. Mémoire n° 44, 2 volumes, 1983. Sciences de la Terre, Nancy.
- Minkley W., Menzel W. – Local Instability and System Instability of Room and Pillar Fields in Potash Mining. *Proceedings of the 3rd conference on the mechanical behavior of salt*. Clausthal-Zellerfeld, Germany : Trans Tech Publishers, 1996, p. 497-510.
- Minkley W., Mühlbauer J., Storch G. – Dynamic processes in salt rocks : a general approach for softening processes within the rock matrix and along the bedding planes. *Proceedings of the 6th conference on the mechanical behavior of salt* Taylor & Francis, London UK, 2007, p. 295-304.
- Robelin C., Bonjoly D. – Les discontinuités sédimentaires de la série salifère triasique de Varangéville (Meurthe-et-Moselle). Rapport BRGM-SGN R 31 834, octobre 1990.
- Rothenburg L., Dusseault M., Mraz D.Z. – A methodology for rock mechanics design of brine fields based on case histories of sinkhole formation in Windsor-Detroit area. *Proceedings of the 5th conference on the mechanical behavior of salt*. Clausthal-Zellerfeld, Germany : Trans Tech Publishers, 2002, p. 389-392.
- Salençon J., Matar M. – Capacité portante des fondations circulaires. *Journal de Mécanique Théorique et Appliquée*, vol. I, n° 2, 1982, p. 237-267.
- Vouille G. – Mine de Varangéville, Comportement mécanique des marnes du mur en présence de saumure. Rapport R 86/3 de l'École des mines de Paris pour la CSMSE, 1986.