



Dossier de Demande d'Autorisation (DDA)

Livret de synthèses des études

AVERTISSEMENT

Ce document a été élaboré par les MDPA en réponse à une recommandation de l'Autorité environnementale figurant dans son avis du 24 novembre 2022 : « fournir une synthèse accessible des différentes études constituant la bibliographie du dossier de demande d'autorisation ».

Par souci de précision, les MDPA n'ont pas modifié la rédaction des extraits présentés. Leur sélection a été opérée dans l'unique objectif de présentation du contenu des principales études annexées au dossier de demande d'autorisation. Ce livret ne saurait se substituer à la lecture des études dans leur version complète. L'intégralité des études est accessible dans les pièces annexes du DDA. Le site internet des MDPA est également consultable www.mdpa-stocamine.org.

Extraits dossier 2015

Études [1] à [86]

Synthèse 1 : Pièce [1] bibliographie DDA

Le stockage en mine de déchets industriels, StocaMine,

Groupe EMC, février 1996.

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [1] :

Auteurs : Groupe EMC

Contexte :

Présentation par la société StocaMine du projet de stockage de déchets industriels ultimes sur le site de la mine Joseph Else

Synthèse page 151 :

« La réalisation du projet d'élimination de déchets ultimes par dépôt dans des cavités artificielles en horizon salifère profond est une première en France d'une solution technique déjà grandement éprouvée en Allemagne pour l'isolement de tels déchets.

La mise en service de ce stockage entraînera un nombre limité de variations d'impact sur l'environnement :

- *Impact non perceptible sur l'air à proximité du puits Else par rapport à la situation actuelle.*
- *Impact sur l'eau quasiment nul, car les eaux polluées en cas d'incident, seront expédiées dans des centres de traitement.*
- *Impact nul sur la tenue des terrains et la qualité des eaux souterraines profondes.*
- *Impact négligeable sur le trafic routier, ferroviaire, et sur le bruit engendré ; aucun véhicule de livraison ne traversera les cités voisines.*
- *Impact positif aux plans architectural, visuel et socio-économique.*

D'une façon plus générale, le projet dépasse le cadre local pour s'étendre à l'échelle régionale et même nationale. Le projet STOCAMINE aura à ce titre un impact significatif sur la capacité régionale et nationale à assurer la gestion globale des déchets ultimes. »

Champs traités :

- *Présentation du projet*
- *Etude technique du projet*
- *Etude de danger*
- *Etude d'impact*
- *Hygiène et sécurité »*

Synthèse 2 : pièce [3] bibliographie DDA

Estimation des mouvements sismiques à la cote 500 m

Institut de physique du globe de Strasbourg, document non daté (1995)

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [3] :

Auteurs : Messieurs CARA et BOUR

Contexte :

Donner une estimation des spectres d'accélération maximum probables sur un millénaire à la côte - 500m au niveau du site d'exploitation des Mines de Potasse d'Alsace

Moyens mis en œuvre :

- Analyse de la sismicité historique et instrumentale
- Analyse des données tectoniques existantes
- Utilisation des enregistrements de petits séismes obtenus à -500 m en forage à Chalampé

Présentation par la société StocaMine du projet de stockage de déchets industriels ultimes sur le site de la mine Joseph Else

Conclusions page 50 :

« Les prédictions d'accélération du sol au niveau -500 m sur le site de stockage projeté ont été conduites en prenant un séisme de magnitude 5.5 à une distance de 8 km du site et de 6.5 à une distance de 32 km. Les probabilités d'occurrence de ces séismes à des distances aussi rapprochées du site de stockage sont faibles. À l'échelle de l'ensemble du Sud du Fossé Rhénan, la probabilité d'occurrence d'un séisme de magnitude 6.5 peut être estimée à environ 1 séisme par millier d'années.

Les modèles de calcul se sont placés dans les hypothèses les plus défavorables, maximisant les accélérations prédites. Il apparaît que les accélérations au fond sont inférieures d'un facteur 4 à 5 par rapport aux accélérations de surface. Les hypothèses les plus pessimistes conduisent à des accélérations horizontales inférieures à 0.1 g à la profondeur de 500 m et des accélérations verticales aux moins deux fois plus faibles.

L'analyse de dégâts observés dans des galeries montrent par ailleurs une faible vulnérabilité des ouvrages souterrains par rapport aux ouvrages de surface. Il apparaît que les ouvrages souterrains ne semblent pas connaître de dégâts significatifs pour des accélérations inférieures à 0.2g, accélérations supérieures à celles que nous avons estimées au fond, en prenant les hypothèses les plus pessimistes. »

Synthèse 3 : pièce [4] bibliographie DDA

Etude de sûreté d'un projet de stockage de déchets toxiques dans la Mine Amélie.

