

L'effondrement de 1873 à la mine de Varangéville

P. BÉREST

Laboratoire de Mécanique
des Solides
École Polytechnique
91128 Palaiseau Cedex
berest@lms.polytechnique.fr

B. BROUARD

Brouard Consulting
101, rue du Temple
75003 Paris

B. FEUGA

Geoderis, BP 25198
57075 Metz Cedex 3

M. KARIMI-JAFARI

Laboratoire de Mécanique
des Solides
actuellement Geostock
7, rue Eugène-
et-Armand-Peugeot
92500 Rueil-Malmaison

Résumé

On relate l'effondrement d'un quartier de la mine de sel de Varangéville survenu en 1873. Les descriptions de l'époque montrent que la partie centrale du recouvrement de la mine est descendue en bloc, entraînant une couronne intensément déformée. Les piliers ont poinçonné précocement le mur imbibé de saumure, mais le toit les a retenus tant que l'extension de la mine, et donc sa raideur à la flexion restaient modérées. Le calcul numérique montre que le caractère brutal de l'effondrement peut être relié au développement d'une zone dilatante, traversant toute la couche de sel, et engendrée par le report sur le contour de la mine d'une part du poids des terrains surincombants.

Mots-clés : mine de sel, chambres et piliers, dilatance, effondrement.

The 1873 collapse at the Varangéville Salt Mine

Abstract

The 1873 collapse of a panel of the Varangéville Salt Mine is described. The central part of the overburden dropped down as a rigid block; between this cylinder and the intact rock mass, a rock crown was severely deformed. The marly floor of the mine, which had been weathered by water, were punched by the mine pillars at an early stage; however mine roof prevented full punching as long as roof extension, thus roof bending stiffness, remained small. Numerical computations prove that the catastrophic character of the collapse can be explained by the development of a dilatant zone, crossing through the salt layers, which had formed upon the mine edge, as a part of the overburden weight was transferred to the abutment.

Key words: salt mine, rooms and pillars, dilation, collapse.

Introduction

Dans l'après-midi du 31 octobre 1873, le quartier Saint-Maximilien de la mine de sel de Varangéville s'effondra brutalement. La secousse fut ressentie à Nancy, distante d'une dizaine de kilomètres. L'effondrement vint par surprise, car les piliers de la mine étaient jugés très sains. Toutefois des grondements s'étaient fait entendre le matin dans la mine et une fissure était apparue dans un bâtiment à la surface du sol, de sorte que le quartier avait été évacué dans la matinée. De plus, c'était jour de paie, de sorte que peu de mineurs se trouvaient au fond, et le nombre de victimes fut limité.

