



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

Document à accès immédiat

# Observations et avis sur les ouvrages de Stocamine suite à l'inspection du 10 février 2023

Final

**BRGM/RP-72520-FR**

Version 0 du 16 février 2023

Etude, prestation, expertise

**K. Ben Slimane, J.-D. Barnichon, J. Morel, I. Halfon**

## Vérificateur :

Nom : Behrooz Bazargan Sabet

Fonction : Expert sénior

Date : 17/02/2023

Signature :

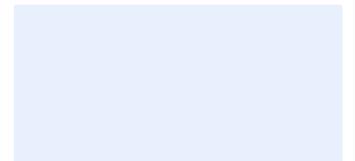
## Approbateur :

Nom : Michèle Rousseau

Fonction : Présidente-Directrice générale

Date : 17/02/2023

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM  
est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : [qualite@brgm.fr](mailto:qualite@brgm.fr)

## Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur et/ou les termes de la convention.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

## Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctg> ou par ce code :



### Mots clés :

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**K. Ben Slimane, J.-D. Barnichon, J. Morel, I. Halfon (2023)** – Observations et avis sur les ouvrages de Stocamine suite à l'inspection du 10 février 2023. Rapport Final V0. BRGM/RP-72520-FR, 8 p.

© BRGM, 2023, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.  
IM003-MT008-P2-22/09/2022

## Sommaire

1. Constat général .....	5
1.1. Rappel des conclusions de l'expertise 2018.....	5
1.2. Un contexte de stockage complexe, au comportement hétérogène et dépendant de nombreux paramètres.....	5
2. Observations in situ réalisées lors de l'inspection du 10 février 2023 .....	7
3. Réponses aux questions posées .....	9
4. Conclusions.....	11
5. Annexe.....	13

## Liste des illustrations

Illustration 1 : Schéma de principe du creusement des galeries dans les différents bancs de sel avec leurs intercalaires marneux et mécanismes de déformation et de ruptures autour des ouvrages (document ROVConsult du 18/11/2016) .....	13
Illustration 2 : Coupe géologique Est/Ouest, extrait du rapport de MICA Environnement de mars 2004 .....	14
Illustration 3 : Plan d'implantation du stockage par rapport aux vieux travaux de la mine de potasse (avec leur date d'exploitation, document MDPA).....	15
Illustration 4 : Soufflage du radier et colis au contact du toit au niveau du bloc B12 lors des opérations de déstockage en 2016 (photos MDPA).....	16
Illustration 5 : Soufflage du radier à proximité du bloc 16 (gauche) et en entrée de bloc 12 (droite) – inspection du 10 février 2023.....	16
Illustration 6 : Rupture de dalles au toit, bloc 16 – inspection du 10 février 2023 .....	16
Illustration 7 : Cintres coulissants dans la zone centrale du stockage – inspection du 10 février 2023 .....	17
Illustration 8 : Evolution du nombre de fractures et de leur ouverture dans les piliers de la voie centrale double AJ1, à partir des relevés endoscopiques effectués par les MDPA.....	17
Illustration 9 : Exemple de fracturation de pilier observée lors de la visite du 10 février 2023 ...	18



# 1. Constat général

## 1.1. RAPPEL DES CONCLUSIONS DE L'EXPERTISE 2018

Lors de son expertise de 2018, si le groupe d'experts internationaux coordonné par le BRGM avait admis que le déstockage restait possible, avec une durée des travaux d'environ 8 ans, ce qui revient à une durée totale d'au moins 10 ans en considérant les délais d'instruction administrative du dossier ainsi que ceux de consultation et de passation des marchés, il avait néanmoins conditionné cette possibilité au démarrage impératif des opérations au plus tard en 2022, compte tenu des vitesses moyennes de convergence des galeries dues au fluage du sel. Au-delà de cette date, la faisabilité technique du déstockage et la sécurité des opérations, notamment vis-à-vis des personnels, étaient compromises. De plus, la durée estimée des travaux était une fourchette optimiste, sans prise en compte d'incidents et avec des conditions géotechniques très contraintes pour assurer un minimum de sécurité minière au chantier.

