

**Constat d'experts concernant StocaMine - MDPA Wittelsheim.**  
**Evaluation géomécanique de la tenue des toits et des parements**  
**dans le contexte du déstockage des déchets dans le Bloc 21**

---

Donneur d'ordre : Mines de Potasse d'Alsace (MDPA)  
Avenue Joseph Else - B.P. 50  
F 683010 Wittelsheim

Preneur d'ordre : K-UTEC AG Salt Technologies  
Am Petersenschacht 7  
99706 Sondershausen

Chargé du dossier : Dr.-Ing. Axel Stäubert  
Expert assermenté, agréé par la CCI d'Erfurt en matière de géotechnique (géomécanique et géologie de l'ingénieur), notamment pour les mines de sel  
Dr.-Ing. Volker Asemann  
Dr.-Ing. Thomas Fliß

Sondershausen, le mardi 15 septembre 2015

Dr. Volker Asemann  
Comité de direction

Dr. Axel Stäubert  
Chef de service géomécanique/extraction minière

## Sommaire

<b>1</b>	<b>Mission .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Résumé des constats effectués lors de la visite de la mine du 17 juin 2015.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Causes possibles des phénomènes de pression du terrain constatés au niveau du Bloc 21.....</b>	<b>7</b>
3.1	Considération des effets des exploitations antérieures sur le site de stockage de StocaMine .....	7
3.2	Présentation d'exemples de cas actuels des mines de potasse et de sel en Allemagne.....	12
3.3	Investigations de Ifg GmbH de Leipzig par fracturation hydraulique en mai 2014.....	16
3.4	Contexte géomécanique des fractures observées.....	18
<b>4</b>	<b>Evaluation géomécanique .....</b>	<b>22</b>
4.1	Exposé - généralités .....	22
4.2	Recommandations quant à la marche à suivre pour le déstockage au niveau du bloc 21 .....	23
4.3	Le boulonnage : un instrument de sécurisation .....	25
<b>5</b>	<b>Recommandations relatives à des mesures et des investigations supplémentaires .....</b>	<b>27</b>
5.1	Possibilités supplémentaires de sécurisation du toit.....	27
5.2	Mesures de surveillance pour une détection anticipée de situations dangereuses permettant d'accroître la sécurité des travailleurs .....	27
5.3	Mise en place d'un système de surveillance sismique in situ, pour la surveillance et la localisation de micro-fracturations dans le périmètre des zones en cours de déstockage.....	28
5.4	Mesure des contraintes selon le procédé de la <i>fracturation hydraulique</i> .....	29

## Récapitulatif des annexes

Annexe 1	StocaMine. Projection verticale avec implantation du site de stockage de déchets et des vieux travaux dans les veines de potasse {Source : MDPA, 02/2015}
Annexe 2	Documentation photographique StocaMine - Mines de Potasse d' Alsace (visite du 17 juin 2015)
Annexe 3	Conseils pour garantir la tenue des toits et des parements par boulonnage

## Table des illustrations

Figure 1	StocaMine, Bloc 21-23, illustrant les points photographiés le 17 juin 2015.....	5
Figure 2	MDPA, zone de stockage des déchets, avec superposition des vieux travaux et des zones non exploitées (→ piliers résiduels ou surfaces résiduelles) dans les couches de potasse .....	11
Figure 3	Zone d'exploitation Nord I de GSES. Tests de fracturation hydraulique, 2013. F349/F350 - GL (07/2013). Effets de pilier résiduel/ de détente dans les veines de	

	sel gemme situés au mur, suite à une activité d'exploitation antérieure de la potasse .....	12
Figure 4	Secteur d'exploitation Sud I de GSES. <i>Tests de fracturation hydraulique</i> , 2014. F355/F356 - GL (02/2014). Effets de détente résultant de <i>la taille de détente</i> dans la couche de potasse <i>sus-jacente</i> .....	14
Figure 5	Secteur d'exploitation Sud I de GSES. <i>Tests de fracturation hydraulique</i> , 2014. F357/F358 - GL (07/2014). Charges au niveau des galeries creusées dans les couches de sel gemme situées au mur, en fonction de l'exploitation antérieure de potasse .....	16
Figure 6	"In-Situ Stress Measurement at the planned Pilot Dam" {IfG Leipzig, 2014} .....	17
Figure 7	„Stress distribution with depth in the roof (F-SM-01/14), in the wall (F-SM-02/14), in the floor (F-SM-03/14)" {IfG Leipzig, 2014} .....	18
Figure 8	Distribution des contraintes dans l'exploitation par chambres et piliers dans le site de stockage de déchets souterrain.....	19
Figure 9	Facteur aggravant : Stratification horizontale de la couche de sel gemme située au mur et constituée de fines couches, séparées par de nombreux plans de décollement latents .....	19
Figure 10	Décollements en forme de biseau et situation actuelle des contraintes au niveau du <i>bloc 21 (cette illustration schématique n'est pas à l'échelle)</i> .....	20
Figure 11	Zone sud-ouest du <i>bloc 21</i> , située dans le périmètre de la portion de gisement abandonnée, et situation d'exploitation des veines de potasse <i>sus-jacentes</i> .....	21
Figure 12	Situation schématique de la stratification et des toits au niveau du <i>bloc 21</i> .....	24

## 1 Mission

La société *Mines de Potasse d'Alsace (MDPA)* à Wittelsheim, exploitant de l'ancien site de stockage souterrain de déchets StocaMine, fermé après un incendie dans la zone de stockage en 2002, s'emploie actuellement à déstocker une partie définie des déchets dangereux contenus dans ce site de stockage. Les travaux de déstockage dans le *Bloc 21* s'effectuent dans des zones en partie affectées par de graves perturbations géomécaniques ; le potentiel de risque de ces travaux pour les mineurs présents n'est pas comparable aux risques typiques des travaux miniers d'extraction ou de soutènement.

Un courrier du Préfet du Haut-Rhin de juin 2015 impose l'analyse, par un expert indépendant, de la faisabilité technique du déstockage dans la zone "*recoupe 8 du bloc 21*"<sup>1)</sup>, axée sur une vérification de la situation géomécanique, l'inventaire des techniques minières disponibles, et, le cas échéant, la formulation d'axes d'amélioration de la sécurité.

La société *K-UTEC AG Salt Technologies*, à Sondershausen, structure ayant succédé à l'ancien institut de recherche sur la potasse du Kombinat Kali (combinat de potasse) de l'Ex-RDA, travaille depuis 60 ans sur les problématiques des mines de potasse et de sel. Elle dispose d'une expérience très étendue, recueillie sur les sites d'extraction de potasse et de sel gemme en Allemagne et au cours de projets divers dans le monde entier.

Le présent avis a été rédigé par Dr. Axel Stäubert [Chef de service géomécanique/extraction minière, et depuis 1996, Expert assermenté, agréé en matière de géotechnique (géomécanique et géologie de l'ingénieur), notamment pour les mines de sel], Dr. Volker Asemann [ingénieur minier, ancien chef de la mine de Teutschenthal, Teutschenthal Sicherungs- GmbH & Co. KG (mine de remblayage) et membre du comité de direction de K-UTEC AG] et Dr. Thomas Fliß [chef de service adjoint géomécanique/extraction minière].

Dans le cadre de leur mission, les experts Dr. Asemann et Dr. Stäubert ont effectué une visite sur place avec descente dans la mine et des entretiens de concertation, les 16 et 17 juin 2015 à Strasbourg et Wittelsheim, avant de livrer une évaluation préliminaire de la situation, avec présentation au Préfet du Haut-Rhin à Colmar, le 08 juillet 2015.

## 2 Résumé des constats effectués lors de la visite de la mine du 17 juin 2015

A la date de la visite, les travaux de déstockage de déchets étaient en cours au niveau du *Bloc 21* dans les galeries 21/1 et 21/2, en direction du nord-est à partir de l'*Allée centrale*. Les Annexes 1 et 2 montrent un aperçu du site, avec emplacement de la zone de stockage et des anciens travaux dans les veines de potasse {source : MDPA, 02/2015} ainsi qu'une documentation photographique, réalisée le 17 juin 2015.

<sup>1)</sup> Courrier de la DREAL (*Direction régionale de l'aménagement et du logement Alsace*). Préfet du Haut-Rhin. Courrier de Monsieur Lelarge, Colmar, à Monsieur Alain Rollet, Liquidateur de la société des Mines de Potasse d'Alsace, Avenue Joseph Else, 683010 Wittelsheim, du 10/06/2015. 1 p.



La figure 1 et l'Annexe 1 illustrent les emplacements de prise des clichés ; les légendes des photos fournissent de plus amples détails sur les points photographiés.

De plus, MDPA avait remis aux experts des documentations photographiques détaillées des travaux de déstockage dans les galeries 21/1 et 21/2 d'avril et de juin 2015, illustrant les précautions minières étendues mises en place, et les défis miniers posés par ce déstockage.

Les résultats des endoscopies et contrôles à la canne détectrice de décollements réalisés jusqu'à 3 m, au niveau de l'Allée 21/1, chambre A1R7 et de l'Allée 21/2, au niveau de la chambre A2R8, indiquent des décollements de toit à 20 cm jusqu'à au maximum 100 cm de profondeur. Bien souvent, plusieurs décollements ont été détectés, dont certains présentant des amplitudes comprises entre 1 et 5 cm (p. ex. photo n° 3/2015 de l'Annexe 2, page 3).

La situation du toit dans les blocs avoisinants, n° 12, 22 et 23, se présente majoritairement de façon plus favorable, avec, le plus souvent, un jeu de 10 à 40 cm entre les colis de déchets et le toit. D'après ce qu'on pouvait voir au niveau des entrées de chambre depuis l'Allée centrale, les déchets ne sont pas encore, ou seulement en partie, comprimés par la convergence (voir photos n° 15-17/2015 du 17 juin 2015 dans la documentation photographique présentée en Annexe 2, pages 9 et suivantes).

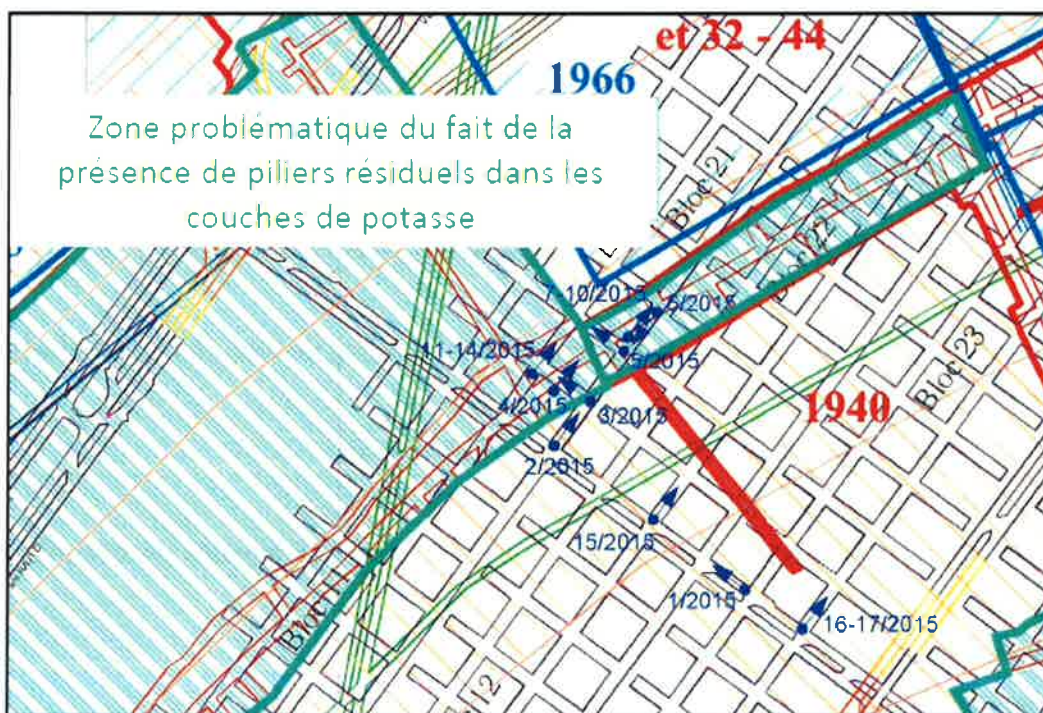


Figure 1 StocaMine, Bloc 21-23, illustrant les points photographiés le 17 juin 2015  
Phénomènes géomécaniques constatés au cours des travaux de déstockage dans le Bloc 21 :

- Gonflement / remontée du mur (sol) ;

- Gonflement des piliers et écaillage de leurs parois (suite à la dilatation du pilier dans le sens transversal) ;
- Apparition de fissures verticales, axiales et transversales dues aux contraintes de traction / cisaillement découpant des blocs dans le toit décollé
- Déformations dans la structure lithologique du toit et décollements (chutes de bloc) ;
- Plans de décollement à des profondeurs variables dans le toit (voir ci-dessus) ;
- Plaques détachées de taille variée reposant sur les colis de déchets et les déformant ;
- Phénomènes de compression et de déformation des colis dus à la convergence ;
- Efficacité limitée du boulonnage réalisé (du fait de la possibilité de décollements dans le haut toit).

Ce type de processus de déformation et de rupture n'est pas inhabituel dans les mines de potasse et de sel allemandes après une durée de repos prolongée des travaux miniers, mais les phénomènes apparaissent rarement de manière aussi concentrée sur un espace réduit comme ici dans le *Bloc 21*, et avant tout dans des conditions de récupération de colis de déchets dans le cadre du déstockage.

Aussi, il convient de considérer la configuration des travaux dans la zone de stockage aménagée dans le sel gemme, et son interaction avec les vieux travaux miniers dans les deux couches de potasse (section n°3).

La démarche retenue pour le déstockage des colis de déchets peut se décrire comme suit :

- Décrochage et abattage des plaques de toit et des parements décollés devant les colis en place ;
- Foration de trous de contrôle endoscopiques pour contrôler les fissures et les limites de décollement dans le toit
- Définition de mesures de sécurité adaptées au cas par cas ;
- Foration et pose de boulons ;
- Pose d'étrécons hydrauliques individuels à titre de nouvelle mesure de sécurité supplémentaire ;
- Enlèvement des plaques tombées du toit
  - manuellement,
  - avec les fourches du chariot de manutention,
  - en tirant avec une chaîne fixée à la plaque à l'aide du chariot,
- Libération des colis par aspiration des déchets (big-bags), par destruction des palettes (fûts), ou par compression des colis à l'aide des fourches du chargeur,
- Enlèvement des colis avec le chariot de manutention/chariot-élévateur,

- Reconditionnement dans de nouveaux colis et entreposage à un endroit différent.
- Ce cycle recommence avec la prochaine rangée. A l'intérieur de chaque rangée, les travaux de sécurisation reprennent après chaque paire de palettes.