Approche des problèmes liés à l'hydrologie, P. Combes, E. Ledoux,

Ecole des Mines de Paris, document non daté (antérieur à février 1997)

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [4] :

Objet de l'étude : examiner la sûreté du projet de stockage de déchets toxiques dans des cavités creusées dans la couche de halite de la mine Amélie

Environnement géologique, conclusion page 14 :

- « Les formations du Chattien et du Stampien ne sont présentes à l'aplomb du site
- Le Sannoisien présente une épaisseur totale de l'ordre de 1 500m
- La cavité de stockage est placée au cœur d'une puissante série constituée de roches peu perméables (marnes, gypse, anhydrite, potasse et sel). L'épaisseur de sel cumulé est voisine de 500 m
- La structure tectonique est calme, on note cependant une zone faillée dont le rejet total est de 170 m environ au niveau de la couche inférieure de potasse. Cet accident est situé à 1.5 km du site,
- Il n'y a pas au voisinage du site de structure diapirique développée ou en cours de formation. »

Environnement hydrogéologique de la mine, conclusion, page 22 :

« ...le site est situé au sein d'un puissant ensemble qui peut être considéré comme imperméable. Il est constitué par 1 200m de marnes, d'anhydrite et de sel, ce dernier totalisant une épaisseur cumulée de 500 m. Cet ensemble a pour limite supérieure le toit du sel gemme en couche et pour limite inférieure les terrains secondaires ; aucune venue d'eau n'y a jamais été rencontrée dans cette région. De part et d'autre de ce bloc que nous désignerons par le terme de « bloc-hôte », on rencontre des formations où la présence de l'eau est plus ou moins importante. Vers le haut, il est successivement recouvert par trois horizons de plus en plus perméables au fur et à mesure que l'on se rapproche de la surface. Le premier de ces horizons est épais de 170 à 180 m, il est formé par des marnes, de l'anhydrite et de quelques occurrences de sel. La présence d'eau n'est pas systématique. Lorsqu'elle a été rencontrée il s'agissait toujours d'eau salée (30g/l NaCl) et les débits mesurés à l'occasion du creusement des puits étaient très faibles (4 l/minute). Compte tenu du diamètre important des puits (5 m) ceci atteste de la très mauvaise perméabilité de cet horizon. Au-dessus, se trouve le niveau à gypse d'une centaine de mètres d'épaisseur. Ici l'eau est toujours présente, elle imbibe les terrains et peut produire un écoulement d'eau à la faveur de fissures et diaclases. Les débits observés lors de la réalisation des ouvrages n'ont pas excédé 30 l/minute ce qui traduit ici aussi une perméabilité très faible.

Les eaux rencontrées dans ces deux horizons ont pour origine la nappe alluviale qui les surmonte. L'eau est davantage présente dans le niveau à gypse en raison d'une compaction moindre du milieu et devient de plus en plus rare avec l'accroissement de la profondeur. La nappe alluviale est, elle, un véritable aquifère de forte perméabilité ($k \approx 10^{-3}$ m/s) et à productivité élevée.

Vers le bas, le bloc-hôte se trouve au contact de l'aquifère du Malm (calcaire Rauracien-Séquanien) situé à 1000 m environ du site de stockage. Les autres aquifères du secondaire sont encore plus profonds, et jouent ainsi un rôle négligeable vis-à-vis de la sûreté du site dans la mesure où celle-ci ne dépend pas du nombre d'aquifères mais plutôt des caractéristiques hydrogéologiques de celui qui est plus proche du bloc-hôte.

À la suite de cette revue du contexte hydrogéologique régional il apparaît que le site bénéficie d'une situation extrêmement favorable puisqu'il se situe au cœur d'une série salifère imperméable qui l'isole efficacement des aquifères sus et sous-jacents. »

Conclusion générale, page 38 :

« À l'issue de cette étude qui avait pour objet d'examiner la sûreté du projet de stockage de déchets toxiques dans des cavités creusées dans la couche de halite de la mine Amélie on peut ainsi résumer les principaux résultats acquis :

- du point de vue lithologique et tectonique :

Le site est localisé au sein d'une série imperméable de 1 200 m d'épaisseur dont la structure est calme et exempte d'accidents proches et importants pouvant jouer un rôle dans la circulation de l'eau souterraine

- du point de vue hydrogéologique :

Les aquifères qui encadrent le bloc-hôte sont situés à 1 000m sous le stockage pour ce qui concerne les calcaires du Jurassique Supérieur et à 500 m au-dessus pour l'aquifère alluvial. Seule la nappe alluviale est actuellement exploitée pour l'eau potable.

Aucune venue d'eau d'origine naturelle n'a jamais été rencontrée au cours de l'exploitation dans cette partie du bassin potassique, malgré l'extension des travaux miniers qui sont menés depuis près d'un siècle. Les seules occurrences d'eau observées sont artificielles et correspondent à des fuites du cuvelage des puits de mine qui sont exhaurées.

- du point de vue de l'état final du système :

Malgré un rebouchage extrêmement soigneux des puits de mine, on devrait aboutir à terme à un ennoyage des cavités et vides résultant de l'exploitation. Cependant, une évaluation dans des hypothèses très pessimistes montre que les déchets resteront hors d'eau pendant plus de 1 500 ans, et qu'il faudra encore 800 années supplémentaires pour que s'établisse une continuité hydraulique avec les aquifères de surface par l'intermédiaire des puits de mine rebouchés. À partir de ce moment, grâce à l'effet densitaire provoqué par la dissolution du sel, les calculs montrent que l'on doit aboutir à un régime hydrostatique interdisant toute circulation au sein du bloc-hôte vers la nappe alluviale. Pour aller dans le sens de la sécurité, le calcul a également été mené en écartant l'effet densitaire et indique que le débit maximum des effluents en nappe ne peut excéder 10 m³/an.

Après 1 000 ans une communication avec la mine Marie-louise pourrait s'établir par dissolution du stot de séparation, ce qui aurait pour conséquence de porter ce débit à 40 m³ par an.