## 1.2. UN CONTEXTE DE STOCKAGE COMPLEXE, AU COMPORTEMENT HETEROGENE ET DEPENDANT DE NOMBREUX PARAMETRES

Le contexte géologique, minier et géotechnique du stockage est complexe. La stabilité mécanique des ouvrages est liée :

- Au positionnement relatif de leur toit par rapport au niveau du mur de la couche inférieure de potasse (-23 m ou -25 m<sup>1</sup>). Le niveau à -23 m permet d'avoir au toit des ouvrages une dalle suffisamment épaisse favorisant une certaine stabilité (illustration 1 et 2) ;
- A leur localisation relative par rapport aux anciens travaux miniers sus-jacents (zones exploitées détendues, zones exploitées partiellement remblayées, zones foudroyées, zones de stot de protection) qui créent des conditions de contraintes mécaniques locales spécifiques et variables (illustration 3) ;
- Aux variations<sup>2</sup> altimétriques des repères géologiques (repères -23 m et -25 m), liées au pendage des couches ou aux plissements locaux (Illustration 2) ;
- Au taux de défruitement important des anciens travaux de la mine de potasse au droit de certains ouvrages de Stocamine, qui induisent localement des sur-contraintes ;
- Aux incertitudes sur la loi rhéologique du sel, liées à sa structure et à la présence de bancs intercalaires marneux ;
- A leur situation au sein du périmètre de stockage. En effet, les phénomènes de fluage, et les efforts qui en résultent dans le massif rocheux, sont plus marqués au centre qu'en périphérie du stockage.

Cette diversité des situations géologiques et minières dans laquelle se trouvent les infrastructures de stockage rend les prédictions du comportement des galeries, en matière de stabilité

---

<sup>1</sup> Les concepteurs du stockage ont privilégié, en raison de l'hétérogénéité des propriétés mécaniques du sel, le creusement des ouvrages du stockage dans des niveaux qui se situent respectivement, à 23 m et 25 m, sous le mur de la couche inférieure du minerai exploité de potasse.

<sup>2</sup> Les couches géologiques ayant un léger pendage et le stockage étant en général à l'horizontale, notamment les ouvrages contenant des déchets, l'épaisseur de la dalle au toit des galeries peut subir des réductions d'épaisseur, par endroit, ce qui défavorise sa stabilité mécanique.

mécanique, difficiles. Les modélisations prédictives ont, in fine, toujours nécessité un recalage a posteriori : cette observation vaut pour toutes les modélisations/prédictions qui ont pu être faites, tant lors du dossier de demande d'autorisation que lors des différentes études réalisées (Ecole des mines de Paris, K-UTEC, INERIS, Itasca...).

## 2. Observations in situ réalisées lors de l'inspection du 10 février 2023

Seuls les ouvrages accessibles ont pu être inspectés (galeries d'accès et d'infrastructures, allées de stockage non remplies, puits). Aucune tête d'ouvrage de stockage remplie (allée ou galerie de recoupe) n'a pu être observée, en raison des dispositifs d'étanchéité (bâches et mousse expansive) mis en place pour contrôler l'aération de l'installation.

Nous avons pu faire les constats suivants :

- Le soufflage des radiers (murs) des recoupes évolue toujours. Par analogie à ce qui avait été vu lors du déstockage partiel, nous estimons que la situation dans les ouvrages de stockage n'a fait qu'empirer (illustrations 4, 5 et 6) ;
- La remise périodique au gabarit des ouvrages est indispensable (rabassenage), avec une périodicité annuelle ;
- Les dalles au toit, sans soutènement par boulonnage, sont en rupture dans les recoupes de stockage non utilisées (illustrations 6) ;
- La densité de fracturation dans les piliers, notamment ceux des voies centrales doubles d'entrée de blocs, est en augmentation permanente. La surveillance de la fissuration par mesures d'endoscopie en forages montre qu'entre 2015 et 2022 elle a plus que doublé et que le nombre de fissures avec une forte ouverture (centimétrique à pluri-centimétrique) constitue plus du quart de la totalité (augmentation d'un facteur 15, illustration 8) ;
- La corrosion du cuvelage en fonte du puits Joseph est très avancée, par endroit des venues d'eau sont observées mais elles sont captées, et des extrusions de marnes semblent traduire une ruine localisée du cuvelage.