Observations faites après l'effondrement

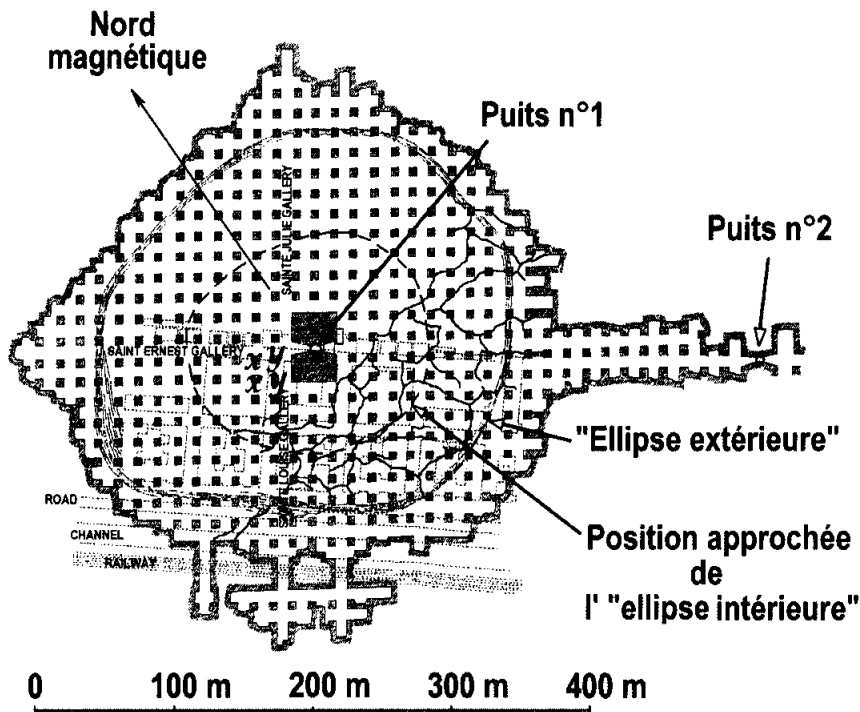
Surface du sol

A la surface du sol, une cuvette de subsidence s'était formée (Fig. 1). Plusieurs rangées concentriques de fissures verticales ouvertes, peu profondes, délimitaient une « ellipse extérieure », d'un rayon de 160 m environ, centrée autour du puits n° 1 et inscrite à l'intérieur du périmètre extérieur des travaux miniers. Ces fissures témoignaient des effets de contraintes horizontales de

traction intenses. Des bourrelets, signes de contraintes horizontales de compression, s'étaient formés sur le pourtour d'une « ellipse intérieure » de rayon moitié. L'intérieur de cette ellipse était descendu uniformément de 3,3 mètres. Entre les ellipses intérieure et extérieure, la surface du sol avait pris une inclinaison régulière en direction du centre de la zone affaissée ; la pente était de l'ordre de $3,3/80 = 4/100$. Le puits n° 1, d'une profondeur de 160 m, était intact, mais son fond était rempli sur les derniers 18 mètres par des débris divers, dont des marnes remontées du mur de la mine.

Désordres au fond

La mine était ouverte, entre 150,5 et 156 m de profondeur, à la base de la 11^e couche de sel. La formation salifère appartient au Keuper inférieur de Lorraine. Les géologues l'ont divisée (Fig. 3), depuis le toit du sel qui est à 80 mètres de profondeur jusqu'au mur de la mine qui est profond de 160 mètres, en 11 couches de sel séparées par 10 niveaux marneux dont l'épaisseur varie de 0,5 à 3 m. La 11^e couche a une épaisseur d'une vingtaine de mètres et sa base contient le sel le plus pur. Sous la 11^e couche on trouve une couche marneuse, de 25 m d'épaisseur ou plus, décrite en plus grand détail par la suite. La mine était exploitée par la méthode des chambres et piliers. Les chambres avaient 5,5 m de haut. Des galeries parallèles et perpendiculaires, de 8 m de large dans la direction SO-NE et de 9 m de large dans la direction perpendiculaire, laissaient des piliers carrés de 6 m de côté, portant le taux de



Plan du quartier Saint-Maximilien, avec les fissures apparues à la surface lors de l'effondrement, dessiné le 1^{er} novembre 1873. On a reporté le réseau polygonal des fentes verticales remplies de marnes, les bâtiments de surface sont en pointillés (d'après Braconnier, 1873a).

Subsidence trough above the Saint-Maximilien panel as observed on November 1st, 1873. Cracks along the outer ellipse, building locations at ground level, pillars and the irregular pattern of vertical mud-cracks at panel level also were reported (after Braconnier, 1873a).

défruitement à $\tau = 1 - (6 \times 6)/(14 \times 15) = 82 \%$, un taux considéré à l'époque comme raisonnable. Toutefois un pilier rectangulaire de 29 m x 40 m avait été ménagé au centre du quartier pour protéger le puits n° 1 (Fig. 1).

Les 1^{er} et 2 novembre des mineurs et Marie-Alfred Braconnier, ingénieur des mines qui a laissé des descriptions détaillées de l'accident, descendirent par le puits n° 2 pour visiter les travaux effondrés.