Selon l'avis des experts, cette démarche recèle, par principe, plusieurs défis miniers :

- Maîtrise du risque latent de chutes de blocs au niveau du toit, fortement perturbé, malgré la présence de boulons d'ancrage,
  - à cause d'une tenue insuffisante au niveau des coquilles des boulons,
  - à cause d'un boulonnage mal réparti sur la plaque,
  - à cause de risques de chutes de bloc susceptibles de se produire entre les boulons et
  - à cause du risque de chute de toit de toute une portion de galerie du fait de la présence de limets à une profondeur supérieure à la longueur des boulons (boulons d'ancrage inefficaces, chute en masse du toit/éboulement)
- Diminution des risques lors du purgeage de plaques reposant sur les colis de déchets,
  - qui sont en partie comprimés du fait de la convergence,
  - ou bloqués sous le toit, ou par des débris détachés du toit,
  - parfois de très grande taille et très lourds, difficilement maniables, et
  - les opérateurs étant limités dans leur perception sensorielle par l'équipement de protection individuelle ;
- Prise en compte de la réaction soudaine du toit après l'extraction des déchets ayant soutenu le toit auparavant ;
- Attention particulière : risque d'accidents de travail avec des machines à cause du manque de place ;
- Diminution des risques chimiques dus à un éventuel endommagement de l'EPI ;
- Contraintes à observer : interventions des secours très difficiles en zone rouge.

### **3 Causes possibles des phénomènes de pression du terrain constatés au niveau du *Bloc 21***

#### **3.1 Considération des effets des exploitations antérieures sur le site de stockage de StocaMine**

Pour déterminer les causes des phénomènes de pression du terrain constatés au niveau du *Bloc 21*, il convient tout d'abord d'analyser les effets des exploitations antérieures, avec deux veines de potasse sus-jacentes exploitées, et la zone de stockage creusée ultérieurement, à un niveau inférieur, dans le sel gemme.

Le creusement de la zone de stockage de déchets *StocaMine* à env.20 m en-dessous des vieux

travaux de la veine inférieure de potasse, située elle-même env.20 m en-dessous des vieux travaux de la veine de potasse supérieure<sup>2)</sup>, a donc été réalisé **dans une zone potentiellement** détendue. Ce type de protection est pratiqué dans l'exploitation charbonnière depuis environ un siècle à titre de mesure de dégazage, et notamment, de prévention des coups de terrain. D'un autre côté, on se rendit compte très tôt qu'une orientation défavorable des creusements pouvait faciliter les coups de terrain<sup>3), 4)</sup>.

Pour les considérations qui nous intéressent ici, nous ne parlerons pas des risques de coups de terrain, **mais d'accumulations de contraintes géomécaniques indésirables, conduisant à un accroissement des mouvements de terrain par suite d'effets défavorables des travaux antérieurs.**

NIEMCZYK (1949) a résumé son approche systématique comme suit (Gimm & Pforr, 1961<sup>5)</sup>) :

- „a) Cas d'exploitation favorisant les coups de terrain de terrain à l'intérieur d'une même veine :
- 1<sup>er</sup> cas : Taux de défrètement trop important dans certains quartiers de mine ;
  - 2<sup>e</sup> cas : Pressions supplémentaires suite à l'exploitation inappropriée d'ilots de charbon ;
  - 3<sup>e</sup> cas : Contraintes susceptibles de provoquer un coup de terrain devant un front de taille, à l'avancement ou au repos.
- b) Apparition de contraintes supplémentaires, susceptibles de provoquer un coup de terrain, sous forme d'interactions entre deux ou plusieurs veines :
- 4<sup>e</sup> cas : Contraintes supplémentaires induites par un simple effet de bordure, au niveau d'une taille sus-jacente ou sous-jacente ;**
  - 5<sup>e</sup> cas : Contraintes supplémentaires induites par un effet de pilier résiduel, au niveau d'une exploitation sus-jacente ou sous-jacente ;**
- (<sup>5)</sup>, p. 100).

- 
- 2) FULDA, E. :  
Das Kali (La potasse). II<sup>e</sup> partie : Die Chemie und Mineralogie der Kalisalze; die Geologie der Kalisalzlagertstätten; die Gewinnung, Verarbeitung und Verwertung der Kalisalze [Chimie et minéralogie des sels potassiques ; géologie des gisements de potasse ; extraction, transformation et valorisation des sels potassiques]. - Stuttgart : Editions : Verlag von Ferdinand Enke, 1928. p. 123-129
- 3) NIEMCZYK, O. : Bergschadenkunde [Etude des dégâts miniers]. - Essen : Editions :Verlag Glückauf, 1949
- 4) JAKOBI, O. : Praxis der Gebirgsbeherrschung [Pratique de la maîtrise des terrains miniers]. - Essen : Editions :Verlag Glückauf, 1976  
BRÄUNER, G. : Grundregeln der spannungsmindernden Abbauführung [Règles de base de la conduite de tailles de détente]. - Glückauf, Essen 116 (1980) cahier n° 3, p. 109 - 112  
BRÄUNER, G. : Gebirgsdruck und Gebirgsschläge [Pression des terrains et coups de terrain]. - Essen : Editions :Verlag Glückauf, 1981  
BRÄUNER, G. : Gebirgsschläge und ihre Verhütung im Ruhrbergbau [Les coups de terrain et leur prévention dans les houillères de la Ruhr]. - Essen : Editions :Verlag Glückauf, 1989  
HUWE, H.-W. : Abbauplanung - Schutzflözabbau als planerische Maßnahme [Planification de l'exploitation – la taille de détente à titre de mesure planifiée]. - Glückauf, Essen 116 (2007) cahier n° 11, p. 524 - -527
- 5) GIMM, W. & H. PFORR : Gebirgsschläge im Kalibergbau unter Berücksichtigung von Erfahrungen des Kohlen- und Erzbergbaus [Les coups de terrain dans les mines de potasse, en tenant compte du retour d'expérience des industries houillère et d'extraction des minerais]. - Périodique "Freiberger Forschungsheft" A 173, Berlin 1961, p. 1 - 181



D'une part, nous avons réussi à démontrer l'existence d'*effets de détente similaires* dans les mines de potasse allemandes (Zechstein), tant dans l'exploitation dans le gisement de potasse de la mine Werra que dans les exploitations sur plusieurs étages dans le gisement de potasse de Staßfurt, un gisement de très forte épaisseur par endroits, dans le bassin potassique du Harz du sud. Ces effets de détente ont été relevés, à l'aide d'un dispositif de mesure de contrainte, appelé "fracturation hydraulique" (*Hydraulic Fracturing*), depuis la fin des années 1980. La distance verticale entre les horizons exploités variait alors entre 10 et 60 m<sup>6)</sup>.

D'autre part, des effets négatifs résultent d'exploitations superposées dans les terrains salifères, d'une conduite d'exploitation défavorable, et de l'abandon de piliers résiduels ou d'une partie du gisement dans les premiers horizons exploités. A ce titre, la position de ces piliers ou portions de gisement abandonnées, à savoir au-dessus ou au-dessous du niveau considéré, est sans incidence (voir section n° 3.2).

Gimm & Pforr (1961) décrivent le phénomène de manière détaillée <sup>(5)</sup>, p. 103-105) :

*Cas 4 : Pression supplémentaire induite par un effet de bordure au niveau des vieux travaux sus-jacents ou sous-jacents (en cas d'exploitation de deux veines ou plus)*

Le cas 4 est très similaire au cas 3, sauf que le cas 4 ne concerne plus une exploitation à étage unique. A ce titre, les zones de contrainte d'une veine peuvent également agir sur une veine sus-jacente ou sous-jacente et provoquer des coups de terrain dans les travaux miniers, et notamment dans les galeries d'exploitation des veines voisines. Le cas 4 est donc une configuration avec des *effets de bordure simples*, dans une configuration d'exploitation normale d'une veine sus-jacente ou sous-jacente, sans que la bordure responsable de l'effet de bordure ne soit reliée à un pilier résiduel.

*Cas 5 : Contraintes supplémentaires induites par un effet de pilier résiduel au niveau de vieux-travaux sus-jacents ou sous-jacents (en cas d'exploitation de deux veines ou plus)*

L'effet de bordure particulièrement dangereux émanant d'un pilier résiduel est désigné par le cas 5.

Les piliers résiduels sont des parties de gisement abandonnées, quasiment entourées de toutes parts par les vieux travaux. Les piliers résiduels se situent toujours dans une veine sus-jacente, ou sous-jacente à l'étage d'exploitation. Leur impact sur l'étage d'exploitation inférieur ou supérieur est fonction de leur forme et de leur taille. En-dessous d'un pilier résiduel, il se forme deux zones différentes, à savoir d'une part la zone de cœur, caractérisée

<sup>6)</sup> STÄUBERT, A. :  
Spannungssondierungen mittels Hydraulic Fracturing zur geomechanischen Überwachung des Kalibergbaus im Südharz-Kaligebiet der DDR [Sondage des contraintes à l'aide de la fracturation hydraulique pour la surveillance géomécanique des mines de potasse dans le bassin potassique du Harz du Sud en RDA]. - Périodique "Neue Bergbautechnik" (nouvelles techniques minières), Leipzig 20 (1990) 9, p. 335 - 339

par des contraintes dans toutes les directions, et la zone de bordure ou périphérique, caractérisée par une contrainte unilatérale (figure 66).

Si deux piliers résiduels se superposent dans deux veines, chacun des piliers agit comme un "îlot de charbon" selon le cas 2 du système. De plus, ils s'influencent mutuellement, d'une veine à l'autre, par un effet de pilier selon le cas 5.

Les zones d'exploitation les plus exposées aux phénomènes de coups de terrain sont celles qui sont creusées dans la zone de cœur d'un pilier résiduel situé à l'étage supérieur. A titre d'exemple pour une telle zone très exposée aux coups de terrain, on peut citer la voie de reconnaissance, illustrée à la figure 66, creusée verticalement par rapport au front de taille, vers la zone vierge. Si le front de taille pénétrait dans la zone d'influence de la zone de cœur, des chutes de blocs très graves seraient inévitables du fait des contraintes présentes.

Autre effet très important dans la configuration du cas 5 : l'effet dit de "poinçonnage". Cet effet se manifeste essentiellement dans la zone de cœur, où il provoque une fragmentation totale du charbon. Les effets de poinçonnage ne sont toutefois prévisibles, dans l'exploitation de la houille, que si la veine intercalaire de grès entre le pilier résiduel et la veine de charbon exploitée n'est pas trop épaisse. NIEMCZYK (1949, p. 205, fig. 207 et 208) cite deux exemples de Haute-Silésie avec des couches intercalaires d'une épaisseur respective de 31 m et de 77 m. En présence de couches intercalaires de faible épaisseur, la zone située en-dessous du pilier résiduel ne pouvait pas être exploitée jusqu'au bout pour cause de contraintes faisant craindre un coup de terrain. Ces exemples permettent également de démontrer que plus la couche intercalaire est épaisse, plus l'angle du biseau, qui sépare la zone de cœur de la zone de bordure, devient pentu. La même loi s'applique à la délimitation extérieure de la zone de bordure.

A ce titre, il est expressément souligné que le risque de coup de terrain n'entre pas en ligne de compte pour le site de *StocaMine*, mais que les accumulations de contraintes et les "*effets de poinçonnement*" ont eu un impact négatif sur la stabilité des contours des derniers creusements effectués = *StocaMine*, situés en-dessous des vieux travaux, une exploitation menée par longue taille foudroyée dans les veines de potasse sus-jacentes (cf. figures 2 et 3).

Les distances verticales entre le site de stockage de déchets dans le sel gemme et les couches de potasse inférieure et supérieure sont d'env.  $\approx$  20 m dans le périmètre du site de stockage.



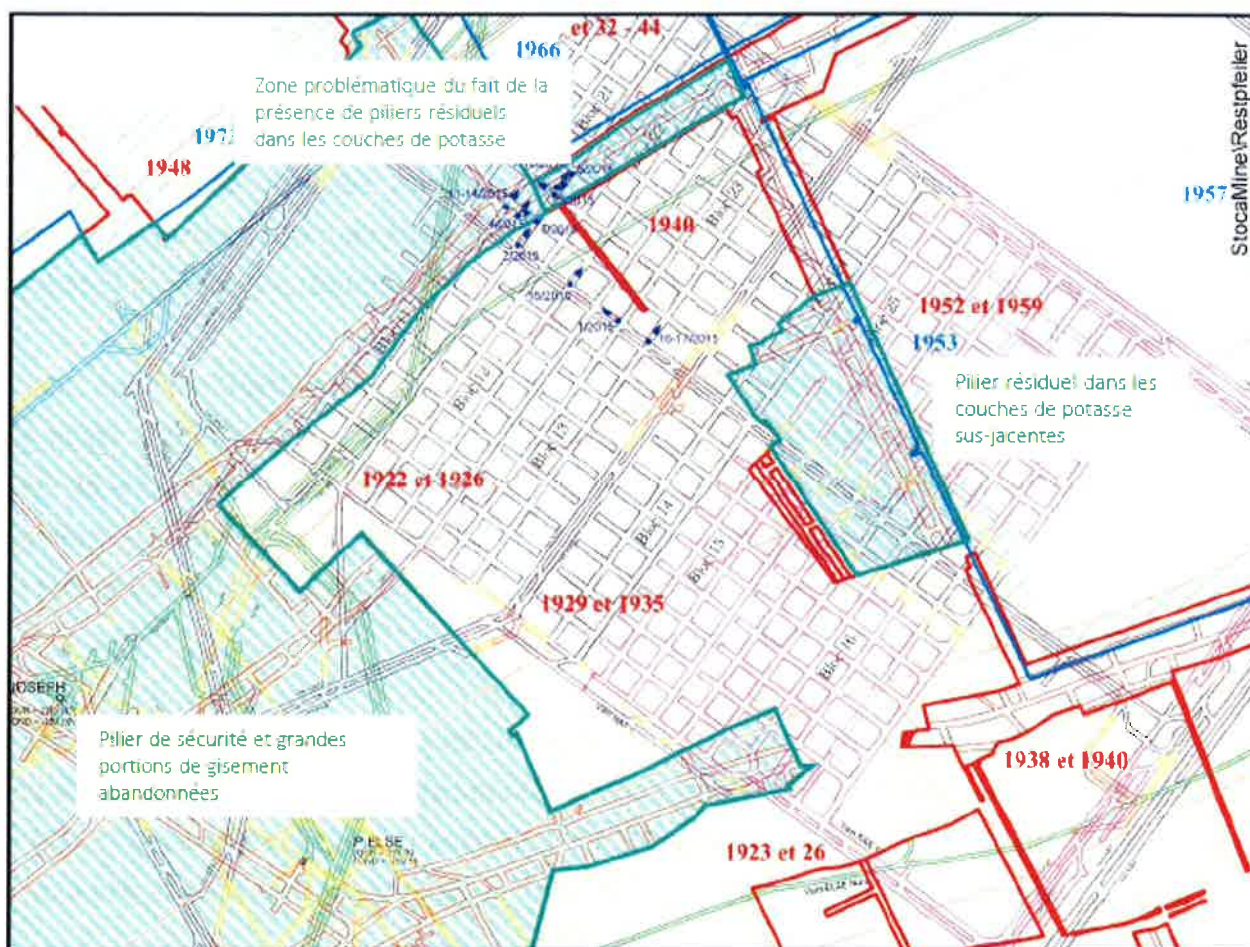


Figure 2 MDPa, zone de stockage des déchets, avec superposition des vieux travaux et des zones non exploitées (→ piliers résiduels ou surfaces résiduelles) dans les couches de potasse

On voit assez bien la superposition avec les zones en question, situées au-dessus du site de stockage :

- avec le pilier résiduel dans le périmètre des blocs 24, 25 et suivants et bloc 21, et
- avec la grande portion de gisement abandonnée, qui touche les blocs 21 et 11 (cf. notamment la figure 2).