Les conclusions du rapport d'expertise de 2018 sont donc confirmées, à savoir qu'il y a eu une évolution défavorable depuis 2018 des conditions de stabilité des ouvrages. Il est en permanence nécessaire, dans de nombreux ouvrages d'infrastructures, de réaliser des opérations de mise en place de soutènements (boulonnage du toit, cerclage des piliers), pose de chapeaux ou de cintres coulissants) ou de maintenance (illustration 7 et 9).



### 3. Réponses aux questions posées

#### 1. Existe-t-il des techniques de consolidation pour limiter le phénomène naturel de fluage des galeries où sont stockés les déchets ?

Il existe en théorie et en pratique deux familles de soutènement possibles :

- a. Les soutènements souples (boulonnage, cintres coulissants) permettant de ralentir le fluage sans le bloquer et d'éviter ainsi des déformations trop importantes pouvant occasionner la rupture de la roche, de rigidifier la poutre au toit ou de maintenir par suspension ou confortement des blocs instables ;
- b. Les soutènements rigides (de type béton, ou cintres rigides avec plaques métalliques de bardage) pouvant bloquer les déformations des parois de l'ouvrage dues au fluage, moyennant un dimensionnement adéquat.

Cependant, dans un cas comme dans l'autre, la mise en place de ces soutènements nécessiterait de procéder au retrait provisoire des colis de déchets actuellement stockés, avec tous les risques qui y sont associés. Il est donc de notre point de vue trop tard pour procéder à cette « consolidation ». Pour mémoire, au moment du déstockage partiel, les colis étaient déjà au contact du toit dans certains blocs (cf. photos en annexe), la situation n'a pu qu'empirer 7 ans plus tard au vu des observations que nous avons réalisées le 10 février 2023.

#### 2. Est-il possible de laisser cette mine 9 à 12 mois sans entretien et y faire revenir des mineurs immédiatement après sans risque ?

L'entretien régulier des ouvrages d'infrastructures et d'accès est actuellement nécessaire (rabassinage, boulonnage, pose de cintres coulissants). Dans le cas où cet entretien ne pourrait être réalisé sur une longue période, le retour de mineurs posera un problème de sécurité certain en raison des purges et des mises en place de soutènements qui seront alors nécessaires. A titre d'illustration, nous avons pu constater lors de l'inspection plusieurs zones à l'équilibre précaire :

- Des chapeaux de cintres quasiment sans flèche, travaillant en flexion (hors dimensionnement) (illustration 7) ;
- L'endommagement extrême des piliers centraux de certaines doubles allées (infrastructures ou stockage), confirmés postérieurement à notre inspection par l'analyse des relevés endoscopiques transmis par les MDPA ;
- Des ouvrages de stockage (recoupes) vides effondrés (en particulier bloc 16, illustration 6).

De plus, nous avons constaté une certaine vétusté des matériels, en particulier électriques (transformateurs) et roulants (chargeurs), dont le fonctionnement nécessite une maintenance a priori assez fréquente. Il est possible voire probable que ces équipements ne redémarreront pas directement après un arrêt de plusieurs mois sans maintenance. Ces éléments ne concourent pas à un retour au fond en sécurité des mineurs.

En conclusion, sans être totalement impossible, le retour au fond de mineurs n'en resterait pas moins complexe à mettre en œuvre après un arrêt long et avec un degré certain de risque opérationnel.