- Du point de vue de la dilution des eaux contaminées :

Cette dilution intervient à deux niveaux, d'une part au sein du bloc-hôte puisque toute l'eau qui y circulerait éventuellement ne passerait pas à travers les galeries de stockage, d'autre part au débouché de la nappe alluviale très productive.

- du point de vue de la stabilité des terrains :

Le faible débit d'eau prévisible dans les travaux et l'absence de cavités importantes liée à la méthode d'exploitation font que le phénomène de dissolution n'entraîne pas de risques particuliers sur la stabilité de la région.

Il apparaît donc que le site proposé présente à beaucoup d'égards des conditions de sécurité excellentes, même à très long terme. Compte tenu des ordres de grandeur dégagés en situation pessimiste au cours de l'étude, une persistance des conditions favorables de confinement sur une durée de 10 000 ans peut raisonnablement être retenue. »

Synthèse 4 : pièce [14] bibliographie DDA

Réalisation d'un état initial du site de stockage de déchets industriels de StocaMine

INSA division Polden, décembre 1998

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [14]:

Auteurs : Bernard SARRAZIN et Yves PERRODIN

Objet de l'étude :

« Avant le début de l'exploitation, il est nécessaire de faire le point sur l'état actuel de l'environnement afin de mettre en évidence une éventuelle pollution. Dans le futur, il sera possible, dans le cadre d'un programme de surveillance, de comparer les valeurs actuelles obtenues avec un nouveau point sur l'état de l'environnement.

Dans cette perspective, et compte tenu des activités futures de STOCAMINE, l'état initial porte essentiellement sur :

- *La caractérisation de l'air aux alentours du site*
- *La caractérisation de la couche superficielle du sol sur site et hors site*
- *La caractérisation des eaux superficielles*
- *La caractérisation des eaux de nappe*
- *Le niveau sonore*

Les paramètres chimiques concernés sont essentiellement ceux liés aux émissions éventuelles des futurs déchets enfouis. »

Etablissement d'un programme de surveillance

Synthèse 5 : pièces 16a et 16b bibliographie DDA :

Evaluation des risques sanitaires : site de Wittelsheim, bilan des émissions au jour et en fond de mine

ERM France, 20 février 2003 mise à jour mars 2003

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexes 16a et 16b :

Auteur : SAMIR MAGNOUNI et FREDERIC HAMILTON, ERM FRANCE

Objet de l'étude, page 1 :

« ERM a été mandaté par la société StocaMine pour la réalisation d'une évaluation de l'impact sanitaire des fumées ou gaz rejetés pendant toutes les phases de l'incendie qui a démarré le 10 septembre 2002 dans le bloc 15 du centre de stockage souterrain.

La présente étude a été demandée par l'administration par arrêté préfectoral du 7 décembre 2002 à la société StocaMine pour évaluer l'impact sanitaire des émissions de l'incendie.

Les objectifs de la mission d'ERM sont de réaliser l'évaluation quantitative des risques sanitaires suite à l'incendie qui s'est déclaré dans le bloc 15 en distinguant la part de l'exposition :

- *Pour les populations avoisinantes*
- *Pour les employés de StocaMine en fond de mine.*

L'approche d'ERM comprend deux étapes.

Tout d'abord, réaliser un bilan des données existantes sur les rejets et leurs retombées afin d'avoir une bonne compréhension de l'état du site et de ses alentours. Ce rapport présente cette première étape et conclut sur les données complémentaires nécessaires pour réaliser l'évaluation de l'impact sanitaire.

Ensuite, une évaluation des risques sanitaires sera réalisée conformément à la méthodologie et les préconisations détaillées dans les guides suivants :

- évaluation des risques sanitaires liés aux substances chimiques dans l'étude d'impact des installations classées pour la protection de l'environnement, INERIS novembre 2001

- Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact » de l'Institut de Veille Sanitaire février 2000. »

Conclusions page 36 et 37 du rapport final (16b) :

« Au jour :

En l'état actuel des connaissances et avec les hypothèses sécuritaires prises, cette étude montre que le risque lié aux substances émises à l'atmosphère suite à l'incendie dans le bloc 15 du centre de stockage de déchets est jugé acceptable pour les populations avoisinantes.

Au fond-Zone d'entrée d'air :

Les résultats montrent que la présence de dioxines et furanes à de faibles teneurs sur les murs/parements/toit dans la zone d'entrée d'air n'engendre pas de risque pour les personnes travaillant dans cette zone.

En l'état actuel des connaissances et avec les hypothèses sécuritaires prises, cette étude montre que le risque lié aux substances présentes dans la zone d'entrée d'air est jugé acceptable pour les employés pénétrant dans cette zone.

Au fond- Zone de retour d'air :

Les résultats montrent que la présence de dioxines et furanes à de faibles teneurs sur les murs/parements/toit dans le bloc 15 et dans le retour d'air peut engendrer des risques pour les personnes pénétrant dans cette zone contrôlée.

En l'état actuel des connaissances et avec le risque lié aux substances présentes dans le bloc 15 et dans le retour d'air suite à l'incendie est jugé inacceptable pour les employés pénétrant dans cette zone.