L'effet de poinçonnement de la portion de gisement abandonnée, située au-dessus des blocs 24, 25 et suivants, avait été décelé selon MDPa dès le creusement des chambres de stockage, et avait conduit à abandonner un certain nombre de recoupes ; actuellement, ces zones, tributaires d'une très forte pression des terrains, présentent des déformations très importantes et ne sont plus accessibles.

### 3.2 Présentation d'exemples de cas actuels des mines de potasse et de sel en Allemagne

Pour expliquer les phénomènes d'*effet de pilier résiduel*, d'*effet de bordure* et d'*effet de détente* évoqués ci-dessus, nous allons présenter quelques exemples d'exploitations de mines de potasse et de sel gemme en Allemagne. Nous disposons d'un procédé de mesure éprouvé et fiable pour la mesure des contraintes du terrain, à savoir la fracturation hydraulique (*Hydraulic Fracturing*) (voir également la section n°5.4).

Pour la seule mine de Sondershausen de la société d'exploitation GSES mbH, on peut citer un certain nombre de résultats métrologiques, recueillis sur une exploitation de potasse et de sel gemme menée sur plusieurs étages. Il s'agit de l'exploitation actuelle de la couche de sel gemme "Staßfurtsteinsalz", sous-jacente à l'ancienne mine de potasse, creusée dans la couche de potasse Staßfurt, à une distance verticale entre les étages comprise entre 10 et 60 m (les deux exploitations étant menées par chambres et piliers).

En juillet 2013, des mesures de fracturation hydraulique ont été effectuées dans les forages F349/F350 - GL, dans la couche de sel gemme "Staßfurtsteinsalz", sous-jacente à une portion de gisement abandonnée de 5.250 m<sup>2</sup> env. 70 x 75 m<sup>2</sup> dans la couche de potasse (F349) et sous-jacente à la bordure de cette portion de gisement ; la distance par rapport à la veine de potasse Staßfurt sus-jacente à cette zone était d'env. ≈ 15 m.

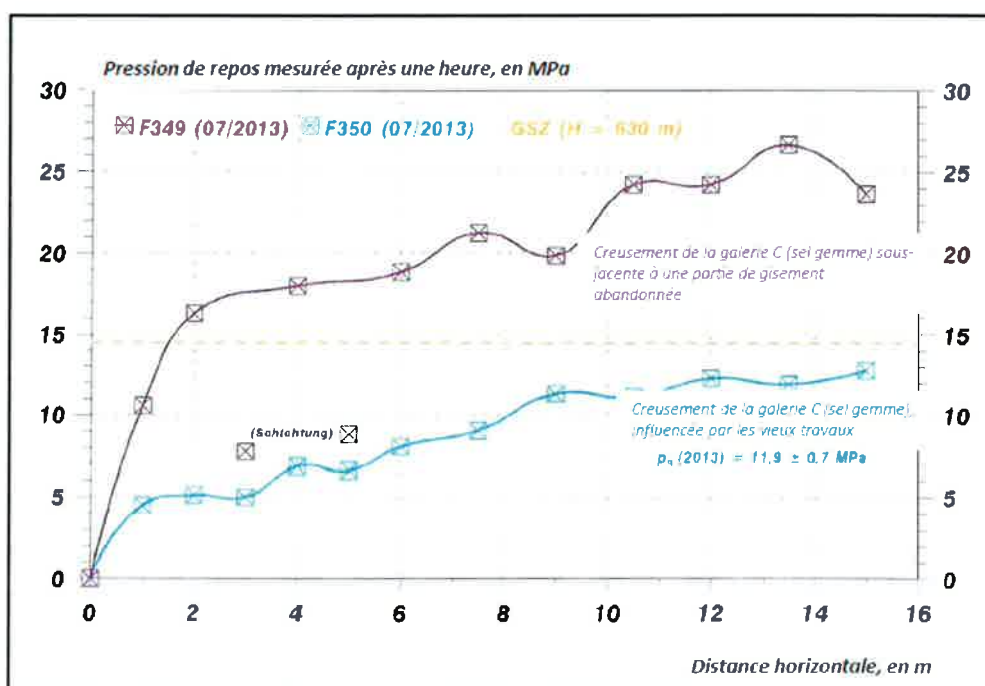


Figure 3 Zone d'exploitation Nord I de GSES. Tests de fracturation hydraulique, 2013. F349/F350 - GL (07/2013). Effets de pilier résiduel/ de détente dans les veines de sel gemme situés au mur, suite à une activité d'exploitation antérieure de la potasse

Les diagrammes d'évaluation du forage F349/F350 - GL dans le mur de sel gemme illustrent les "pressions de repos après fracturation" au niveau des configurations d'exploitation retenues (figure 3)<sup>7)</sup> :

■ **F349 - GL : Exploitation sous-jacente à une portion de gisement abandonnée** de la veine de potasse Staßfurt (à une distance verticale d'env. 15 m de la veine de potasse)  
(03/2013) → Pression de repos moyenne au cœur du pilier, 2013 :

$$p_R (1 \text{ h}) = 24,7 \pm 1,3 \text{ MPa},$$

→ Pression de repos moyenne au cœur du pilier, 2013 :

(charge calculée approximative :  $\sigma_{Pf} = 18,9 \text{ MPa}$ ) :  $\sigma_{Pf} = 32 \dots 40 \text{ MPa}$  ;

→ **Effets de pilier résiduel au niveau du mur (sol) de sel gemme.**

■ **F350 - GL : Exploitation sous-jacente à de vieux travaux, en bordure d'une portion de gisement abandonnée** (distance verticale par rapport aux vieux travaux : env. 10 m)

(03/2013) → Pression de repos moyenne au cœur du pilier, 2013 :

$$p_R (1 \text{ h}) = 11,9 \pm 0,7 \text{ MPa},$$

→ Contrainte réelle exercée par le pilier (charge calculée approximative :

$$\sigma_{Pf} = 18,9 \text{ MPa}) : \quad \sigma_{Pf} = 16 \dots 19 \text{ MPa} ;$$

→ faible **détente en bordure de la surface résiduelle.**

L'ordre de grandeur de la pression mesurée, de 40 MPa maximum, au niveau du forage F349 - GL n'est pas critique, ni pour le sel gemme ni pour le sel dur (potasse). Il indique néanmoins l'effet défavorable de l'abandon de surfaces résiduelles, tant sur l'entretien des galeries situées dans ce type de zones que sur le taux de réduction des vides dans le temps par "foudroyage" (dilatation transversale accrue des piliers et convergence) au niveau des bordures de ce type de zones tectoniques, en contact avec le terrain stérile<sup>7)</sup>.

En fin 2007, les premiers forages ont été réalisés dans les mines de sel gemme de GSES GmbH en vue de la mesure in situ des contraintes à l'aide du procédé de *fracturation hydraulique* ; d'autres forages suivirent fin 2008, en mars 2009, en février/mars 2010, en février 2011, en mars 2013 et en février et juillet 2014 ; à titre d'exemple, nous allons considérer les résultats obtenus au niveau des forages F355 jusqu'à F358 - GL. Tous ces forages ont été pratiqués dans la veine de sel gemme "Staßfurtsteinsalz"<sup>8)</sup>.

La situation minière se caractérise par une exploitation intense du gisement de potasse, menée en plusieurs étapes, avec des épisodes de remblayage hydraulique durant les années 1900 à 1917, 1932 à 1934 et 1973 à 1984 ; l'extraction de sel gemme, quant à elle, n'a débuté qu'en 2008.

<sup>7)</sup> STÄUBERT, A. & A. PENNDORF :

Relevé de preuves Glückauf Sondershausen GSES mbH. Analyse géomécanique complexe de la mine de Sondershausen, 2011 à 2013 - Date d'édition : III<sup>e</sup> trimestre 2013. - K-UTEC Sondershausen, 30/08/2013. 221 p., 33 annexes (inédit).



En bordure sud du gisement de sel gemme exploité jusqu'ici, nous avons obtenu les résultats ci-après (figure 4) ; la distance verticale par rapport à la veine de potasse "Staßfurt", exploitée entre 1931 et 1934 et remblayée en 1934, est d'environ 60 m ; les quartiers de mine exploités ultérieurement, entre 1976 et 1984, n'ont pour la plupart pas été remblayés :

■ **F307 - GL : Bordure du champ d'exploitation sous-jacent à la veine de potasse exploitée**

{Surface du pilier :  $28 \text{ m} \times 28 \text{ m} = 784 \text{ m}^2$  :

(03/2010) → Pression de repos moyenne au cœur du pilier, 2010:  $p_R (1 \text{ h}) = 6,0 \pm 1,2 \text{ MPa}$ .

■ **F356 - GL : Bordure du champ d'exploitation sous-jacent à la veine de potasse exploitée /**

Réitération des mesures au niveau du forage F307 - GL :

(02/2014) : → Pression de repos moyenne au cœur du pilier, 2014:  $p_R (1 \text{ h}) = 6,6 \pm 1,1 \text{ MPa}$ .

■ **F355 - GL : Bordure du champ d'exploitation de sel gemme sous-jacent à une petite portion de gisement abandonnée dans la veine de potasse :**

(02/2014) : → Pression de repos moyenne au cœur du pilier, 2014:  $p_R (1 \text{ h}) = 10,9 \pm 0,9 \text{ MPa}$ .

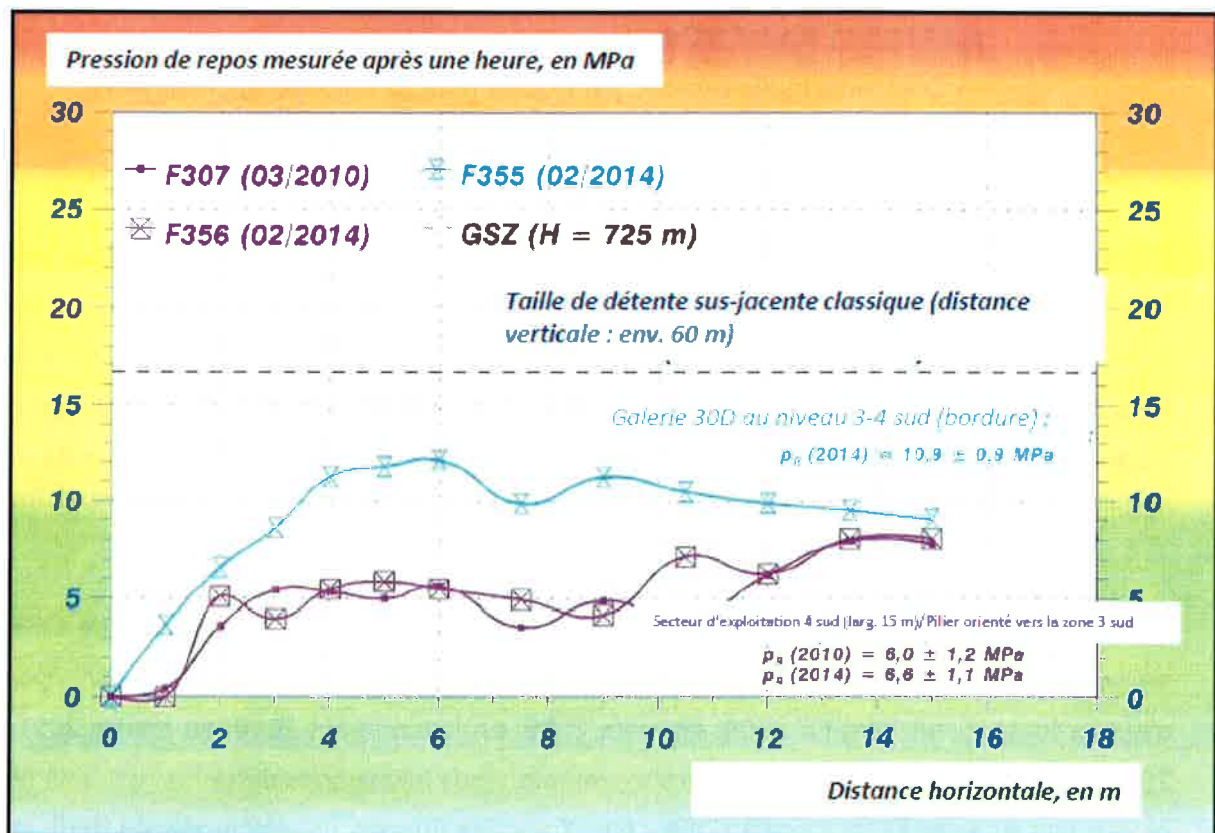


Figure 4 Secteur d'exploitation Sud I de GSES. Tests de fracturation hydraulique, 2014. F355/F356 - GL (02/2014). Effets de détente résultant de la taille de détente dans la couche de potasse sus-jacente

Même au niveau de la bordure sud du secteur exploité jusqu'en début 2014, les pressions de repos au cœur du pilier, mesurées au niveau du forage F55 - GL, avec une moyenne de 11 MPa et une

pointe à 12,1 MPa, équivalant à une charge du pilier comprise entre 16 à 18 MPa, ne s'élèvent qu'à 50 % de la charge théorique du pilier. Ces résultats s'expliquent par la détente habituelle s'exerçant sur les piliers situés près de la bordure, avant la progression de l'exploitation (qui les place au centre du secteur d'exploitation). A un autre point de mesure, au niveau des sondages F307/F356, les effets de détente démontrés par les mesures s'expliquent par une "taille de détente sus-jacente" classique, à savoir par les vieux travaux d'exploitation dans la couche de potasse (cf. figure 4)<sup>8)</sup>.