**3. L'état des puits, en particulier leur cuvelage (visuel, surépaisseur mesurée, rapport RSA, DMT, etc) permet-il leur utilisation en sécurité au-delà de 2027 ? Quels sont les risques associés en matière de fuite d'eau massive dans le puits via le cuvelage ? A quelle temporalité ?**

La section supérieure en fonte du puits Joseph est notablement corrodée. Réaliser des travaux lourds et complexes en matière de sécurité (déstockage, confinement définitif...), d'une durée dépassant les quatre à cinq ans, nous paraît totalement hasardeux, sans remettre en état le cuvelage du puits. Il est à noter qu'un rechemisage ou des opérations lourdes de consolidation du puits impliqueraient, d'une part, une réduction de sa section utile et des conséquences fonctionnelles et opérationnelles, et d'autre part, un arrêt des interventions au fond pendant une durée comprise entre 9 et 12 mois avec les conséquences sur la sécurité évoquées dans la réponse à la question 2.

Actuellement, les débits des différentes arrivées d'eau en partie supérieure du puits sont de l'ordre de quelques m<sup>3</sup> par jour, ce qui ne pose pas de problème de collecte et de pompage. En revanche, une arrivée plus importante d'eau, a priori non gérable par l'exploitant actuel avec les moyens en présence, traduirait une ruine importante du cuvelage du puits et probablement une instabilité mécanique de l'ouvrage.

**4. A la vue de l'état des déchets comprimés dans les galeries et des fissurations sur les parements et sur les toits, quels seraient les risques pris par les opérateurs ?**

Les risques pour les opérateurs seraient conséquents. Au vu des photos prises lors des opérations de déstockage partiel réalisées en 2014-2017, la stabilité était déjà très précaire (ruptures de dalle de toit, uniquement supportée par des étais, soufflage important du mur).

Compte tenu de l'évolution des ouvrages depuis, la probabilité d'avoir un accident grave au fond (par chute de toit ou contamination par défaillance de colis), pendant des opérations dans les ouvrages contenant des déchets, n'a fait qu'augmenter significativement.

## 4. Conclusions

**Les observations faites lors de notre inspection du 10 février 2023, complétées notamment par les comptes rendus d'endoscopie des piliers, mettent en évidence une dégradation très significative de la stabilité des ouvrages. Ces éléments confirment les conclusions du rapport de 2018 du groupe d'experts internationaux coordonné par le BRGM, et indiquent que les conditions ne sont aujourd'hui plus réunies pour un déstockage.**

**De plus, l'évolution inéluctable de la dégradation des ouvrages pourrait compromettre la faisabilité technique du confinement, qui nécessite des travaux miniers notamment pour éliminer la zone endommagée de la roche en parement de galeries au droit des scellements. Ceci milite pour un démarrage au plus tôt des travaux de réalisation du confinement définitif.**