« Sous l'ellipse intérieure à mi-distance entre le puits n° 1 et le contour général de l'exploitation souterraine, les piliers de sel se sont enfoncés dans les marnes, celles-ci se sont élevées dans les galeries jusqu'à toucher le toit, lequel, en s'affaissant, paraît avoir conservé presque toute sa solidité primitive et n'offre que des fissures [...]. Le sol des galeries intermédiaires entre les deux ellipses n'est jonché d'aucun débris. Il présente une pente régulière ascendante, le toit offrant au contraire une pente régulièrement descendante. Les piliers se sont d'autant plus inclinés en pénétrant dans les marnes qu'ils étaient plus éloignés de l'ellipse intérieure » (Braconnier, 1873b, p. 1).

Avant l'accident, selon Braconnier, les piliers de sel de la mine donnaient une impression de grande solidité. Sous la couronne déformée, ils ont, d'autant plus profondément qu'on s'approche du pilier central, poinçonné le mur, qui s'est incliné vers le haut dans la direction du puits central (Fig. 2). Ils sont globalement intacts, quoique leurs angles aient éclaté et que des fissures initialement fermées se soient ouvertes, certaines avant l'accident, en suivant des fentes verticales remplies de marnes, de sel et d'anhydrite, contemporaines du dépôt, et qui constituent des surfaces de faiblesse mécanique. En revanche le toit des galeries périphériques (à gauche sur les figures 2 et 4) était très dégradé :

« Le long du contour de l'exploitation, les parements latéraux des galeries étaient restés verticaux ; mais des blocs énormes en forme de dalles étaient tombés du toit, de sorte qu'il existait, au faite de ces galeries, des cloches ayant jusqu'à 3 mètres de haut. [...] ; les parois de ces cloches présentaient des fissures béantes... On

peut conclure de là que, sur tout le pourtour de la mine, le terrain a été soumis à une compression dans le sens horizontal... » (Anonyme, 1873, p. 625).

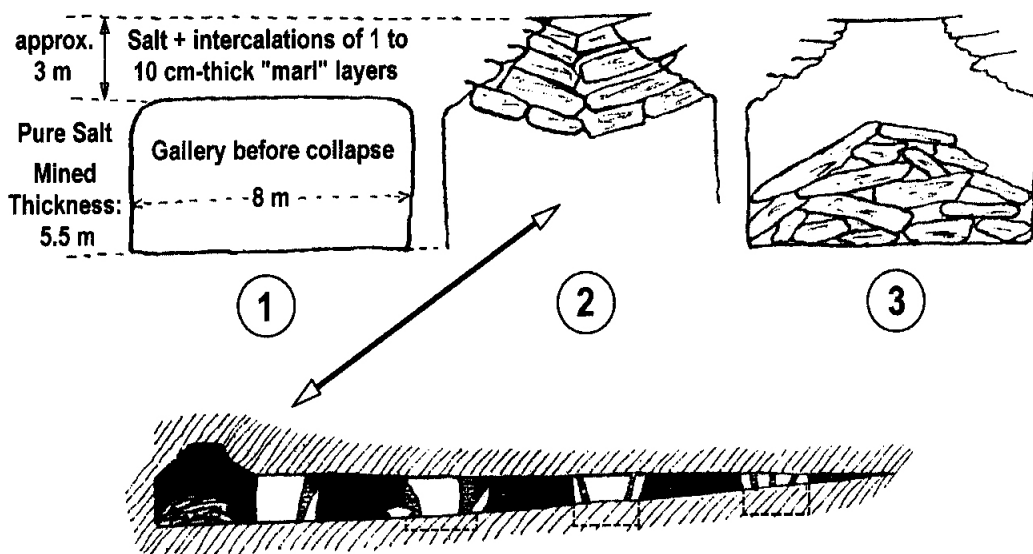
En 1855, la 4^e couche de sel, à une profondeur de 87 m, avait aussi été exploitée, à partir du puits n° 1 et au-dessus de la future exploitation en 11^e couche. L'effondrement de 1873 n'a engendré aucun dommage dans ce quartier, si ce n'est quelques fissures, à une distance de 80 m de l'axe du puits, desquelles s'écoulait un petit débit de saumure. Un bure et une galerie de section 3 m x 3 m furent creusés plusieurs années après l'effondrement pour relier les exploitations de 4^e et 11^e couches. Cette galerie permet d'observer le massif de sel quelques mètres au-dessus du quartier effondré. Le massif est dans l'ensemble intact mais des petites fractures, qui permettent à l'air de circuler entre la galerie et les travaux effondrés, peuvent être observées sur une longueur d'une dizaine de mètres, exactement au-dessus des galeries du contour de l'exploitation.