La figure 5 illustre des diagrammes d'évaluation des mesures de fracturation hydraulique dans la partie ouest du secteur d'exploitation de sel gemme Sud I de la société GSES GmbH<sup>8)</sup> :

■ **F346 - GL : Zone sous-jacente à la bordure du secteur d'exploitation de la mine de potasse**

→ **Effets de bordure sensibles :**

(03/2013) → Pression de repos moyenne au cœur du pilier, 2013 :  $p_R (1 h) = 24,5 \pm 0,7$  MPa ;  
→ Charge réelle du pilier (charge calculée approximative :  $\sigma_{Pf} = 32,2$  MPa) :  
 $\sigma_{Pf} = 36$  à 38 MPa.

■ **F357 - GL : Zone sous-jacente à une zone non exploitée de la mine de potasse → Diminution de l'impact de l'exploitation :**

(07/2014) → Pression de repos moyenne au cœur du pilier, 2014 :  $p_R (1 h) = 12,9 \pm 0,4$  MPa,  
→ Charge réelle du pilier (charge calculée approximative :  $\sigma_{Pf} = 34,1$  MPa) :  
 $\sigma_{Pf} = 17$  à 20 MPa.

■ **F358 - GL : Zone sous-jacente à la bordure d'une partie de gisement abandonnée de la mine de potasse → Charge quasi équivalente à la charge calculée approximative :**

(07/2014) → Pression de repos moyenne au cœur du pilier, 2014:  $p_R (1 h) = 20,3 \pm 0,7$  MPa ;  
→ Charge réelle du pilier (charge calculée approximative :  $\sigma_{Pf} = 32,2$  MPa) :  
 $\sigma_{Pf} = 29$  à 32 MPa.

<sup>8)</sup> STÄUBERT, A. & A. PENNDORF :  
Relevé de preuves Glückauf Sondershausen GSES mbH. Analyse géomécanique complexe de la mine de Sondershausen, 2013 à 2014 - Date d'édition : III<sup>e</sup> trimestre 2014. - K-UTEC Sondershausen, 24/09/2014. 150 p., 28 annexes (inédit).

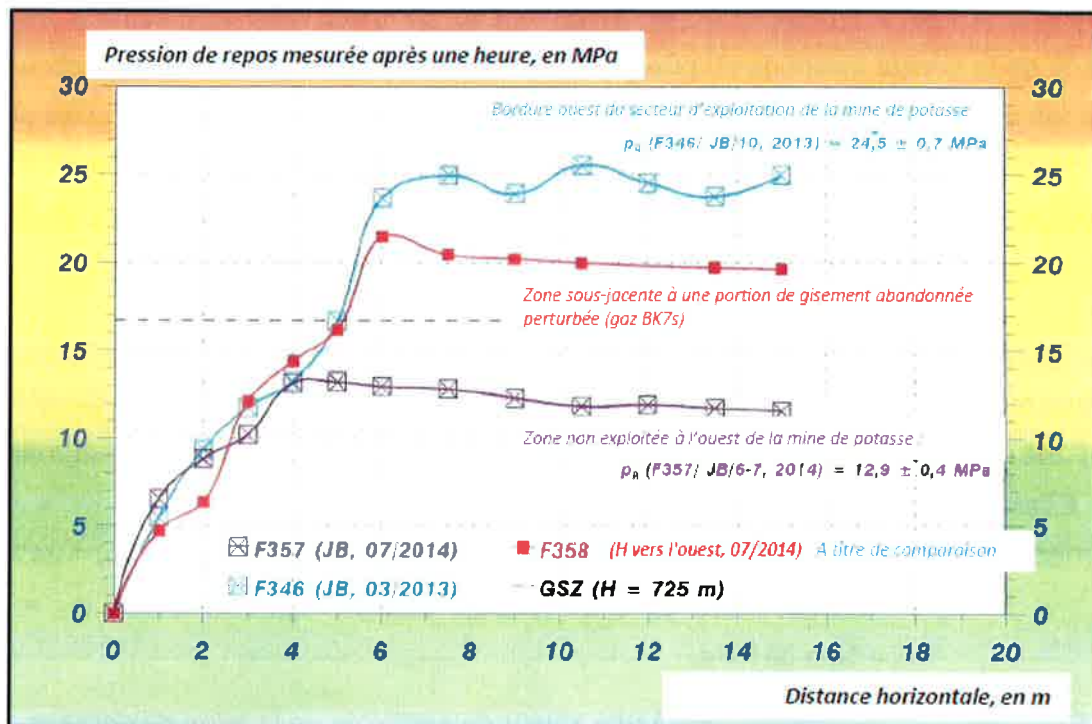


Figure 5 Secteur d'exploitation Sud I de GSES. Tests de fracturation hydraulique, 2014. F357/F358 - GL (07/2014). Charges au niveau des galeries creusées dans les couches de sel gemme situées au mur, en fonction de l'exploitation antérieure de potasse

Ces quelques exemples démontrent bien que la présence de vieux travaux, et les effets qui en résultent, peuvent être à l'origine de variations de charge très marquées et confinées dans un très faible périmètre au dernier niveau exploité.

Plus les charges des piliers sont élevées, plus les déformations souterraines sont fortes, et plus le taux de convergence sera élevé dans cette partie de l'exploitation.

### 3.3 Investigations de Ifg GmbH de Leipzig par fracturation hydraulique en mai 2014

Les seules mesures de contrainte par fracturation hydraulique effectuées jusqu'ici dans la zone de stockage de MDPa ont été réalisées en mai 2014 au niveau de trois forages, par la société Ifg GmbH de Leipzig <sup>9)</sup>.

<sup>9)</sup> WIEDEMANN, M. & T. POPP :  
In-Situ Stress Measurement Planned Pilot Dam Location StocaMine. Field Test Report No. 1° - Institut für Gebirgsmechanik GmbH (Société Institut de géomécanique), Leipzig, 21/07/2014. 14 p., 7 annexes.

La figure 6 et l'Annexe 1 montrent l'implantation du point de mesure au niveau du pilier de sécurité du puits *Joseph* dans la zone située au sud-ouest du site de stockage ; dans ce périmètre, aucune des deux veines de potasse n'a été exploitée.

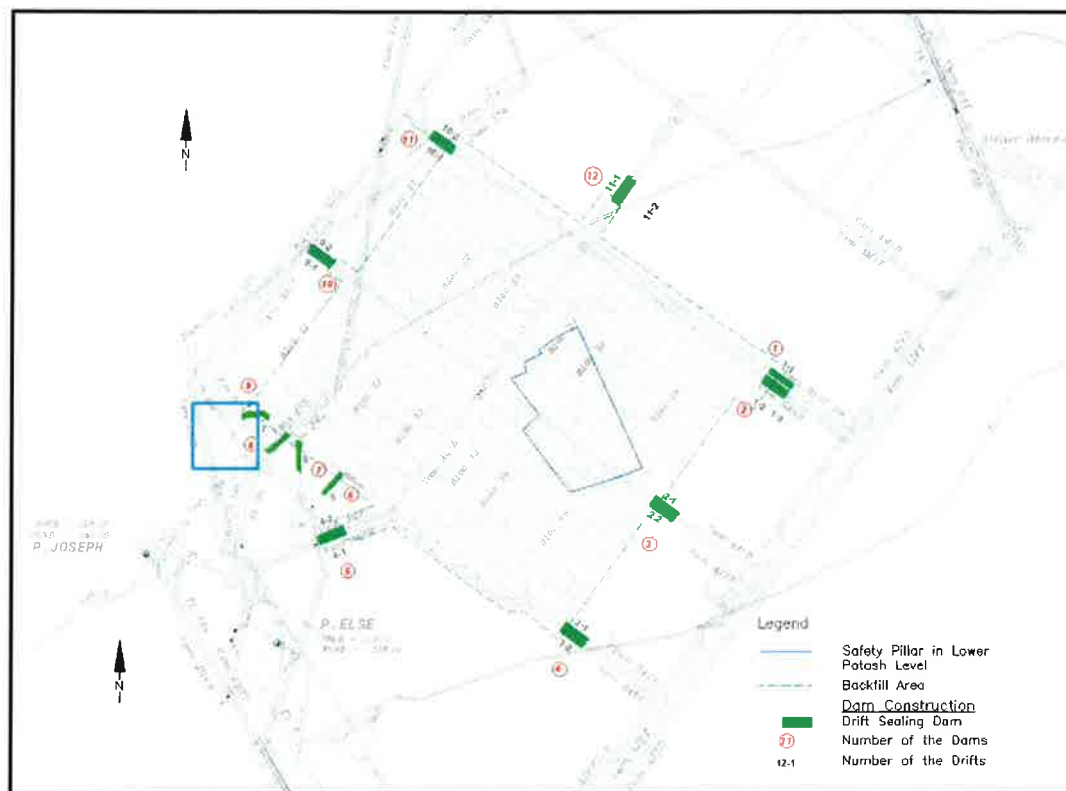


Figure 6 "In-Situ Stress Measurement at the planned Pilot Dam" {IfG Leipzig, 2014}

Les mesures ont été réalisées sur un forage horizontal, un forage vertical montant et un forage vertical descendant<sup>9)</sup>.

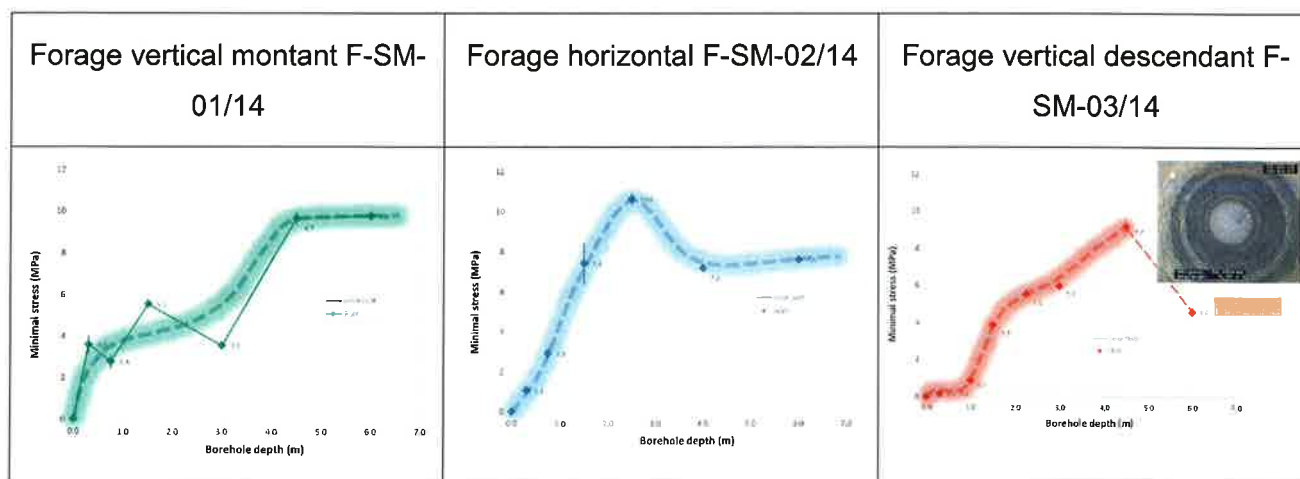


Figure 7 „Stress distribution with depth in the roof (F-SM-01/14), in the wall (F-SM-02/14), in the floor (F-SM-03/14)” {IfG Leipzig, 2014}

Les résultats de mesure correspondaient aux attentes ; globalement, les pressions de repos après fracturation hydraulique étaient "*normales*", c'est-à-dire relativement faibles, de même que les contraintes du terrain mesurées à ces endroits ; néanmoins, on a pu noter une zone de perturbation au niveau du mur (sol) allant jusqu'à une profondeur d'env. 1,5 m (cf. figure 7, à droite) :

- Forage vertical montant F-SM-01/14 : Pression de repos 05/2014 :  $p_R \approx 10$  MPa,  
1 ... 3 m de perte de cohésion au niveau du toit,  
Charge réelle du pilier :  $\sigma_{Pf} = 15$  MPa ;
- Forage horizontal F-SM-02/14 : Pression de repos 05/2014 :  $p_R \leq 10,6$  MPa,  
Perte de cohésion au niveau du parement jusqu'à env. 1 m du contour,  
Charge réelle du pilier :  $\sigma_{Pf} = 11 \dots 16$  MPa ;
- Forage vertical descendant F-SM-03/14 : Pression de repos 05/2014 :  $p_R > 9,2 \dots (11)$  MPa,  
Perturbations du mur (sol) sur 1,5 m ,  
Charge réelle du pilier :  $\sigma_{Pf} = 14 \dots 16$  MPa.

Par ses mesures, la société IfG Leipzig a ainsi relevé une situation d'exploitation quasi intacte, présentant des pertes de cohésion uniquement au niveau du mur, ce qui est très favorable pour le projet de construction des barrages de fermeture.