## 5. Annexe

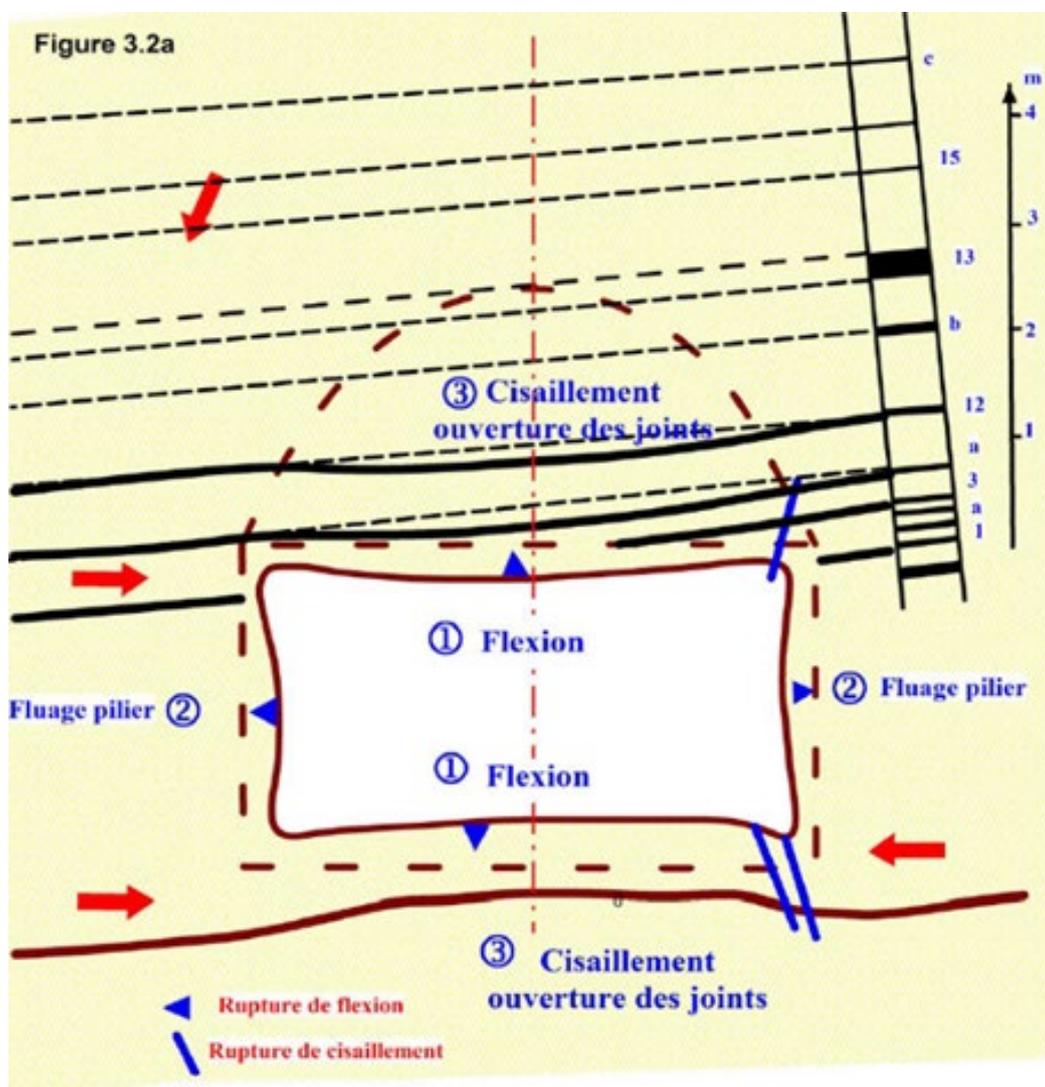


Illustration 1 : Schéma de principe du creusement des galeries dans les différents bancs de sel avec leurs intercalaires marneux et mécanismes de déformation et de ruptures autour des ouvrages (document ROVConsult du 18/11/2016)

