



**HAL**  
open science

## Stockage souterrain de gaz naturel: étude du comportement d'une cavité saline en cycles rapides de soutirage

Cyrille Balland, Joel Billiotte, Bruno Tessier, Grégoire Hevin, Emmanuel Hertz

### ► To cite this version:

Cyrille Balland, Joel Billiotte, Bruno Tessier, Grégoire Hevin, Emmanuel Hertz. Stockage souterrain de gaz naturel: étude du comportement d'une cavité saline en cycles rapides de soutirage. Rapport Scientifique INERIS, 2018, 2017-2018, pp.50-51. ineris-02044872

**HAL Id: ineris-02044872**

**<https://ineris.hal.science/ineris-02044872v1>**

Submitted on 21 Feb 2019

**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.

## Stockage souterrain de gaz naturel : étude du comportement d'une cavité saline en cycles rapides de soutirage

**Contributeur**  
Cyrille BALLAND

**Collaborateurs**

Joël BILLIOTTE et  
Bruno TESSIER  
(Mines ParisTech,  
Centre de  
géosciences,  
Fontainebleau),

Grégoire HÉVIN  
(Storengy),

Emmanuel  
HERTZ  
(Salins du Midi)

Le stockage du gaz naturel dans les cavités salines nécessite des cycles de remplissage-soutirage de gaz de plus en plus rapides sur le marché de l'énergie. Ces cycles s'accompagnent de variations rapides de la pression interne du gaz stocké avec des variations importantes de la température qui peuvent endommager le massif de sel à la paroi de la cavité de stockage. Plusieurs études théoriques ont été conduites pour estimer ce type d'endommagement qui peut en résulter dans le sel [1; 2]. Pour vérifier expérimentalement cet endommagement, une étude a été conduite afin de refroidir un massif de sel et reproduire les sollicitations du parement d'un stockage de gaz. L'objectif principal était d'initier et de caractériser l'endommagement par des contraintes d'origine purement thermique induites par refroidissement à la surface du massif. Il s'agissait de connaître le type de mécanisme de rupture de la roche, la nature et l'extension des fissures; et de mettre en évidence ou non des éventuels phénomènes de fatigue du massif avec la répétition des cycles de refroidissement. Le sel a l'avantage d'être très émetteur d'émissions sismo-acoustiques (sismogène) et de présenter une atténuation très faible des ondes sismiques. C'est pour cela que l'écoute acoustique a été choisie pour suivre la fracturation du massif de sel.

### Expérimentation

Le site expérimental est situé dans la mine de sel de Varangéville (Meurthe-et-Moselle), au sein

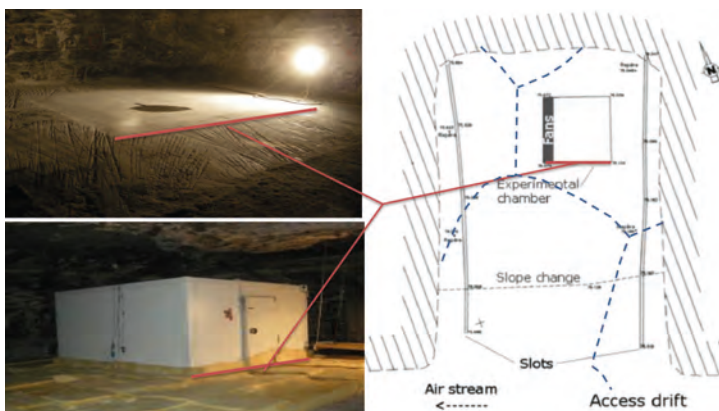
d'une galerie borgne excavée pour l'occasion par l'exploitant de la mine, la Compagnie des salins du Midi et des salines de l'Est (CSME) (Figure 1). La surface d'étude proprement dite s'étend sur 10 m<sup>2</sup> du massif de sel dans un secteur où le massif rocheux présentait le moins d'hétérogénéités. Il fallait en particulier s'éloigner des parements de la galerie et éviter, autant que faire ce peut, la fissuration naturelle d'ordre géologique. La surface de la roche a été découpée par havage (technique d'exploitation par découpage) puis lissée par l'exploitant CSME pour faciliter l'observation et la pose des différents capteurs. C'est sur cette surface apprêtée que la chambre frigorifique a été installée.

Le dispositif d'auscultation ultrasonique est composé de seize capteurs piézoélectriques qui sont disposés soit en surface, collés au massif de sel, soit dans les cinq sondages scellés aux parois avec du phényle salicylate. Onze capteurs fonctionnent en réception d'ondes et cinq autres capteurs en émission. Le dispositif ultrasonique est centré dans la chambre frigorifique afin de surveiller la partie la plus homogène. Le massif de sel a été soumis à quatre cycles de refroidissement avec une consigne de température dans la chambre frigorifique de -9 °C sur une période minimale de 28 jours pour les 3 premiers cycles. L'objectif principal était de comparer l'évolution de l'endommagement au fur et à mesure des cycles de refroidissements. Le temps de réchauffement du massif après chaque refroidissement est variable car non contrôlé et accompagné d'une condensation importante de l'air introduit dans la mine qui nécessitait systématiquement un reconditionnement de la surface et des capteurs. Le dernier refroidissement a été réalisé suivant deux paliers, l'un durant 14 jours à -9 °C et l'autre pendant 22 jours à -27 °C. L'objectif de ce dernier cycle était de suivre l'endommagement avec un niveau de sollicitation plus important.