Le bloc 15 et la zone de retour d'air sont des secteurs actuellement condamnés où l'accès est contrôlé et des mesures de protection individuelle imposées. Des mesures de nettoyage seront prises par StocaMine en fonction des futures activités dans ces zones. »

Synthèse 6 : pièce [28] bibliographie DDA :

Etude géologique, hydrogéologique et géotechnique du centre de stockage de StocaMine Wittelsheim (Haut Rhin)

MICA Environnement, avril 2004

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [28] :

Auteurs : MICA environnement, Institut Suisse pour la Promotion de la Sécurité, BMG Engineering

Contexte de l'étude, page 9 :

« Le principe de confinement des déchets mis en œuvre à StocaMine est celui de la barrière géologique naturelle : la formation géologique et les aménagements qui y sont pratiqués imposent une barrière hydraulique et géochimique au transfert des polluants.

Le milieu salifère est jugé, à l'origine, très favorable car la présence même de sel témoigne du très bas niveau de circulation de l'eau souterraine qui constitue le vecteur essentiel des polluants sur une longue période.

Cependant, la solubilité très grande de cette roche remet rapidement en cause cet avantage dès lors qu'il y a circulation d'eau. Ceci est d'autant plus vrai que le stockage ne constitue pas une unité isolée, mais est étroitement lié aux exploitations de potasse des MDPAs dont il partage une partie des installations.

La présente étude s'appuie sur les études antérieures qui ont précédé la mise en exploitation du stockage souterrain. Ces études seront complétées de données recueillies depuis la mise en exploitation du stockage et de données complémentaires recueillies auprès de MDPAs qui poursuit la procédure d'arrêt définitif de son exploitation. »

Résumé des hypothèses et estimations, pages 257/258 :

HYPOTHESES ET ESTIMATIONS	
Puits	Puits Joseph, Else, Amélie 1 et 2 remblayés intégralement par des cendres volantes de perméabilité $K=5.8 \cdot 10^{-7}$ m/s. Après étude il est envisageable de remblayer Amélie 1 et 2 de manière conventionnelle aux MDPAs. Pour les autres puits, prise en compte de leur remblayage effectif.
Volumes de vides résiduels dans la mine	2 cas ont été pris en compte : mine Amélie isolée et mines du bassin de Wittelsheim communicantes : cette dernière situation est la plus probable. Vides résiduels dans les zones foudroyées calculés pour 2%, 5% et 8% du volume de vides initial lors de l'exploitation. La valeur de 5% est la plus probable. Vides résiduels dans les galeries de desserte considéré pour les galeries situées au-dessus de 650 mètres de profondeur et à échéance de 500 ans.
Durée d'ennoyage de la mine	Les entrées d'eau sont calculées par infiltration dans les remblais des puits, selon leur mode de remblayage déjà défini. Durée la plus probable : 400 ans pour atteindre le stockage, 500 ans pour noyer l'ensemble du bassin de Wittelsheim.
Equilibre du système	L'établissement d'une circulation d'eau entre les puits les plus hauts du bassin et les plus bas n'est pas certain, mais est possible.

	<p>Condition : dilution et entraînement des saumures dans ou à l'extrados des fûts des puits aval par les eaux aquifères tertiaires.</p> <p>Probabilité d'occurrence : faible</p> <p>Débit maximum attendu : 195m³/an</p> <p>Durée de transit dans la mine : 900 ans</p> <p>Temps écoulé entre le début de l'ennoyage et une hypothétique sortie d'eaux ayant traversé les déchets dans les aquifères tertiaires et quaternaires : 1400 ans.</p>
SCENARIOS ACCIDENTELS	
Rupture bouchon puits amont stockage	<p>Augmentation des débits d'entrée d'eau pendant la phase d'ennoyage. En équilibre final, débit de transit dans la mine contrôlé par le débit possible dans les puits aval (1200m³/an).</p> <p>Parade : remblayage « ultrasécuritaire » des puits Joseph et Else.</p> <p>Probabilité d'occurrence : faible, pratiquement nulle une fois la mine ennoyée.</p>
Rupture bouchon puits aval du stockage	<p>Ce puits devient vraisemblablement l'exutoire unique de la mine. Débit de fuite contrôlé par le débit d'entrée entre 300 et 700 m³/an.</p>
Forage dans aquifère artésien	<p>Forage ancien : probabilité quasi-nulle</p> <p>Nouveau forage : intrusion brutale d'eau chaude et salée dans la mine.</p> <p>Parade : institution d'une servitude au droit du stockage ; contrôle des forages au-dessus du bassin potassique.</p>
Forage dans stockage	<p>Risque de dégazage brutal de la mine avec remontée de saumure potentiellement contaminée.</p> <p>Parade : institution d'une servitude au droit du stockage.</p>
Altération d'étanchéité TB T	<p>Cet ancien travers banc a été le siège d'une venue d'eau accidentelle il y a 70 ans.</p> <p>Il est à l'aval du stockage ; il peut mettre directement en contact les saumures de la mine avec les eaux des aquifères tertiaires (débit possible 1000m³ /an).</p> <p>Probabilité d'occurrence : faible</p>
Failles naturelles ou fissures dues à l'exploitation	<p>Non susceptibles de pouvoir occasionner des entrées d'eau dans la mine en raison de l'amortissement dans les terrains marneux ou dans le sel.</p>
Séismes	<p>Mouvements très faibles en profondeur, non susceptibles, dans ces terrains marneux et salifères, de créer des fractures importantes susceptibles de provoquer des entrées d'eau.</p>
PRECONISATIONS	
<i>Hypothèse</i>	Maintien de l'ensemble des déchets au fond
Remblayage des puits	Joseph et Else : blocage plus important de la base du cuvelage Joseph et Else : remblayage en totalité avec des cendres volantes
Stockage	Etablissement de serrements dans les voies d'accès au stockage
Bloc 15	Etablissement de serrements en béton dans les allées d'accès au stockage (prévention à court terme pour la sécurité des travailleurs)
<i>Hypothèse</i>	Déstockage des déchets, hors bloc 15
Remblayage des puits	Aucune préconisation, remblayage « traditionnel » MDPA
Stockage	Aucune préconisation
Bloc 15	Doublement des serrements en béton par serrements de sel