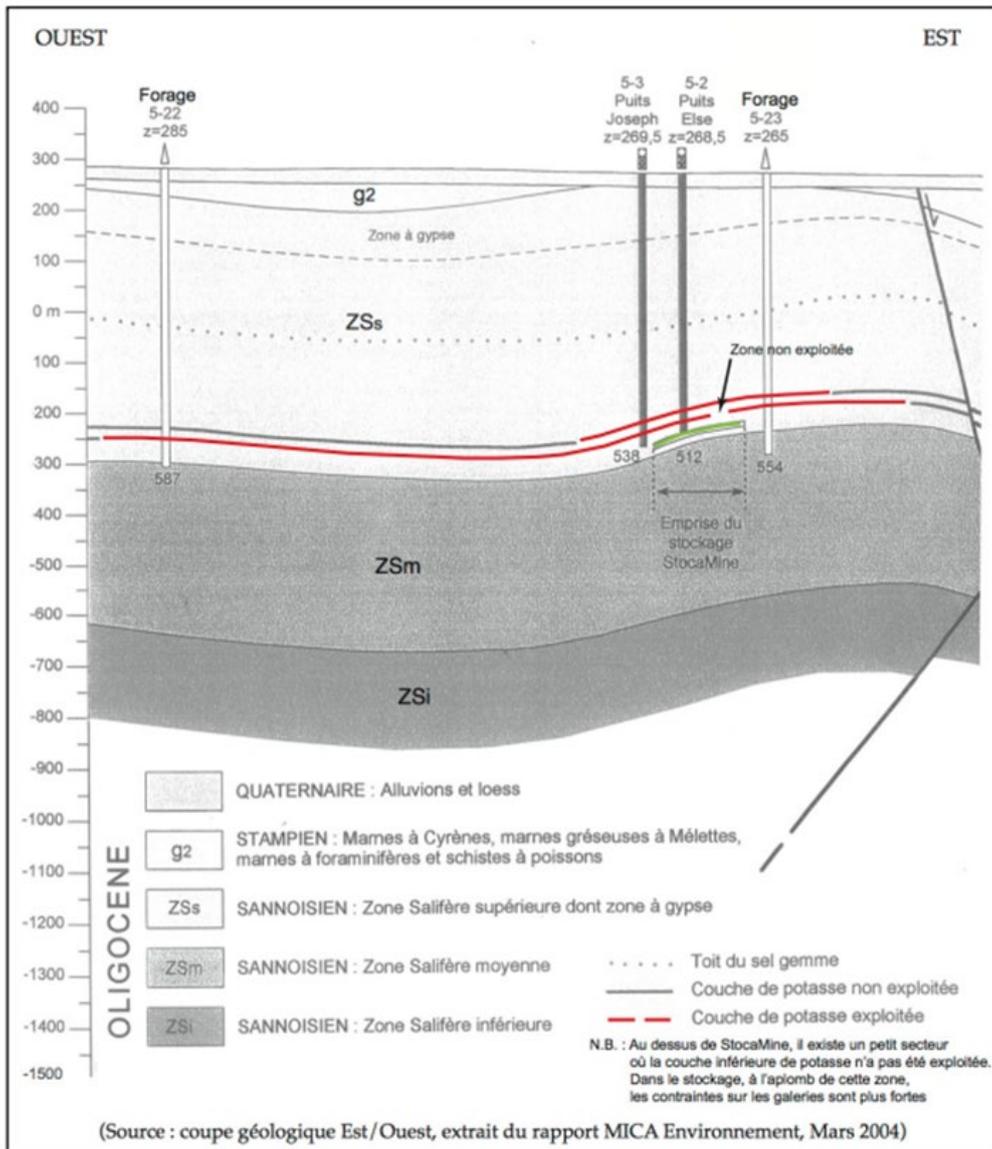


Illustration 2 : Coupe géologique Est/Ouest, extrait du rapport de MICA Environnement de mars 2004