### Résultats

Le dispositif de surveillance acoustique a permis d'enregistrer et de localiser un grand nombre (58426) d'émissions acoustiques (EA) avec une marge d'incertitude sur la localisation spatiale relativement faible ( $\pm 2,5$  cm). Aux principales questions posées sur la nature, l'extension de l'endommagement et la fatigue du massif, la surveillance acoustique a apporté des éléments de réponse importants pour être

**Figure 1** / Localisation du massif et positionnement de la chambre frigorifique (Mines ParisTech /ARMINES) dans la galerie de la mine de Varangéville (Compagnie des salins du Midi et des salines de l'Est).



appliqués au contexte d'exploitation des stockages souterrains soumis à un refroidissement induit par des cycles rapides d'injection-soutirage de gaz :

- l'activité acoustique s'avère très importante dès les premières minutes de chaque refroidissement puis diminue avec le temps pour atteindre un niveau très faible (de fond) après environ 15 jours ;
- avec la température imposée en surface de  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , (alors que la température naturelle de la roche est de  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  au niveau de la mine), la profondeur moyenne atteinte par les EA est d'environ 90 cm lors du premier refroidissement. Pour les cycles suivants, la profondeur se limite à 74 cm, c'est probablement la plus grande énergie mise en jeu et la taille plus importante des fissures générées (15 cm) lors du premier cycle qui ont permis d'atteindre une profondeur plus importante ;
- la plupart des EA ont une magnitude avoisinant  $-5$ , ce qui correspond à des rayons caractéristiques de fracture de 2 à 3 cm équivalant à la taille moyenne des cristaux de sel du massif. Cette observation montre donc que la fracturation du massif est principalement diffuse le long du front de propagation du froid en accord avec le faciès observé sur la surface du sel.

L'ensemble de ces résultats montre que le premier refroidissement joue un rôle important puisqu'il regroupe les EA les plus fortes et les plus profondes. Un premier cycle avec une amplitude de température plus faible aurait pu diminuer à la fois l'amplitude et la profondeur des EA qu'a subies le massif. Cette approche *crescendo* serait intéressante pour un exploitant. Le palier à  $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$  du dernier cycle tend à aller dans ce sens bien qu'il fût de courte durée. Il serait intéressant par la suite de confronter les variations de gradient thermique avec les modélisations thermo-mécaniques pour expliquer plus précisément la position de l'essaim d'EA par rapport au front de refroidissement et l'état de contrainte induit.

Enfin, la **Figure 2** montre des alignements d'EA qui témoignent des grandes fractures observées visuellement sur le massif. Une comparaison dynamique entre les EA et les observations visuelles pourrait donc affiner notre connaissance du schéma général de fracturation du massif et ainsi contribuer à estimer le niveau d'endommagement et de sécurité des stockages de gaz en cavités salines.

## Références

- [1] Brouard B.; Frangi A.; Bérest P. Mechanical stability of a cavern submitted to high-frequency cycles. SMRI Spring Meeting. Galveston; 2011. p. 99-116.
- [2] Sicsic P.; Bérest P. Thermal cracking following a blowout in a gas storage cavern. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 2014; 71: 320-329.
- Balland C.; Raingeard A.; Billiotte J.; Tessier B.; Hertz E.; Tribout D.; Thelier N.; Hévin G. Acoustic monitoring of thermo-mechanical tests in a salt mine, SMRI Spring 2016 Technical Conference, Galveston, Texas, USA.
- Blanco-Martín L.; Rouabhi A.; Billiotte J.; Hadj-Hassen F.; Tessier B.; Hévin G.; Balland C.; Hertz E. Experimental and numerical investigation into rapid cooling of rock salt related to high frequency cycling of storage caverns. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 2018; 102: 120-130.
- Ohno K.; Ohtsu M. Crack classification in concrete based on acoustic emission. *Construction and Building Materials*. 2010; 24: 2339-2346.

## ABSTRACT /

The natural gas storage in salt caverns requires fast injection/ withdrawal cycles due to the increasing dynamics of the energy market. High rates induce rapid changes in the internal pressure of the stored gas causing important temperature changes inducing rocksalt damage. To experimentally observe this phenomenon, the Starfish project led to initiate and characterize the damage caused by purely thermal stresses (cooling-induced) at the surface of a large bloc of rock in the salt Mine of Varangéville (France, near Nancy). The objective was to determine the type of failure mechanism involved with repeated cooling stages. Since the salt generates Acoustic Emissions (AE) with low attenuation of the stress waves, acoustic monitoring has been chosen as one of the methods to follow the impact of the salt cooling. In addition to thermal and mechanical sensors, an acoustic monitoring device consisting of 16 ultrasonic sensors has been installed on the free surface and in boreholes. It enabled to record and locate a large number of AE (58,426) located with good accuracy (2.5 cm). Those AE can be correlated to the evolution of salt fracturing. Acoustic activity is very intense at the start of each cooling cycle, then it decreases with time to reach a very low level (background) after about 15 days. The average localisation depth reached by the AE is about 90 cm during the first cooling period. For subsequent cooling cycles, this depth is limited to 74 cm. All these results show that the first cooling period is decisive, as it contains the strongest and deepest acoustic emissions. It would have been useful to know whether a first cycle with a lower temperature amplitude could have decreased the maximum amplitude and final depth of the AE. This crescendo approach would be useful for operators.

**Figure 2 /** Localisation de l'énergie des EA lors du 1<sup>er</sup> refroidissement pendant la première heure.