Synthèse 7 : pièce [30] bibliographie DDA :

Stockage souterrain de Wittelsheim : évaluation des risques suite au confinement de déchets dans la mine. Risques dus aux substances chimiques

BMG Engineering AG, juillet 2004

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [30] :

Auteurs : BMG Engineering

Extraits du résumé technique, pages i à ix :

« Afin de se déterminer sur la variante optimale pour l'homme et l'environnement, Stocamine a engagé une étude pluridisciplinaire afin d'évaluer les deux variantes suivantes :

- Confinement du bloc 15 et exercice de la réversibilité pour les déchets des autres blocs ;
- Confinement de l'ensemble des déchets dans la mine.

Le présent rapport évalue les risques à moyen et long terme (50, 100 et 1000 ans) de ces deux variantes. Cette étude s'appuie d'une part sur le rapport géologique, hydrogéologique et géotechnique de MICA Environnement et d'autre part sur les conclusions des études et expertises antérieures menées par diverses Ecoles Nationales et d'autres organisations indépendantes (INERIS, INSA, etc.).

L'évaluation des risques liés aux substances chimiques suite au confinement définitif d'une partie (c.-à-d. des déchets du bloc 15) ou de l'ensemble des déchets dans le stockage a été menée selon l'approche suivante :

- (i) Évaluation des impacts chimiques actuels sur l'environnement ;
- (ii) Identification des polluants stockés représentant une source potentielle de danger pour l'homme et l'environnement ;
- (iii) Évaluation toxicologique des polluants et définition d'objectifs de protection ;
- (iv) Modélisation du transport de polluants en direction des biens à protéger ;
- (v) Quantification de l'exposition des biens à protéger ;
- (vi) Évaluation d'options de fermeture ;
- (vii) Évaluation des incertitudes et de scénarios accidentels ;
- (viii) Caractérisation du risque et conclusions. ».

Synthèse 8 : pièce [37] bibliographie DDA :

L'ennoyage de la mine de potasse - Secteur Ouest

CESAME, septembre 2006

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [37] :

Auteurs : CESAME, Conseils en Environnement, Sols Aménagements

Contexte étude :

À la suite de l'incendie de 2022 dans le bloc 15 s'est posé le problème de la fermeture de la mine et de ses conséquences, entre autres vis-à-vis de StocaMine dans l'hypothèse du maintien en souterrain des déchets. Une étude hydrogéologique a été confiée à CESAME.

Articulation de l'étude autour de 4 parties, page 2 :

- *« Généralités : description du contexte géologique, hydrogéologique et minier*
- *La fermeture du secteur ouest : ce chapitre rappelle que la fermeture du secteur ouest de la mine de potasse est entamée car 11 puits ont déjà suivi une procédure de mise en sécurité. Des bouchons de cendres de centrales thermiques (cendres volantes) limitent les infiltrations et dans le même temps la lente fermeture des vides résiduels souterrains a commencé*
- *Phénomènes associés à l'ennoyage : l'ennoyage est une phase transitoire pendant laquelle on peut attendre des phénomènes de transformations de l'eau douce en saumure, de dissolution, de migration d'air, mais également la lixiviation des déchets de StocaMine.*
- *Comparaison des solutions d'ennoyage : l'étude hydrogéologique a été menée dans le but de comparer les solutions d'ennoyage. Ce chapitre reprend ce qui différencie un ennoyage naturel d'un ennoyage volontaire afin de donner un avis sur la solution à privilégier. »*

Synthèse 9 : pièce [39] bibliographie DDA :

L'ennoyage des mines de potasse - Dossier commun : secteurs Est et Ouest (AB/1143/04/08)

CESAME, avril 2008

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [39] :

Auteurs : CESAME, Conseils en Environnement, Sols Aménagements

Résumé de l'étude, extraits pages 6 à 8 :

« La présente étude s'attache à décrire les phénomènes mécaniques, hydrogéologiques et chimiques accompagnant l'exploitation puis la fermeture de la mine, à apprécier leurs ordres de grandeur, dans le but d'estimer le temps de remplissage de la mine et les phénomènes secondaires qui pourraient accompagner ou suivre la phase de remplissage.

(...)

La mine a créé en souterrain un volume de vides important (270 millions de m³ de minerai extrait) qui du fait des méthodes d'exploitation employées (foudroyage essentiellement) s'est résorbé rapidement (3 ans) et en proportion importante (90 %), par affaissement.

Les vides résiduels continuent à se fermer au fil du temps¹, du fait du comportement particulier du sel qui est capable de fluer indéfiniment tant qu'il subit un différentiel de pression. Aujourd'hui les vides miniers sont ainsi estimés à environ 5% du volume initial de la mine et leur fermeture se poursuit.

Pendant l'exploitation, les débits d'eau pénétrant dans la mine étaient très faibles, puisque les valeurs d'exhaure incluant l'eau apportée volontairement pour le fonctionnement de la mine ne représentaient que :

- 4 à 12 m³/h pour le secteur Est,
- 6 à 11 m³/h pour le secteur Ouest.