3

Cinématique de l'effondrement

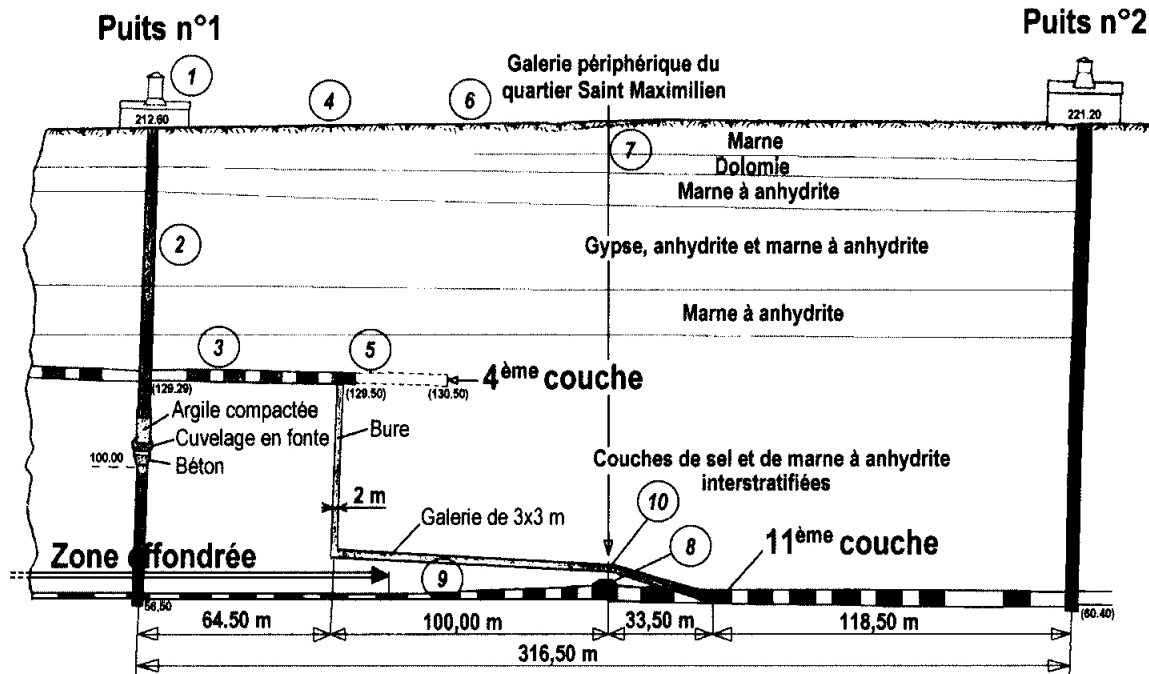
Les trois rapports qu'a laissés Braconnier (1873a, b, c) suggèrent donc fortement le schéma d'effondrement suivant : autour du puits central n° 1, sous l'ellipse intérieure, un cylindre de hauteur 160 m et de rayon voisin de 80 m est descendu en bloc, de 3,3 mètres, sans pratiquement se déformer, en poinçonnant le mur de la mine (Fig. 3). Ce cylindre a entraîné en tombant un anneau de terrains à sa périphérie, entre 80 et 160 m de distance à l'axe du puits, qui est d'autant plus descendu qu'on s'approche du cylindre central.