En vertu de l'expérience étendue de K-UTEC AG dans l'exploitation de potasse et de sel gemme en Allemagne, on peut supposer que la situation géomécanique dans le *bloc 21* qui nous intéresse, mais également dans d'autres blocs du site de stockage de déchets, vont différer considérablement de ces résultats de mesure recueillis dans le périmètre du pilier de sécurité du puits ; cette affirmation reste néanmoins à étayer par des résultats de mesure (voir plus bas).

### 3.4 Contexte géomécanique des fractures observées

La figure 8 illustre de manière stylisée les phénomènes observés au niveau du site de stockage de déchets, *Bloc 21*. Il s'agit de fractures dues à des contraintes de cisaillement, de traction, voire de ruptures de fragilité au niveau du toit, de déformations des piliers dans le sens transversal, de gonflements et de remontées du mur (sol) ; certains de ces phénomènes sont favorisés par la stratification des couches géologiques rencontrées :



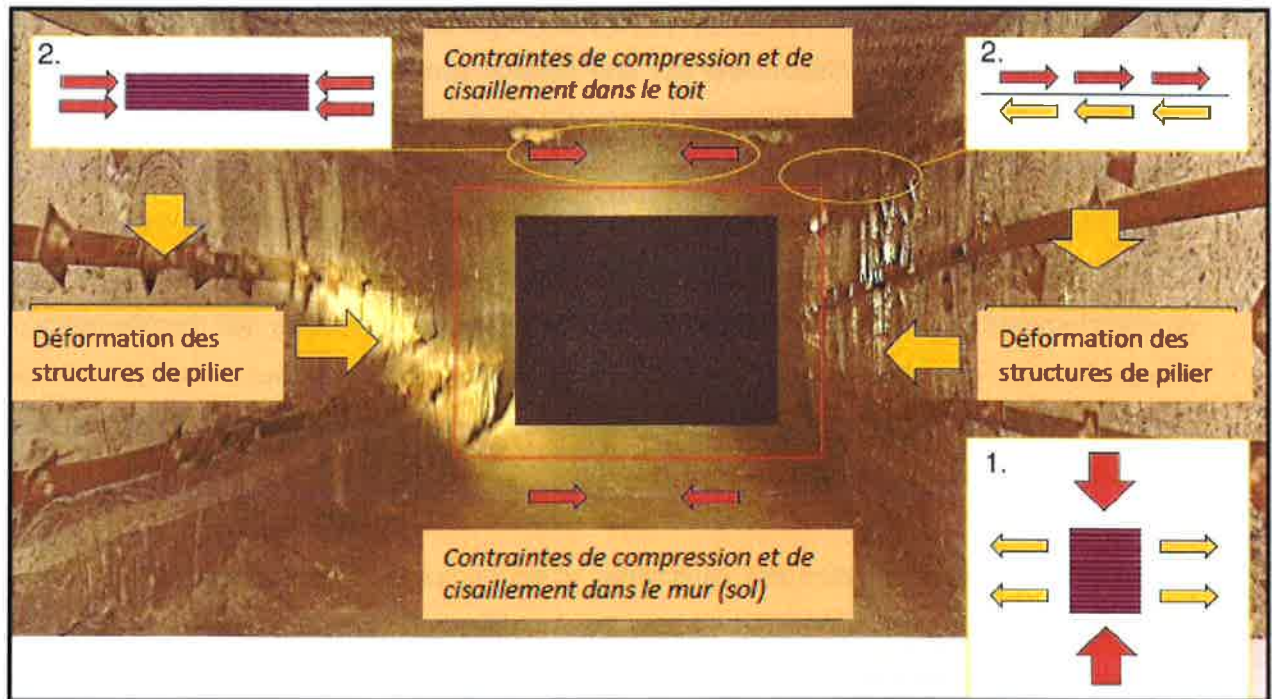


Figure 8 Distribution des contraintes dans l'exploitation par chambres et piliers dans le site de stockage de déchets souterrain

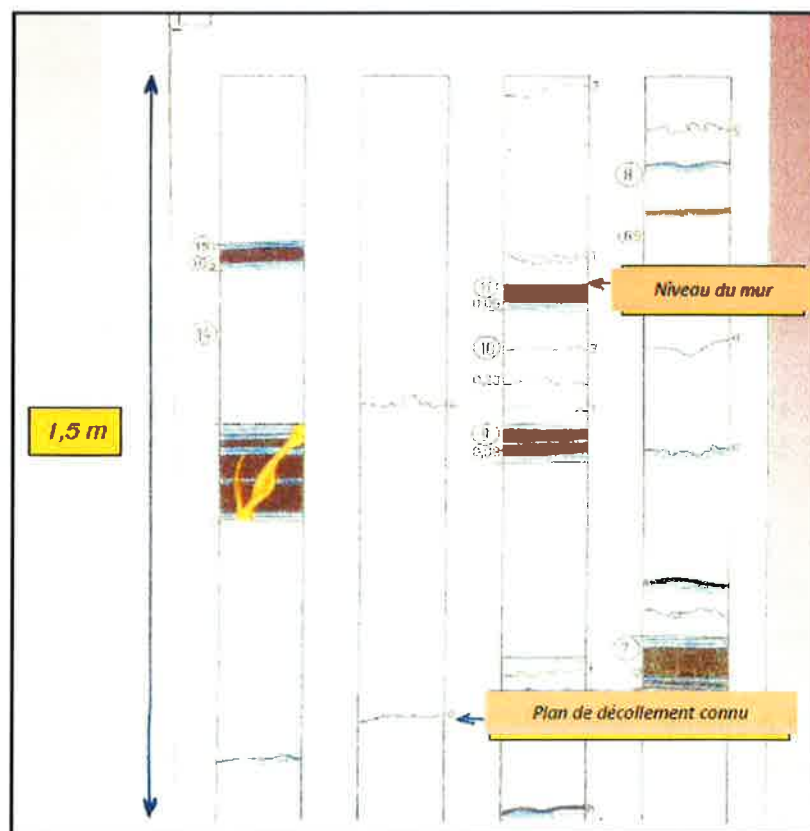


Figure 9 Facteur aggravant : Stratification horizontale de la couche de sel gemme située au mur et constituée de fines couches, séparées par de nombreux plans de décollement latents

Un problème latent consiste dans la stratification horizontale du sel gemme au mur, constitué de fines couches, qui n'a été découverte sur une surface conséquente que lors du creusement des galeries du site de stockage souterrain. La couche située au mur des veines de potasse est formé d'env. "30 à 40 m de sel gemme avec des inclusions de marnes dolomitiques finement litées"<sup>10)</sup>, susceptibles de fonctionner comme des plans de décollement potentiels (figure 9).

C'est ce que démontrent les résultats des contrôles endoscopiques, réalisés à la canne détectrice de décollements de 3 m de long au niveau du *bloc 21*, où l'on rencontre des décollements du toit à une profondeur comprise entre 20 cm et 100 cm maximum du contour, voire des décollements multiples, dont certains présentant des amplitudes comprises entre 1 et 5 cm (p. ex. photo n°3/2015 de l'Annexe 2, page 3).

La figure 10 illustre la situation des contraintes et les fractures observées ou relevées au cours de contrôles endoscopiques au niveau du *bloc 21*. A ce titre, on connaît la pente des couches de sel gemme en direction ouest-nord-ouest.

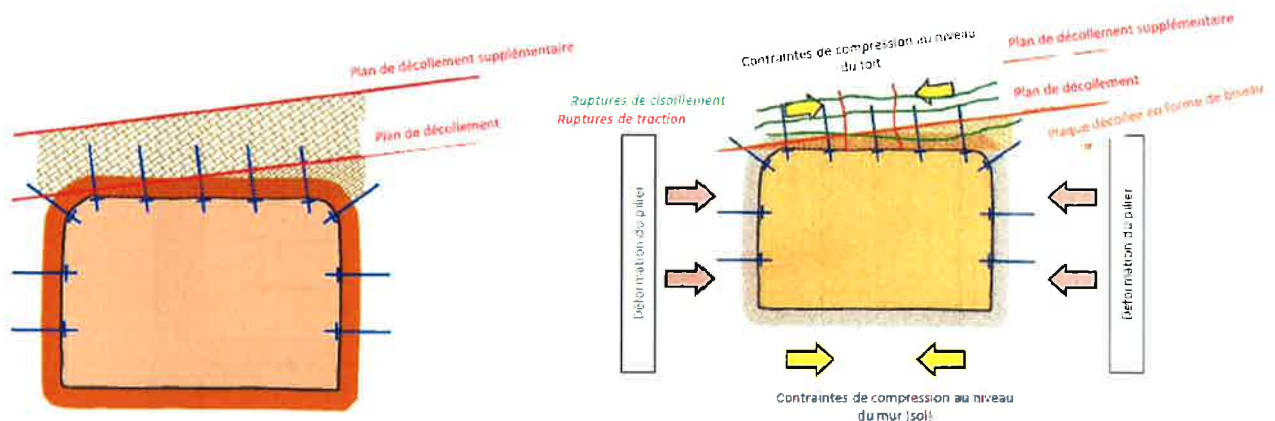


Figure 10      Décollements en forme de biseau et situation actuelle des contraintes au niveau du *bloc 21* (*cette illustration schématique n'est pas à l'échelle*)

Cela dénote probablement d'une efficacité limitée du boulonnage en place ; par ailleurs, des fissures verticales peuvent apparaître entre les boulons.

On est amené à postuler une certaine fragilisation, probablement due aux interactions évoquées dans les sections 3.1 jusqu'à 3.3 ci-dessus avec la situation d'exploitation des vieux travaux situés dans les veines de potasse sus-jacentes, au niveau de la zone sud-ouest du bloc 21 (figure 11 illustrant la portion de gisement abandonnée et les vieux travaux, exploités en longues tailles fou-

<sup>10)</sup> GIMM, W. et al. : Kali- und Steinsalzbergbau [L'extraction minière de la potasse et du sel]. Aufschluß und Abbau von Kali- und Steinsalzlagerstätten [Préparation et exploitation de gisements de potasse et de sel gemme]. Tome 1 : - Leipzig : Editions :Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1968

droyées, dans les veines de potasse). Cela est indirectement démontré par la compression des big-bags ou fûts entre le toit et le mur, par les déformations prononcées et les décollements/chutes de toit marqués sur les colis de déchets stockés (cf. photos n° 7-10/2015 de l'Annexe 2, pages 5 et suivantes).



Figure 11 Zone sud-ouest du *bloc 21*, située dans le périmètre de la portion de gisement abandonnée, et situation d'exploitation des veines de potasse sus-jacentes.

La situation du toit dans les blocs avoisinants, n° 12, 22 et 23, se présente majoritairement de façon plus favorable, avec, le plus souvent, un jeu de 10 à 40 cm entre les colis de déchets et le toit. D'après ce qu'on pouvait voir au niveau des entrées de chambre depuis l'*Allée centrale*, les déchets ne sont pas encore, ou seulement en partie, comprimés par la convergence (voir photos n° 15-17/2015 du 17 juin 2015 dans la documentation photographique présentée en Annexe 2, pages 9 et suivantes).

Au bloc 11, il convient donc de s'attendre également à des problèmes d'ordre géomécanique.

Les explications ci-dessus seront à confirmer dans un avenir proche par des mesures de contrainte systématiques à l'aide du procédé de *fracturation hydraulique* dans différentes situations d'exploitation (voir section 5.4).

De plus, l'exposé ci-dessus indique la possibilité d'accéder aux zones de déstockage prévues en creusant des galeries d'accès depuis des zones "*sûres*", ou "*peu affectées par des déformations*", à savoir : depuis des zones faiblement affectées par les effets de pilier ou de bordure des vieux travaux de la mine de potasse. D'ailleurs la trame carrée du site de stockage de déchets permettra



plusieurs tentatives, depuis des directions différentes. Ainsi, on pourrait par exemple creuser un nouvel accès à la zone nord-est du *bloc 21* depuis les blocs avoisinants, à savoir le *bloc 22*, voire le *bloc 23* (voir plus loin).

## 4 Evaluation géomécanique

### 4.1 Exposé - généralités

La situation rencontrée au niveau du *bloc 21* appelle tout d'abord quelques remarques fondamentales :

- La situation rencontrée au *bloc 21* est extrêmement complexe du point de vue géomécanique et de la sécurité minière et pose de réels défis en termes de sécurité des travailleurs.
- Jusqu'ici, aucun chantier de déstockage de déchets mené en Allemagne ne présentait de tels défis.
- Par principe, la démarche à suivre pour le déblaiement et le déstockage devra être définie par une équipe de décideurs, constituée par des spécialistes sur place ; cette équipe devra décider au cas par cas et documenter le processus de prise de décision d'un arrêt des travaux, par exemple lorsque les risques de l'opération de déstockage sont manifestement trop élevés ou alors insuffisamment prévisibles (voir section 4.1).
- Pour ce faire, des visites de la zone à déblayer sont nécessaires, ainsi qu'un relevé des informations disponibles (forages d'endoscopie, fissurations, aspect macroscopique, témoignages de l'équipe d'exploitation au fond), afin de définir conjointement la suite des travaux à effectuer, ainsi que les protocoles d'exécution de ces travaux. Dans certains cas particuliers, il pourra être fait appel à un expert externe.
- D'après notre expérience, force est de constater que dans des cas où de grandes plaques décollées du toit reposent déjà sur des colis de déchets, mais aussi lorsque les colis sont comprimés et déformés par le toit suite aux phénomènes de convergence, un tel déstockage pourrait bien être compromis (voir plus bas). Dans ce cas, les travaux devront cesser dans la zone en question, et il faudra envisager de tenter la récupération des colis par un secteur d'exploitation avoisinant.
- En présence de risques trop élevés, il faudra éventuellement surseoir à la récupération de colis de déchets stockés dans certaines chambres ou zones de chambres, si le collectif des spécialistes aboutit à cette décision.
- Pour obtenir plus de sécurité et d'aide à la décision concernant le *bloc 21* ou d'autres zones du site de stockage, on peut envisager les mesures ci-après :

- mise en place d'un système de surveillance sismique in situ, dans chacune des zones à déblayer (voir section 5.3),
  - réalisation de mesures de contrainte selon le procédé de la *fracturation hydraulique* (voir section 5.5) et
  - le cas échéant, une surveillance radar au niveau du toit dans les galeries d'infrastructure plus durables
- 
- Par ailleurs, il conviendrait de procéder à un déstockage rapide des déchets dans les zones où l'accès est toujours facile pour le moment, car à mesure que la convergence progresse, les déchets stockés dans ces chambres finiront également par être comprimés à brève échéance.
  - De plus, et toujours en mettant à profit la trame carrée de piliers et de chambres, un déstockage planifié de certains déchets pourra s'effectuer depuis des galeries ou voies d'exploitation adjacentes.