La faiblesse de ces débits est liée à la nature de l'encaissant minier (terrains salins totalement exempts d'eau) et aux aménagements mis en place par l'exploitant pour protéger sa mine de la pénétration des eaux provenant de la surface (cuvelages étanches au droit des formations aquifères).

Aujourd'hui ces vides sont constitués d'anciennes galeries n'ayant pas encore totalement fini de se refermer et de grands champs d'exploitation dans lesquels le vide franc a été comblé par effondrement du toit puis fluage et qui ne se distinguent du reste du massif que par l'existence d'une porosité plus forte répartie au niveau de l'ancienne couche exploitée et sur quelques dizaines de mètres de part et d'autre.

À la fin de leur exploitation, les puits de mine étaient bouchés dans le but de limiter les venues d'eau vers la mine car elles constituaient pour l'exploitant un danger du fait de la solubilité de l'encaissant minier. Chaque puits a ainsi été remblayé sur toute sa hauteur et équipé d'un bouchon de cendres volantes (matériau très peu perméable) d'au minimum 50 mètres d'épaisseur situé à la base de son cuvelage étanche.

Du fait de la très faible perméabilité de ces bouchons, les débits d'eau susceptibles de pénétrer dans la mine après fermeture de l'ensemble des ouvrages ont été estimés au maximum à environ 2,5 m³/h pour chacun des secteurs d'exploitation (Est et Ouest).

Malgré la faiblesse des débits, on admet donc que l'introduction d'eau douce dans la mine fermée reste possible. Cela conduirait ainsi à un ennoyage progressif des deux secteurs étudiés en :

- *Environ 100 ans pour le secteur Est,*
- *Environ 150 ans pour le secteur Ouest.*

Ces durées prennent en compte deux phénomènes antagonistes évoluant simultanément au remplissage par l'eau :

- *La poursuite de la compaction des terrains,*
- *L'augmentation des vides (25 % environ) du fait de la dissolution du sel par les apports d'eau douce.*

Les phénomènes associés à la fermeture puis au remplissage de la mine sont décrits dans le présent rapport.

Du fait de l'apport d'eau et du fluage, le volume disponible pour l'air dans la mine va se réduire progressivement jusqu'à enfermer d'éventuelles bulles d'air à la base des bouchons les plus étanches.

La présente étude permet de démontrer que les bouchons de cendres, de par leur position dans les différents puits et la géométrie de ces puits, peuvent résister à la mise en pression de la mine en raison de son remplissage, même si certains d'entre eux sont totalement étanches.

Après la fin de l'ennoyage, il n'y aura pas d'écoulement depuis la mine vers la nappe superficielle car la densité de la saumure équilibrera les pressions dans tout le système minier, et la pression due à l'écart de niveau entre les puits amont et aval est insuffisante pour rompre cet équilibre'.

Les phénomènes de dissolution liés à l'intrusion d'eau douce dans la mine pendant toute la phase de remplissage se répartiront de façon diffuse dans l'exploitation compte tenu de l'existence d'un pendage dans les couches de potasse exploitées, et des aménagements mis en œuvre par l'exploitant au moment de la fermeture des puits (en particulier bouchon béton et drains à la base des ouvrages) pour préserver la base de ses puits. Ce n'est qu'en phase finale de remplissage, que la dissolution autour des puits pourra éventuellement intervenir (car l'eau douce arrivant à pénétrer dans l'ouvrage flottera sur la saumure qui aura déjà envahi la mine). Cependant, les volumes dissous seront sans doute discontinus et inégaux et essentiellement développés dans les interstrates de matériaux solubles en périphérie des parements (pas de vides importants et continus susceptibles de déstabiliser totalement les ouvrages).

Ce phénomène pourrait éventuellement conduire à un coulissage des remblais dans les puits pour compenser le vide créé par dissolution.

Remarque : A proximité des puits fermés depuis plusieurs années, l'ennoyage a déjà débuté. C'est notamment le cas dans le secteur Est, où le fait que les travaux miniers profonds soient noyés a été effectivement observé en 1986 dans la mine d'Ensisheim. Depuis 22 ans, l'ennoyage de ce secteur a probablement progressé sans qu'aucun désordre n'ait été constaté en surface à son aplomb ni dans le puits de mine, ce qui permet d'admettre que la dissolution du sel est effectivement répartie au sein des travaux miniers souterrains et ne provoque pas de reprise d'affaissement à l'aplomb des travaux noyés ni de coulissage catastrophique de remblais dans les puits.

Au terme du remplissage, seule une mise en pression supplémentaire de la mine peut mener à une sortie de saumure en surface ou dans la nappe alluviale. Cette hypothèse correspondrait alors à la poursuite du fluage des terrains encaissants malgré la présence de saumure dans les vides résiduels miniers. Elle ne pourrait alors se traduire que par l'émergence d'un débit de saumure minimale (moins de 0,5 m³/h pour chacun des secteurs) réparti sur l'ensemble des puits et menant à une augmentation de concentration en chlorures en aval des puits de quelques milligrammes par litre dans la nappe alluviale d'Alsace. L'échéance de ce phénomène serait de plusieurs centaines d'années.