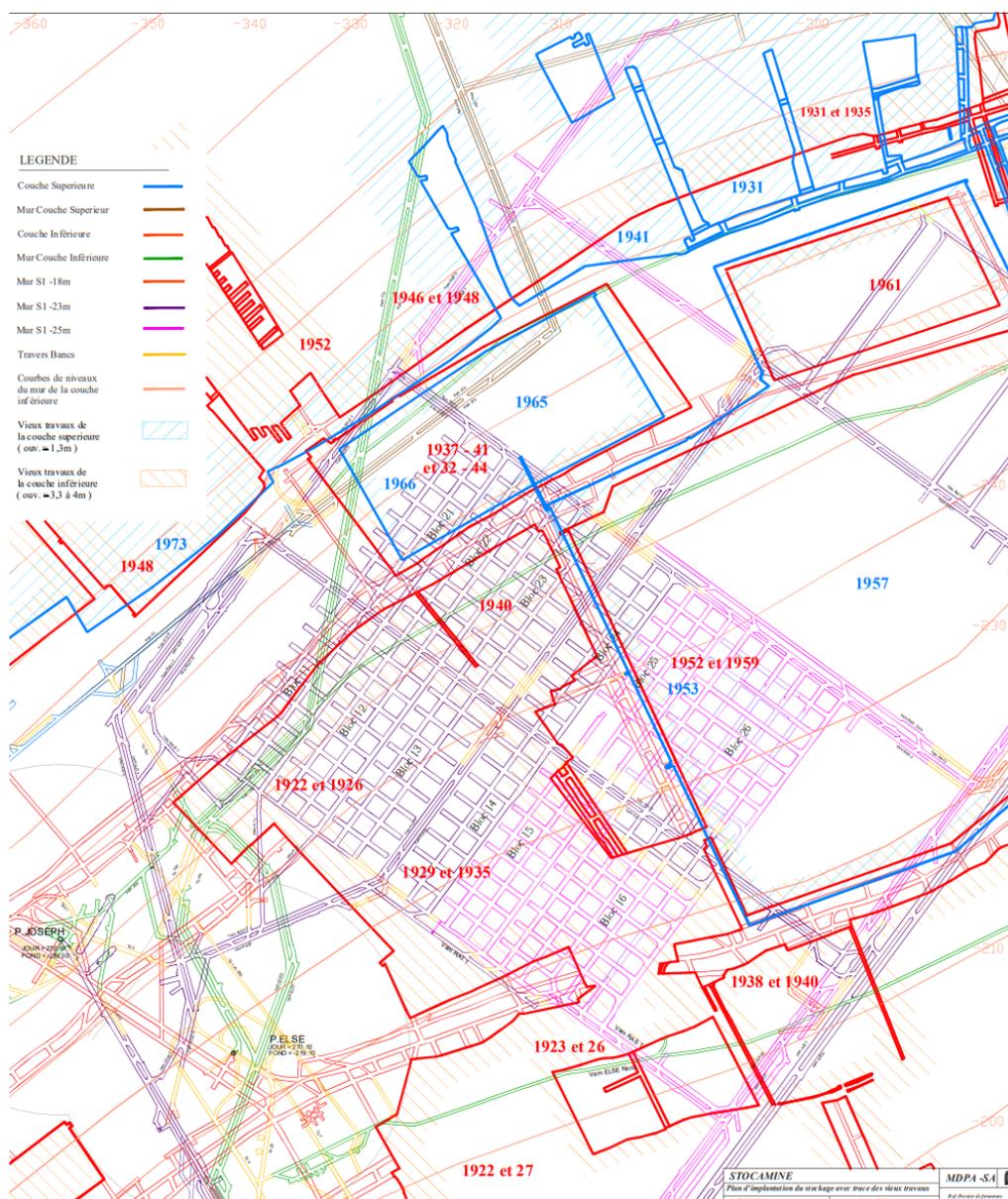
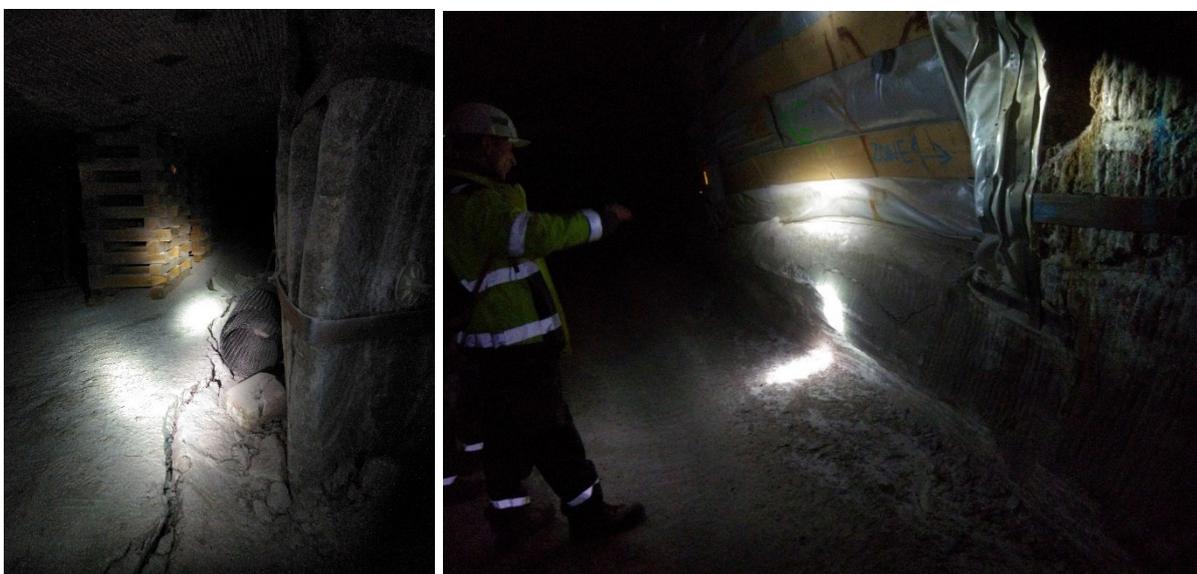