#### **4.2 Recommandations quant à la marche à suivre pour le déstockage au niveau du bloc 21**

Sur la base de la situation macroscopique rencontrée, notre avis quant à la tenue des toits et des parements et quant à la sécurité des travailleurs au regard des travaux de déstockage s'énonce comme suit.

Pour simplifier, on rencontre les situations de jeu entre les colis et les terrains ci-après lors du déstockage des colis de déchets :

- **Cas 1 : Toits visuellement intacts avec espace vide entre les colis de déchets et le toit ;**
- **Cas 2 : Espace vide entre les colis de déchets et le toit, mais avec des plaques détachées ou décollées mais encore attachées au toit ;**
- **Cas 3 : Le toit repose, en tout ou en partie sur les déchets, avec ou sans formation d'épaulements ;**
- **Cas 4 : Compression manifeste des déchets stockés du fait de la convergence du toit et de la réduction des vides.**

Cette énumération appelle les commentaires ci-après :

##### **Cas 1 - Toits visuellement intacts avec du jeu entre les colis de déchets et le toit ;**

- Selon la configuration rencontrée, le comportement du toit peut varier sensiblement. Aussi, la situation rencontrée devra faire l'objet d'une évaluation par des spécialistes des mines, le cas



échéant en faisant appel à un géologue. Des forages verticaux dans le toit permettront de détecter des phénomènes de décollement (*contrôles endoscopiques*).

- De plus, il convient de tenir compte de la durée d'utilisation prévue des galeries ou des chambres ; à ce titre, un boulonnage systématique serait malgré tout à recommander. Dans le sel gemme non stratifié ou grossier, il convient de prévoir un boulonnage selon les besoins ; dans le sel gemme stratifié et/ou sollicité par des phénomènes tectoniques, un boulonnage systématique est à prévoir.
- Dans ces cas de figure, le déstockage des colis de déchets est défendable du point de vue de la sécurité minière.

**Cas 2 - Jeu entre les colis de déchets et le toit, avec des plaques détachées ou décollées mais encore attachées au toit ;**

- Tout d'abord, les prémisses établies pour le cas 1 s'appliquent. La démarche à suivre pour le déblayage et la récupération des déchets est définie sur place, par une équipe de décideurs composée de spécialistes.
- En raison de la pente du gisement, la toiture se détache sous forme de blocs en biseau dans les galeries orientées sud-ouest/nord-est ; à titre d'exemple, on citera les allées 21/1 et 21/2.
- Pour garantir la tenue des toits et des parements, un boulonnage en biais, à savoir : vertical par rapport à la pente, devra être prévu après les travaux d'excavation/de surexcavation du contour (cf. figures 10 et 12). Pour cela, il est indispensable que les décollements décelés par voie de contrôle endoscopique n'excèdent pas une profondeur de 1,0 m pour des boulons d'une longueur de 2 m, et que les boulons soient posés selon un maillage suffisamment dense (voir section 4.3 concernant le dimensionnement des boulons).

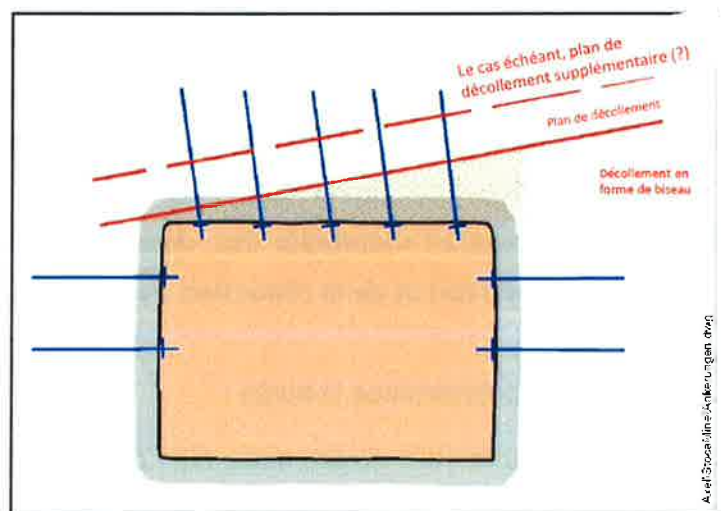


Figure 12 Situation schématique de la stratification et des toits au niveau du *bloc 21*

- Des boulons de longueur suffisante au niveau du toit et des épaulements ou zones de décolage et une densité suffisante des boulons permettront d'assurer un boulonnage sûr des toits ; le cas échéant, les boulons MINOVA peuvent être allongés d'un mètre à l'aide de manchons<sup>11)</sup>.
- Dans les configurations de toit "compactes", on peut généralement se contenter de boulons "normaux", d'une longueur de 1,8 m ou 2 m ; en cas de détection de fissures multiples ou de fissures se propageant à plus d'un mètre de profondeur depuis le contour du toit, il faut néanmoins opter pour des boulons de 3 m (p. ex. boulon de 2 m / manchon + rallonge de boulon de 1 m).

**Cas 3 - Le toit repose, en tout ou en partie sur les déchets, avec ou sans formation d'épaulements /**

**Cas 4 - Compression manifeste des déchets stockés du fait de la convergence du toit et de la réduction des vides :**

- Les cas 3 et 4 constituent le *Worst Case* pour le déstockage de déchets (risques miniers accrus : voir section 2, page 6).
- On rencontre des colis comprimés et visiblement déformés notamment dans les zones tributaires d'effets de bordure des vieux travaux de la mine de potasse sus-jacente au site de stockage.
- Tout d'abord, les prémisses établies pour les cas 1 et 2 s'appliquent.
- La démarche à suivre pour le déblaiement et le déstockage devra être définie par une équipe de décideurs, constituée par des spécialistes sur place ; cette équipe devra décider au cas par cas et documenter le processus de prise de décision d'un arrêt des travaux, par exemple lorsque les risques de l'opération de déstockage sont manifestement trop élevés ou alors insuffisamment prévisibles. Les travaux à ces emplacements sont à ajourner, voire à cesser en totalité.
- De plus, en mettant à profit la trame carrée de piliers et de chambres, un déstockage planifié de certains déchets pourra s'effectuer depuis des galeries ou voies d'exploitation adjacentes (p. ex. dans le *bloc 21*, depuis les blocs adjacents 22 voire 23, notamment dans la zone nord du site de stockage).

#### **4.3 Le boulonnage : un instrument de sécurisation**

Les plaques décollées, épaulements et parties de toit qui ne sont pas "comprimées" et qui doivent être conservées (p. ex. dans les allées d'infrastructure plus durables entre les blocs), sont à sécu-

<sup>11)</sup> En Allemagne, cette pratique est courante pour la sécurisation du toit dans les grottes ouvertes au public, dans le gypse/anhydrite, si la hauteur libre ne permet pas l'utilisation des boulons habituels de 3 m de longueur.

riser à l'aide de boulons spéciaux. En périphérie du parement, on peut également placer des étançons solitaires, si cela permet de conserver la largeur de circulation requise de la galerie.

Actuellement, on utilise les boulons du fabricant MINOVA (groupe ORICA), de type boulons expansifs à douille ou de type boulons d'acier collés à l'aide d'une résine synthétique, de différentes longueurs, dans les sites de stockage de déchets en cours de déstockage. Les deux types de boulons présentent un diamètre extérieur de 20 mm, et une charge à la rupture maximale respective de 220 et 173 kN par boulon isolé. De plus, on utilise des boulons en fibre de verre à titre de boulons temporaires, que l'on "rase" ensuite lors de la sur-excavation du toit à la machine de taille à attaque ponctuelle (TSM).

La particularité de ce travail de déblayage, consistant à ne sur-excaver/boulonner les galeries existantes que jusqu'aux colis de déchets stockés, sans pouvoir accéder aux zones situées au-dessus de ces derniers, ne permet qu'une sécurisation très réduite des parties de toit massives. Cette démarche ne permet pas non plus la mise en œuvre d'un schéma de boulonnage typique d'une activité d'exploitation du sel, ou préconisé par le "Comité d'évaluation des boulons destinés à l'utilisation systématique dans les mines de potasse" de la Fédération allemande des industries de la potasse et du sel, VKS<sup>12)</sup>. Le schéma de boulonnage (densité de pose des boulons) est fonction de l'épaisseur attendue des plaques décollées du toit ; plus ces plaques sont épaisses, plus il faut utiliser de boulons, régulièrement répartis sur la surface, afin de reprendre les charges.

Une mise sous tension unilatérale ne permet pas de sécuriser efficacement le toit, car la surcharge entraîne des efforts de cisaillement inadmissibles, susceptibles soit de cisailer la tige filetée, soit de fracturer la partie située autour des trous d'ancrage des boulons. L'effet qu'il convient de viser en tout premier lieu est l'*effet de voûte* généré par un boulonnage systématique.

Autre facteur aggravant : la configuration en biseau des plaques décollées du toit, illustrées par les figures 10 et 12. L'adaptation du toit, avec surexcavation et boulonnage, à la situation actuelle de stockage et de pente des couches, comme on la pratique couramment dans les mines de potasse et de sel en Allemagne de l'Est depuis les années 1960, serait bien plus simple (cf. Annexe 3)<sup>11)</sup>.

Des fissures et des fractures, notamment dans le sens transversal mais également dans l'axe des galeries, peuvent, en conjonction avec les plans de décollement avérés à proximité du contour (profondeur comprise entre 30 et 100 cm au-dessus du contour du toit), entraîner le décollement de plaques importantes, que l'on ne saurait sécuriser qu'en bordure, ce qui constitue une mesure insuffisante ; dans ce genre de configuration, la mise en œuvre d'un grillage métallique pour stabiliser le toit peut être utile.

A mesure que les travaux de déstockage progressent, les travaux devront alors temporairement se dérouler dans des zones non sécurisées. En même temps, il peut arriver dans le périmètre des

<sup>12)</sup> Principes d'évaluation et d'utilisation du boulonnage pour la sécurisation systématique des toits dans les mines d'extraction de potasse et de sel (directive "boulons"). - Association (allemande) des industries la potasse "Kaliverien e. V., Kassel, Novembre 1999. 30 p.

parements ouest (gauches) des galeries entre les blocs que le toit soit déjà totalement effrité, et que des chutes de blocs se produisent entre les boulons (cf. photos 11-13/2015 de la documentation photographique, Annexe 2, p. 7 et suivante) ; ces blocs seraient de moindre épaisseur qu'au niveau des parements est (droits) des allées, mais leur potentiel de danger reste néanmoins élevé. Par principe, on peut également allonger les boulons MINOVA à l'aide de manchons et de rallonges de 1 m, afin d'atteindre des couches de toit solides pour un boulonnage sûr (voir ci-dessus).

## **5 Recommandations relatives à des mesures et des investigations supplémentaires**

Tout d'abord, il convient de noter que les mesures visées ici se rapportent exclusivement aux aspects minier et géomécanique, et non à des opérations supplémentaires relatives à la manipulation des colis de déchets.

***Mesures supplémentaires recommandées en dehors des mesures techniques et organisationnelles visées à la section 4.1 :***

### **5.1 Possibilités supplémentaires de sécurisation du toit**

- Boulonnage optimisé, p. ex. à l'aide de câbles (dans la mesure des possibilités techniques) et utilisation de boulons plus longs, réalisés à l'aide de manchons et de rallonges ;
- Réalisation de forages endoscopiques, et suivi régulier des zones situées à distance du contour ;
- Utilisation de grillages métalliques supplémentaires pour sécuriser le contour du toit boulonné ;
- Étançons hydrauliques, tels qu'utilisés à l'essai actuellement, éventuellement dans une configuration d'éтанçons hydrauliques doubles, surmontés de chapeaux (poutre en acier horizontale reposant sur deux éтанçons, partout où l'insertion de la poutre est possible).

### **5.2 Mesures de surveillance pour une détection anticipée de situations dangereuses permettant d'accroître la sécurité des travailleurs**

- Visites de contrôle, avec établissement de procès-verbaux et de documentations photographiques (constat d'experts), par l'équipe de décideurs sur place, constituée de spécialistes ;
- Mise en place d'un système de surveillance sismique in situ, pour la surveillance et la localisation de micro-fracturations dans le périmètre des zones en cours de déstockage (voir section 5.3) ;
- Des informations actuelles permettant de clarifier la situation géomécanique dans le *bloc 21* et les zones de déstockage avoisinantes peuvent être obtenues par des mesures de

fracturation hydraulique ; celles-ci permettent de vérifier les contraintes et la perte de cohésion du terrain en fonction de la situation d'exploitation des veines sus-jacentes. Cela vaut notamment pour l'incidence supposée des piliers résiduels ou de portions de gisement abandonnées dans les vieux travaux (longues tailles foudroyées) dans les deux veines de potasse situées au-dessus du site de stockage (cf. figure 2, page 11), par analogie aux mesures de fracturation hydraulique menées par *IfG GmbH Leipzig* sur un site d'implantation de barrage pilote (*Pilot Dam Location*) (2014)<sup>9</sup> (voir sections 3.3 et 5.4) ;

- Vérification à l'aide de mesures radar sur les plafonds pour détecter des failles à proximité du contour. Ces mesures radar montrent une image très exacte sur une distance rapprochée (> 2-5 m) et conviennent également très pour des tronçons plus longs où une surveillance à l'aide de cannes détectrices de décollements ou une surveillance endoscopique ne serait pas tout à fait fiable ; en revanche, elles ne sauraient servir pour établir des prévisions.
- Le cas échéant, mise en place de points de mesure de convergence ou de dilatation transversale sur les piliers dans les galeries d'infrastructure plus durables.

En présence de risques voire de dangers trop importants pour l'équipe de mineurs, il convient de renoncer au déstockage des colis dans certaines zones de stockage.

### **5.3 Mise en place d'un système de surveillance sismique in situ, pour la surveillance et la localisation de micro-fracturations dans le périmètre des zones en cours de déstockage**

Un système de surveillance sismique se compose de plusieurs stations sismiques réparties dans la zone à surveiller et d'une station d'enregistrement et d'évaluation centralisée. Ces systèmes servent à la surveillance mobile ou permanente et à l'évaluation de secousses dans la mine, et à la détection de processus de micro-fracturation dans la zone proche du contour d'un secteur d'exploitation précis.