En conclusion, aucun phénomène rapide ou incontrôlable n'est attendu suite à la fermeture des mines de potasse d'Alsace. Tous les phénomènes attendus seront lents et progressifs et leurs effets en surface devraient être nuls à très faibles. Le seul risque que l'on peut retenir serait un coulissage des remblais dans les colonnes de puits en liaison avec une dissolution intervenant sur la toute fin du remplissage de la mine (échéance ≥ 100 ans). C'est la raison pour laquelle il est proposé dans ce rapport de conserver une servitude de passage vers chaque puits de mine pour aller régulièrement vérifier que le niveau de remblai n'y a pas évolué (et compenser si nécessaire le vide apparu). L'existence des puits de mine, seules discontinuités dans la couverture, doit rester inscrite dans les documents d'urbanisme. »

Synthèse 10 : pièce [50] bibliographie DDA

Synthèse critique des études hydrogéologiques sur l'ennoyage du site DRS-10-108130-03801A – Stockage souterrain de StocaMine (68)

INERIS, 30 mars 2010

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe 50 :

Rédaction : INERIS, Philippe GOMBERT (avec Fabrice QUIOT et Olivier BOUR)

Vérification : Jean-Claude PINTE

Approbation : Mehdi GHOREYCHI

Objet : analyse critique des études antérieures à la mission de l'INERIS. La conclusion ci-dessous reportée et rédigée par l'INERIS n'intègre pas leurs travaux ultérieurs.

Extraits des pages 83 à 86 :

« 4.5 DEVENIR DE LA MINE EN FIN D'ENNOYAGE

Plusieurs auteurs ont estimé ou simulé un net ralentissement de la vitesse de fluage au cours de l'ennoyage mais il existe des mines où le phénomène inverse se produit. La question du devenir des vides miniers après ennoyage reste donc ouverte : le fluage va-t-il ralentir ou risque-t-il de s'accélérer ? De quelle ampleur sera le phénomène et quelle durée aura-t-il ?

(...)

4.6 SUITE DE L'ETUDE

Sur le plan hydrogéologique, il existe un risque de contamination de la nappe d'Alsace par des épanchements de saumure contaminée dans l'hypothèse où tout ou partie des déchets stockés subsisteraient dans le site de stockage. Les questions qui se posent pour la suite de l'étude concernent les points suivants :

- *Y a-t-il un risque d'épanchement de saumure dans les compartiments superficiels avant, pendant ou après l'ennoyage du site ? Quels sont les mécanismes susceptibles de le provoquer ?*
- *A quel moment, à quel endroit et à quel débit ces épanchements risquent-ils de se produire ?*

La synthèse de l'état des connaissances permet de mettre en évidence les faits suivants :

- *En l'état actuel (pompage dans la mine Amélie), le risque d'épanchement de saumure contaminée est nul ; cependant, les mines du bassin de Wittelsheim ont déjà commencé à s'ennoyer à un débit de l'ordre de 120 m³/mois/puits ; d'autre part, de récentes mesures de débit de percolation effectuées à la base des puits remblayés de la mine Amélie laissent cependant penser que le débit d'ennoyage pourrait être 2 à 3 fois plus rapide ;*
- *Dès l'arrêt des pompes actuels et/ou dans le cas où le stot séparant la mine Amélie du reste du bassin de Wittelsheim viendrait à ne plus jouer son rôle de barrière, l'ennoyage de la mine finira par atteindre les déchets ;*

- *Après l'ennoyage total des vides miniers résiduels (dont le volume exact n'est pas connu avec précision et représente environ 2 à 8% des vides miniers créés par l'exploitation), cette saumure potentiellement contaminée pourrait migrer vers certains puits de mine³¹ et atteindre les compartiments superficiels perméables où elle pourrait s'épancher ; le moteur de ce phénomène peut avoir deux causes :*
 - *Mise en place d'une circulation profonde suite à l'écart de densité entre la saumure (entre 150 et 350 g/l) et l'eau douce des niveaux superficiels (entre 1 et 70 g/l) ; l'effet de la température, qui contrebalance celui de la densité, est également à prendre en compte (de 10°C en surface à plus de 60°C dans les travaux les plus profonds) ; le débit d'épanchement attendu est actuellement de l'ordre de 200 à 400 m³/an*
 - *Expulsion de saumure suite à la pression induite par la poursuite du fluage après ennoyage ; selon la plupart des auteurs étudiés, le fluage va significativement ralentir dès l'ennoyage du site mais il existe des exemples où l'ennoyage a accéléré la vitesse de fluage (MGo réalisera une étude sur ce point dans la suite) ; le débit d'épanchement attendu est actuellement de l'ordre de 200 m³/an mais il pourrait s'avérer supérieur au début de la phase d'ennoyage.*
- *D'après les études réalisées, l'épanchement éventuel de saumure en surface se produira à la fin de l'ennoyage complet de la mine Amélie (soit entre 150 et 3400 ans³²) ou du bassin de Wittelsheim (soit entre 150 et 10 000 ans) ; en l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de mieux préciser la durée d'ennoyage car de récentes mesures de débit de percolation à la base de puits remblayés jettent un doute sur les estimations antérieures et la quantité de vides résiduels pris en compte reste à vérifier;*
- *Les lieux potentiels d'épanchement de cette saumure devraient être les puits situés en aval hydrogéologique du système c'est-à-dire les puits Amélie 1, Amélie 2 et Max dans le cas où la mine Amélie est isolée, et les puits Ungersheim 1 et 2, Rodolphe, Schoenensteinbach, Berrwiller et Alex ; la localisation exacte des lieux potentiels d'épanchement dépend de plusieurs paramètres :*
 - *La position des puits par rapport à la piézométrie de la nappe d'Alsace qui varie de 260 m NGF en amont (puits Joseph et Else) à 210 m NGF en aval (puits d'Ungersheim) ;*
 - *La résistance hydraulique des puits remblayés qui est fonction de l'épaisseur de leur bouchon de cendre (de 50 à 300 m) et de la perméabilité de la zone endommagée à l'extrados ;*
 - *La résistance du stot.*