Ce mécanisme est confirmé par l'ensemble des données déjà présentées – les chiffres renvoient à la figure 3 – (1) à l'intérieur de l'ellipse centrale, le sol est resté plat ; (2) le puits est resté pratiquement intact ; (3) le petit quartier exploité dans la 4^e couche en 1859, à 70 m au-dessus de l'exploitation de 11^e couche, est resté intact, à l'exception de quelques fissures à 80 m



Coupe verticale des trois galeries les plus extérieures et phases successives de l'effondrement dans la galerie la plus extérieure. Le puits n° 1 est vers la droite (d'après Braconnier, 1873c).

Vertical cross-section of the three outmost galleries and sequence of events in the outmost gallery (after Braconnier, 1873c).



Coupe verticale des travaux montrant les quartiers de 11^e et 4^e couches et la galerie 3 m x 3 m creusée après l'accident (d'après Braconnier, 1873c).
 Rock mass cross-section showing the 11th and 4th layers panels and the 3 m x 3 m gallery excavated after the accident (after Braconnier, 1873c).

de l'axe du puits. En revanche la couronne comprise entre ce cylindre central et le cylindre qui s'appuie sur le contour extérieur du quartier, entre 80 m et 160 m de distance à l'axe du puits, s'est déformée. Cette déformation doit être complexe dans le détail, les terrains étant stratifiés. Néanmoins on peut grossièrement la décrire, dans un plan méridien vertical, comme une flexion. En effet (4) des bourrelets indices d'une compression horizontale se sont formés en surface sur le pourtour de l'ellipse intérieure ; (5) de petites fissures, mentionnées en (3), sont apparues à la périphérie de l'exploitation de 4^e couche ; (6) le sol a pris une pente régulière entre les deux ellipses ; (7) des fractures indices d'une traction horizontale se sont formées sur le pourtour de l'ellipse extérieure ; (8) à 160 m sous ce pourtour, une montée de voûte sur 3 mètres de haut et des déformations horizontales intenses ont été observées (Fig. 4). Le reste du toit du quartier s'est incliné en direction du puits n° 1, avec la même pente que celle de la surface du sol, de l'ordre de 4 %, en restant intact hormis des petites fissures (9). Dans la petite galerie de section 3 m x 3 m, creusée postérieurement à l'accident au-dessus du quartier effondré, le sel est intact sauf dans une zone d'une longueur de 10 mètres à l'aplomb des galeries du pourtour extérieur (10).

4

Signes précurseurs

4.1

Désordres au fond

On a dit que l'exploitation avait été arrêtée quelques heures avant l'effondrement, après qu'une fissure fut apparue dans un bâtiment et que des grondements se furent fait entendre au fond. En fait il y avait eu aupara-



Toit et piliers dans les galeries les plus extérieures du quartier effondré (source : archives CSME).

Roof and pillar close to the external abutment in the collapsed panel (source : archives CSME).

vant quelques signes précurseurs ; ils sont particulièrement utiles pour les calculs numériques car ils permettent de se faire une idée des déplacements observés avant l'effondrement :

« Depuis 15 jours, à la surface, les mouvements d'affaissement, de contraction et de refoulement, insensibles sur la terre, se trahissaient par la rupture [...] de tuyaux de conduite en fonte. [...] Depuis cinq à six mois, le sol des galeries montait de manière sensible. Dans la galerie Sainte-Julie, nous constatons le 20 octobre dernier que le sol avait monté de 0,80 m¹. Un grand nom-

¹ « Il apparaît que le rétrécissement des galeries dans le sens de la hauteur s'était élevé jusqu'à 1,20 m. [...] tenait non seulement à ce que le sol des galeries s'exhaussait mais aussi à ce que les piliers eux-mêmes s'enfonçaient dans le sol » (Braconnier, 1873c, p. 2).