Les systèmes mis au point par *K-UTEC AG* permettent la détection à un stade précoce de processus de fracturation nuisibles, et la mise en place de mesures ciblées en temps utile, afin de prévenir ou de limiter les dégâts.

La disposition des capteurs sismiques est alors essentiellement fonction des exigences de la mission de surveillance, de la situation géologique, de l'accessibilité et des possibilités de transmission du signal. Pour localiser avec certitude la source d'un événement sismique, la zone à surveiller par les capteurs sismiques devra être si possible entièrement englobée dans le réseau de capteurs. Pour localiser l'événement, il faut néanmoins qu'il soit enregistré par au moins quatre capteurs sismiques à la fois. L'emplacement typique d'un capteur sismique sera choisi dans une galerie ou un forage dans la mine. Pour la localisation du foyer d'activité, on utilise en général des cap-



teurs sismiques à un seul élément, orientés dans le sens vertical. Ces capteurs devront posséder une forte sensibilité, et être très bien solidarisés au terrain.

On peut également compléter le dispositif par adjonction d'un capteur d'accélération HF, capable de détecter des signaux acoustiques. Pour déterminer en plus la magnitude et les paramètres relatifs au foyer d'activité, il convient de prévoir l'installation d'au moins un géophone 3D dans la zone à surveiller.

Ces installations pourront servir à transmettre automatiquement des messages d'alarme en cas de dépassement de seuils préalablement définis (intensité ou puissance des processus de micro-fracturation), à allumer des lumières d'alarme et à réaliser des coupures de courant, ce qui interrompt les travaux miniers dans la zone de danger latente (zone rouge).

Les installations de surveillance en question pourraient être installées à titre temporaire ou permanent. De plus, on peut intégrer des capteurs supplémentaires dans les systèmes de surveillance de K-UTEC (capteurs de pression, de température, de concentration de gaz, de mesure du niveau d'eau (capteurs piézométriques), etc.).

Une configuration envisageable serait un dispositif composé de 3 points de mesure répartis autour du *bloc 21*. L'utilisation de capteurs sismiques à trois composants serait idéale. Il est recommandé d'équiper l'un des points de mesure d'un capteur d'accélération HF, capable de détecter des signaux acoustiques. Un enregistreur de données peut ensuite transférer les données fournies par les trois stations du site souterrain à un PC situé au jour. Ce système permettra ainsi une surveillance de longue durée (constat d'experts, détection d'états/de situations critiques) et l'envoi automatique d'alertes en cas de dépassement d'un seuil (de magnitude) par un événement sismique.

#### 5.4 Mesure des contraintes selon le procédé de la *fracturation hydraulique*

Depuis les années 1986/87, la mesure de contraintes par sondage dans des forages, au moyen de la *fracturation hydraulique*, s'est imposée comme un outil fiable et indispensable dans l'évaluation géotechnique des contraintes in situ pour l'industrie d'extraction du sel en Allemagne centrale<sup>13)</sup>. Cette méthode de mesure permet de déterminer efficacement la contribution du plus petit tenseur de

<sup>13)</sup> STÄUBERT, A.: Spannungssondierungen mittels Hydraulic Fracturing zur geomechanischen Überwachung des Kalibergbaus im Südharz-Kaligebiet der DDR [Sondage des contraintes à l'aide de la fracturation hydraulique pour la surveillance géomécanique des mines de potasse dans le bassin potassique du Harz du Sud en RDA]. - Périodique "Neue Bergbautechnik" (nouvelles techniques minières), Leipzig 20 (1990) 9, p. 335 - 339

STÄUBERT, A. & W. LEHMANN: Markscheiderische und gebirgsmechanische Überwachung von Verhauarbeiten in stillgelegten Südharz-Kaliwerken (Surveillance par arpentage/géomécanique de travaux de fermeture de mines de potasse désaffectées dans le Harz du sud). - Geoforschung, Geotechnik und Geoinformatik aus markscheiderisch-geodätischer Sicht; Vorträge zum 49. Berg- und Hüttenmännischen Tag 1998 in Freiberg (- La recherche géologique, géotechnique et géoinformatique, du point de vue de l'arpentage minier/géodésique, interventions dans le cadre de la 49<sup>e</sup> Journée des Mineurs 1998 à Freiberg). - Freiberg : Université technique et minière "TU Bergakademie", 1998 ; Périodique "Freiberger Forschungshefte", A 847, p. 100 à 124

STÄUBERT, A.: Spannungsmessungen mittels Hydraulic Fracturing zum Nachweis zeitabhängiger Entfestigungsprozesse im Salzbergbau (Mesures de contrainte au moyen de la fracturation hydraulique permettant de démontrer les processus de perte de cohésion du terrain en fonction du temps) - Périodique "Glückauf-Forschungshefte", Essen 59 (1998) cahier n° 4, p. 116 à 122

contrainte d'un secteur donné. Dans le cadre d'une surveillance métrologique complexe, les mesures de contrainte réalisées au moyen de la *fracturation hydraulique* fournissent des paramètres très précis pour chaque emplacement de mesure en termes :

- de constat d'experts et de surveillance pendant la phase d'exploitation,
- de dimensionnement, de configuration et d'optimisation de l'exploitation, de dimensionnement des ouvrages de cuvelage,
- de concepts de désaffectation et d'étude d'ouvrages de fermeture ou d'obturation,
- d'analyses de sécurité pour la période de l'après-mine,
- de dérivation de critères d'évaluation scientifiquement fondés pour l'exploitation, la réhabilitation, la fermeture et la valorisation des vides miniers dans les mines de sel, et pour tous types de problématiques ayant trait à la sécurité minière,
- de démonstration de l'exploitation sûre, ou de la continuation sûre de l'exploitation de sites de stockage souterrains de déchets ultimes, y compris du remblaiement de mines à l'aide de déchets autres que miniers, et
- de validation de modèles et de calculs de modélisation géomécaniques.

Les travaux de recherche et de développement entrepris à ce titre par la société *K-UTEC AG* en matière d'instrumentation et d'interprétation des mesures conduites par fracturation hydraulique depuis le milieu des années 1980<sup>14)</sup> formeront la base de la réalisation d'un programme de mesures sur le site minier de la société *MDPA de Wittelsheim*.

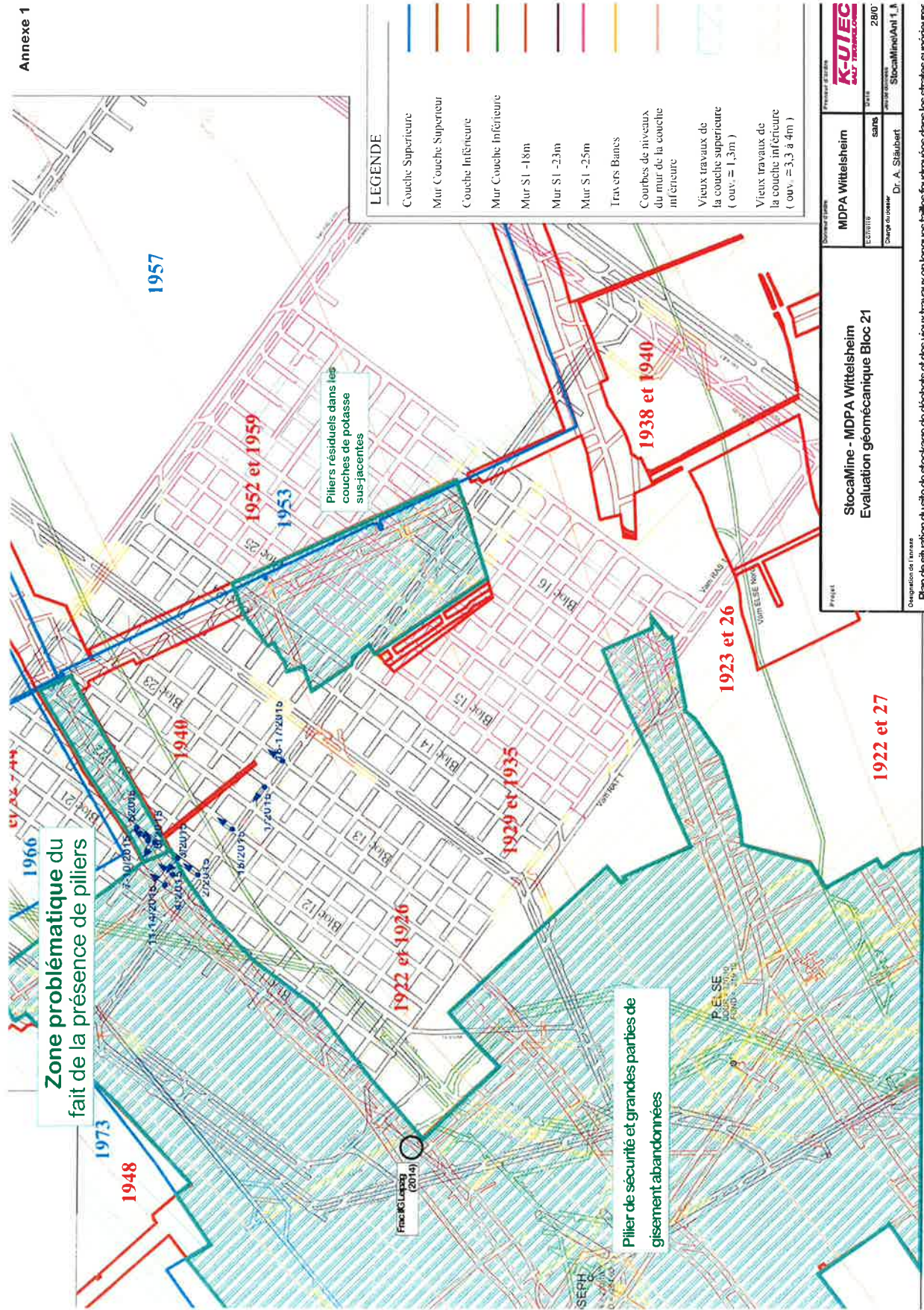
La société *K-UTEC AG Salt Technologies de Sondershausen*, anciennement : *Institut de recherche sur la potasse (Kaliforschungsinstitut)* a conduit, entre 1979 et fin juillet 2015 un total de 27 300 mesures au moyen du procédé de fracturation hydraulique, sur un total de 1 630 forages dans des sites miniers. Quelques exemples de ces travaux ont été fournis à la section 3.2.

Le procédé de fracturation hydraulique est une méthode mondialement reconnue et éprouvée de mesure des contraintes inhérentes aux terrains salifères.

Pour plus d'informations quant aux bases de cette technologie, veuillez-vous reporter aux références bibliographiques visées à la note de bas de page n° 13).

<sup>14)</sup> Projet de R&D "Mise au point d'un système de mesure assisté par ordinateur pour la mesure de contraintes in situ à l'aide du procédé de fracturation hydraulique dans des terrains salifères et rocheux". - Projet subventionné par une aide à l'innovation par le Ministère de l'économie allemand (BMWi), référence : IFP-1686, référence du dossier de subvention : ZI0314 ; durée : du 01/10/1993 jusqu'au 31/10/1995.









**Annexe 2**  
**Documentation photographique StocaMine - Mines de Potasse d' Alsace**  
**(Visite du 17 juin 2015)**



Illustration  
1/2015

Photo  
17.06.2015

Négatif  
DSCN3632

© Dr. A. Stäubert

**StocaMine / Allée centrale - Bloc 23.** Vue de l'Allée centrale, niveau 23/2, dans le sens nord-ouest, sur l'allée d'infrastructure réhabilitée et sécurisée.  
Photo du 17 juin 2015.



Illustration  
2/2015

Photo  
17.06.2015

Négatif  
DSCN3634

© Dr. A. Stäubert

**StocaMine / Bloc 21.** Vue depuis l'Allée centrale nord, dans la galerie 21/1 dans le sens nord-est, sur l'allée d'infrastructure réhabilitée et sécurisée, utilisée pour le déstockage.  
Photo du 17 juin 2015.





**Illustration  
3/2015**

Photo  
17.06.2015

Négatif  
DSCN3638

© Dr. A. Stäubert

**StocaMine / Bloc 21.** Vue depuis la galerie 21/1 dans la chambre A1R8 dans le sens nord-ouest, ici : Forage de contrôle pratiqué dans le toit, environ au milieu du pilier, avec un décollement d'une amplitude d'env. 2 cm, situé à env. 30 cm de profondeur au-dessus du contour du toit. Photo du 17 juin 2015.



**StocaMine / Bloc 21.**  
Chambre A1R8 dans le sens nord-ouest depuis la galerie 21/1; vue sur un parement situé au nord-est avec toit recoupé et boulonné, présentant une fracture décalée d'env. 5 cm, apparue ultérieurement, environ au milieu du pilier. Photo du 17 juin 2015.

**Illustration  
4/2015**

Photo :  
17/06/2015

Négatif  
DSCN3636

© Dr. A. Stäubert





**Illustration  
5/2015**

Photo  
17.06.2015

Négatif  
DSCN3639

© Dr. A. Stäubert

**StocaMine / Bloc 21.** Photo prise depuis la galerie 21/1 dans la chambre A1R7, dans le sens nord-ouest ;  
ici : Après le déstockage, remblayage de la chambre avec des big-bags remplis de Réfiom ; fissures transversales similaires, dans le sens nord-est/sud-ouest, décalage d'env. 4 cm comme dans la chambre A1R8, au milieu du pilier (cf. photo n°4/2015). Photo du 17 juin 2015.



**Illustration  
6/2015**

Photo  
17.06.2015

Négatif  
DSCN3641

© Dr. A. Stäubert

**StocaMine / Bloc 21.** Vue depuis la chambre A1R7 dans la galerie 21/1, dans le sens sud-ouest, sur une zone où une tentative de réhabilitation peu prometteuse a été entreprise au niveau de l'allée d'infrastructure 21/1 prévue pour le déstockage ; ici aussi, on note des fissures au niveau du toit dans le sens nord-est/sud-ouest, environ au milieu de la galerie. Photo du 17 juin 2015.