Illustration 3 : Plan d'implantation du stockage par rapport aux vieux travaux de la mine de potasse (avec leur date d'exploitation, document MDP4)



*Illustration 4 : Soufflage du radier et colis au contact du toit au niveau du bloc B12 lors des opérations de déstockage en 2016 (photos MDP)*



*Illustration 5 : Soufflage du radier à proximité du bloc 16 (gauche) et en entrée de bloc 12 (droite) – inspection du 10 février 2023*



*Illustration 6 : Rupture de dalles au toit, bloc 16 – inspection du 10 février 2023*



Illustration 7 : Cintres coulissants dans la zone centrale du stockage – inspection du 10 février 2023

(Les témoins de couleur sur les cintres indiquent leur coulissement, certains cintres travaillent en flexion. Le toit est déstructuré).

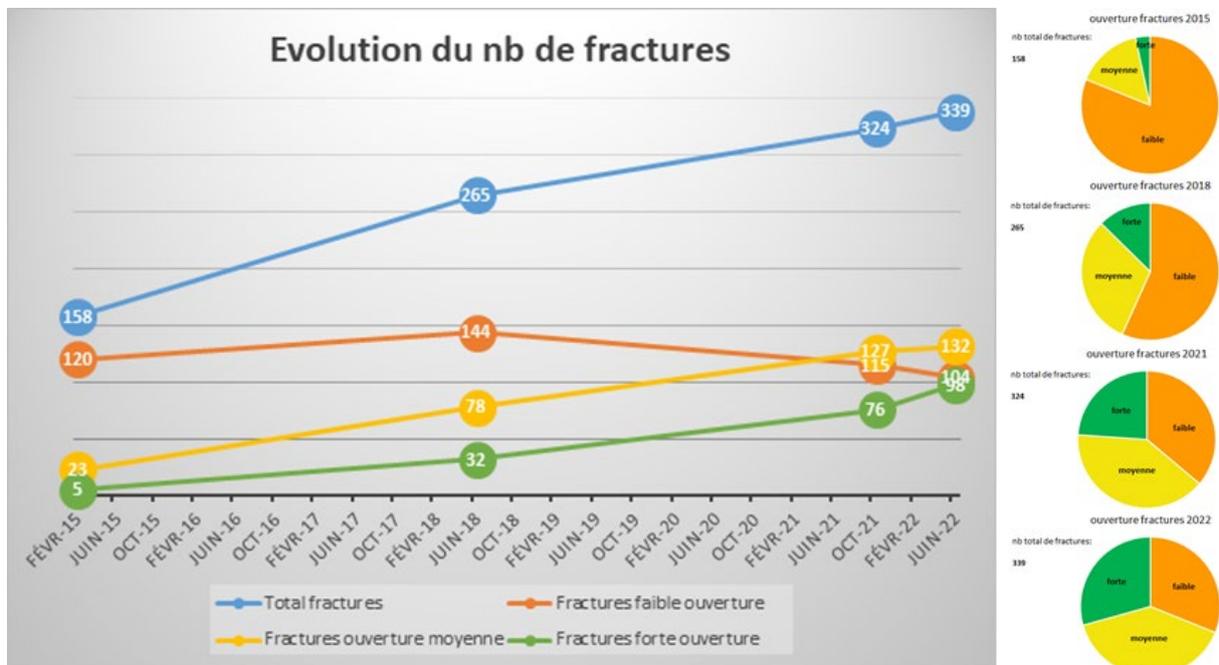


Illustration 8 : Evolution du nombre de fractures et de leur ouverture dans les piliers de la voie centrale double AJ1, à partir des relevés endoscopiques effectués par les MDPA



*Illustration 9 : Exemple de fracturation de pilier observée lors de la visite du 10 février 2023*



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**Centre scientifique et technique**

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34

**Direction régionale ou UTAM**

Adresse

Tél. :

**[www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)**



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**