**Illustration**  
**7/2015**

Photo  
17.06.2015

Négatif  
DSCN3647

© Dr. A. Stäubert

**StocaMine / Bloc 21.** Vue depuis la chambre A1R7 sur la galerie 21/1 dans le sens nord-est sur la fin des travaux de déblayage actuels dans la galerie d'infrastructure 21/1, prévue pour le déstockage ; ici : Décollements du toit au niveau du parement nord-ouest, plaques en forme de biseau et big-bags comprimés entre le toit et le mur (sol). Photo du 17 juin 2015 (voir photos n° 8-10/2015).



**Illustration**  
**8/2015**

Photo  
17.06.2015

Négatif  
DSCN3642

© Dr. A. Stäubert

**StocaMine / Bloc 21.** Vue depuis la chambre A1R6 sur la galerie 21/1 dans le sens nord-est, sur la fin des travaux de déblayage actuels dans la galerie d'infrastructure 21/1 ; ici : Calage de la plaque de toit décollée au niveau du parement nord-ouest, avec big-bag quasiment coincé. Détail de la photo n° 7/2015 du 17 juin 2015.





**Illustration  
9/2015**

Photo  
17.06.2015

Négatif  
DSCN3645

© Dr. A. Stäubert

**StocaMine / Bloc 21.** Vue depuis la chambre A1R7 sur la galerie 21/1 dans le sens nord-est, sur la fin des travaux de déblayage actuels dans la galerie d'infrastructure 21/1, prévue pour le déstockage ; ici : Bloc en forme de biseau décollé au niveau du parement nord-ouest et big-bags comprimés et déformés entre le toit et le mur (sol). Détail de la photo n° 7/2015 du 17 juin 2015.



**Illustration  
10/2015**

Photo  
17.06.2015

Négatif  
DSCN3646

© Dr. A. Stäubert

**StocaMine / Bloc 21.** Vue depuis la chambre A1R7 sur la galerie 21/1 dans le sens nord-est sur la fin des travaux de déblayage actuels dans la galerie d'infrastructure 21/1 ; ici : Palettes de bois écrasées entre les big-bags fortement comprimés entre le toit et le mur (sol) et fortement déformés. Détail de la photo n° 7/2015 du 17 juin 2015.





**Illustration  
11/2015**

Photo  
17.06.2015

Négatif  
DSCN3649

© Dr. A. Stäubert

**StocaMine / Bloc 21.** Vue depuis la chambre A2R8 sur la galerie 21/2 dans le sens nord-est sur la galerie d'infrastructure partiellement réhabilitée comportant des portions à sécuriser ; cette galerie est prévue pour le déstockage.

A gauche, au niveau du parement nord-ouest, une chute de toit "récente", malgré la sur-excavation et le boulonnage du toit ; décollement d'une épaisse plaque en biseau du toit, depuis le centre de la galerie jusqu'au parement sud-est. Photo du 17 juin 2015.



**Illustration  
12/2015**

Photo  
17.06.2015

Négatif  
DSCN3653

© Dr. A. Stäubert

**StocaMine / Bloc 21.** Vue depuis la chambre A2R8 sur la galerie 21/2 dans le sens nord-est : boulonnage inefficace, après une chute de toit "récente" dans le tiers nord-ouest de la galerie, avec une plaque en forme de biseau reposant sur les fûts restants. Détail de la photo n° 11/2015 du 17 juin 2015.





**Illustration  
12a/2015**

Photo  
17.06.2015

Négatif  
DSCN3652

© Dr. A. Stäubert

**StocaMine / Bloc 21.** Vue depuis la chambre A2R8 sur la galerie 21/2 dans le sens nord-est : boulonnage inefficace, après une chute de toit "*récente*" dans le tiers nord-ouest de la galerie, avec une plaque en forme de biseau reposant sur les fûts restants.  
Détail de la photo n° 12/2015 du 17 juin 2015.



**Illustration  
13/2015**

Photo  
17.06.2015

Négatif  
DSCN3656

© Dr. A. Stäubert

**StocaMine / Bloc 21.** Vue depuis la chambre A2R8 sur la galerie 21/2 dans le sens nord-est, avec une plaque en forme de biseau reposant sur les fûts restants.  
Détail de la photo n° 12/2015 du 17 juin 2015.





**Illustration  
14/2015**

Photo  
17.06.2015

Négatif  
DSCN3655

© Dr. A. Stäubert

**StocaMine / Bloc 21.** Vue depuis la chambre A2R8 sur la galerie 21/2 dans le sens nord-est sur les fûts restants, qui ne sont mobiles qu'au niveau du parement sud ; ici, les fûts reposent sous une plaque de toit décollée de > 50 cm d'épaisseur ; à partir du milieu de la galerie, le toit repose sur les fûts et les comprime.

Détail de la photo n° 11/2015 du 17 juin 2015.



**Illustration  
15/2015**

Photo  
17.06.2015

Négatif  
DSCN3658

© Dr. A. Stäubert

**A titre de comparaison : StocaMine / Bloc 22.** Vue depuis l'Allée centrale nord, dans la galerie 22/2 dans le sens nord-est, sur des big-bags stockés ; on note un jeu entre les colis et le toit de 10 à 40 cm. Photo du 17 juin 2015.



**Illustration  
16/2015**

Photo  
17.06.2015

Négatif  
DSCN3660

© Dr. A. Stäubert

**A titre de comparaison : StocaMine / Bloc 23.** Vue depuis l'*Allée centrale nord*, dans la galerie 23/1 dans le sens nord-est, sur des big-bags stockés ; on note un jeu entre les colis et le toit de 20 à 40 cm. Photo du 17 juin 2015.



**Illustration  
17/2015**

Photo  
17.06.2015

Négatif  
DSCN3662

© Dr. A. Stäubert

**A titre de comparaison : StocaMine / Bloc 23.** Vue depuis l'*Allée centrale nord* sur la galerie 23/1 dans le sens nord-est, sur la première rangée de big-bags, présentant un jeu entre le toit et les big-bags compris entre zéro (en arrière-plan) et 1,20 m. Photo du 17 juin 2015.

**Annexe 3**  
**Conseils pour garantir la tenue des toits et des parements  
par boulonnage**



### Conseils pour garantir la tenue des toits et des parements par boulonnage

Dès le milieu/la fin des années 1970, le *Groupe de travail "Tenue du toit et des parements"* du *Combinat de Potasse (Kombinat KALI)* de l'Ex-RDA avait établi les règles ci-après pour le boulonnage des toits dans les couches fines de sel dur<sup>1)</sup> ; ce groupe de travail, auquel participaient tous les ingénieurs affectés au contrôle des toits du Combinat de Potasse, fut maintenu jusqu'en 1990 ; dans la mine de remblayage de Teutschenthal, un tel groupe de travail existe encore de nos jours.

Jusque dans les années 1990, dans les veines de sel de faible épaisseur, on assurait la tenue des toits et des parements durant la phase d'exploitation en ménageant des "toits pentus" dans les règles de l'art, et en ancrant les épaulements (conservés) en biais ; voir à ce titre quelques variantes illustrées par la figure 1.

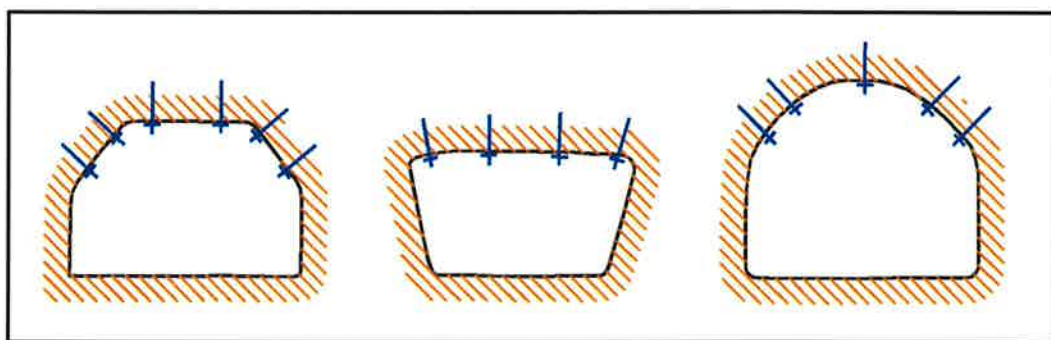


Figure 1 "Contours de galerie judicieusement choisis en fonction de la situation géologique et géomécanique :

- a) Voûte partielle dans le toit de sel dur, pour éviter une large portée du toit dans les configurations où le toit se compose de couches de faible épaisseur et tend à l'écaillage, avec boulonnage (à gauche),
- b) Excavation en biais des parements en cas de décollement au niveau du parement, sur le dernier tiers des piliers,
- c) Voûte complète ou partielle dans la Carnallite avec boulonnage des parties de toit proches du parement (voûte, dès le dernier tiers de la hauteur, à droite).“ {Hädicke et al.<sup>1)</sup>, p. 26 et suivantes.}

<sup>1)</sup> Beraubefibel [Abécédaire de la surexcavation]. Anleitung zum Erkennen und Beseitigen von Firstfallgefahren im Kali- und Steinsalzbergbau [Mode d'emploi pour la détection et l'élimination de risques de chute de toit dans l'extraction minière de la potasse et du sel gemme]. - Editions : VEB Kombinat Kali Sondershausen, 1966. 37 p.

Geologie-Fibel [Abécédaire de géologie]. Anleitung zum Erkennen geologischer Probleme im Hinblick auf die First- und Stoßsicherheit im Kali- und Steinsalzbergbau [Mode d'emploi pour la détection de problèmes géologiques susceptibles d'avoir un impact sur la tenue des toits et des parements dans l'extraction minière de la potasse et du sel gemme]. - Editions : VEB Kombinat Kali Sondershausen, 1969. 30 p.

HÄDICKE, Chr.; ABSCHINSKI, B. ; FRUTH, D. ; SCHWANDT, A. :  
Praktische Hinweise zur Gewährleistung der First- und Stoßsicherheit im Kali- und Steinsalzbergbau [Conseils pratiques pour garantir la tenue des toits et des parements dans l'extraction minière de la potasse et du sel gemme]. - Editions : Verlag Tribüne Berlin, 1979 (1ère édition)



L'étude expose par ailleurs ce qui suit :

"Dans certaines situations, il est important de poursuivre le boulonnage sur la zone de transition entre toit et parement, c'est-à-dire les coins supérieurs, voire sur le parement lui-même. A ces cas de boulonnage, les principes de boulonnage valables pour le toit sont également applicables.

Les épaulements non extraits sont à boulonner" (figure 2) :

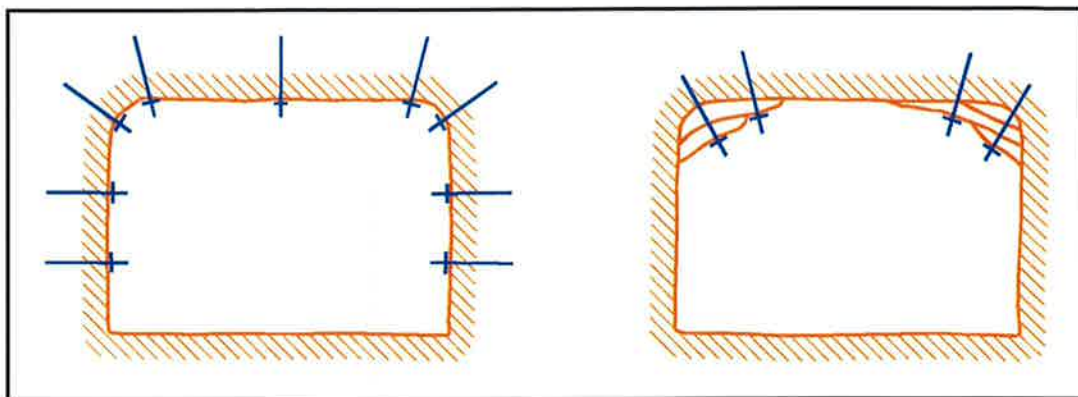


Figure 2 "Boulonnage des coins supérieurs et du parement (à gauche) / les épaulements sont impérativement à boulonner (à droite)". {Hädicke u. a.<sup>1)</sup>, S. 30f.}

D'autre part, il convient par principe d'adapter le contour du toit, avec surexcavation et boulonnage, à la situation actuelle du site de stockage et de pente des couches (figure 3), comme on la pratique couramment dans les mines de potasse et de sel en Allemagne de l'Est depuis les années 1960<sup>1)</sup> :

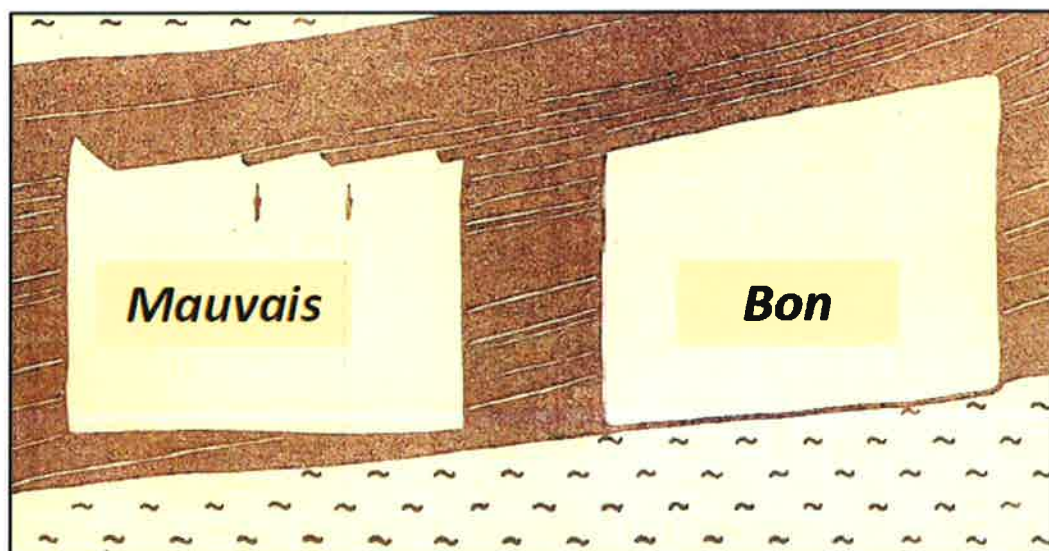


Figure 3 Création d'un nouveau contour du toit, adapté à la situation du site de stockage. {Source : Beraubefibel [Abécédaire de la surexcavation], 1966<sup>1)</sup>}