*Dans la suite de l'étude, il conviendra de bâtir des scénarios d'épanchement de saumure dans les compartiments superficiels afin de permettre l'intégration de ces données dans le modèle mathématique simulant l'écoulement de la nappe d'Alsace. L'objectif sera d'estimer l'impact attendu de ces épanchements de saumure potentiellement contaminée sur la qualité des eaux souterraines dans le cas où tout ou partie des déchets resterai(en)t en place. **Cette modélisation, dont les résultats devront être disponibles pour la phase de conclusion de l'étude, devra préalablement faire l'objet d'une prestation complémentaire.** »*

Synthèse 11 : pièce [53] bibliographie DDA

Etude géomécanique du stockage de Stocamine

INERIS, 23 décembre 2010

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [53]

Auteur : F. LAOUAFA

Vérification : JC PINTE et M GHOREYCHI

Approbation : M GHOREYCHI

Objectif de l'étude, page 9

« L'étude géomécanique présentée dans ce rapport fait partie d'un ensemble d'études réalisées par l'INERIS pour le compte de StocaMine sur l'évaluation des risques liés aux deux principaux scénarios suivants :

1. le stockage illimité des déchets industriels disponibles au fond ;
2. le déstockage partiel ou total de ces déchets et leur transport et restockage dans d'autres sites.

Ainsi, l'étude géomécanique a été motivée par trois objectifs :

1. Evaluation de la stabilité mécanique du site de stockage et des ouvrages d'accès. Cet objectif a été guidé par des interrogations sur les points suivants :
 - Possibilité d'accès au site, à moyen terme (On entend par court, moyen et long terme, respectivement quelques années, quelques dizaines d'années et quelques siècles).
 - Possibilité d'un déstockage, à court ou à moyen terme.
2. Evaluation de la vitesse du fluage des différentes structures (stockage, galeries, terrains foudroyés), en lien avec les problématiques suivantes :
 - Impact du fluage sur le transport de polluants vers l'extérieur.
 - Possibilité d'accès aux travaux souterrains dans le temps.
3. Evaluation de l'endommagement du toit du stockage, induit par l'incendie du bloc 15 qui soulève des interrogations sur le point suivant :
 - Possibilité d'une communication hydraulique au travers du sel endommagé. »

Démarche adoptée, pages 9 et 10

« La démarche adoptée pour l'étude géomécanique s'appuie principalement sur 4 investigations :

1. Analyse des études antérieures commandées par StocaMine : en particulier, les études conduites par l'Ecole des Mines de Paris (dans le cadre du dossier d'autorisation, études 2006 et 2009)
2. Analyse des mesures in situ et des données disponibles à StocaMine :
 - mesures des déplacements relatifs horizontaux et verticaux, dans les galeries de stockage ;
 - mesures d'affaissement de la surface du sol, réalisées par les MDPA, résultant de l'exploitation et de la compaction des terrains foudroyés (mémoire 5 des MDPA).

3. *Mise à profit de l'état des connaissances et des résultats des recherches en France et à l'étranger [...]*
4. *Modélisation numérique du stockage et des ouvrages d'accès, réalisée par l'INERIS en 3D et en 2D. [...]* »

Conclusion intégrale, pages 75 à 77

« L'étude géomécanique qui vient d'être présentée fait partie des études réalisées par l'INERIS pour le compte de StocaMine sur les différents scénarios de devenir du stockage de déchets industriels de StocaMine.

En plus des investigations menées auparavant par d'autres organismes, ce travail s'appuie largement sur les résultats des recherches déjà réalisées en France et à l'étranger sur le sel. En particulier, les résultats des expériences de laboratoire et in situ obtenus sur le sel de la mine Amélie aux MDPAs, dans le cadre de programmes européens ont été utilisés. Ces travaux de recherche avaient débouché sur le développement de deux modèles rhéologiques : celui de Norton sur le fluage de sel et un modèle d'endommagement. Caractérisés en laboratoire et in situ, ces modèles ont servi aux études mécaniques et thermomécaniques présentées dans ce rapport.

Les principaux résultats obtenus peuvent être résumés ainsi :

1. En ce qui concerne la **stabilité mécanique** des différents ouvrages, les points suivants sont à souligner :
 - les approches basées sur la modélisation et les observations s'accordent sur le fait que les piliers des voies desservant le stockage sont endommagés, ce qui soulève le problème de la tenue mécanique à moyen terme et de l'accessibilité dans le temps au stockage ;
 - le contact entre le toit du stockage et les déchets est inévitable, à court ou à moyen terme (dans quelques années à quelques dizaines d'années, selon le bloc considéré). Ce fait qui tient à la fois au fluage du sel et au décollement des bancs, est de nature à compliquer considérablement, voire à rendre impossible un déstockage différé ;
 - les résultats de la modélisation du stot de séparation entre les mines Amélie et Marie-Louise indiquent que la stabilité du stot est compromise localement dans les parties dont l'épaisseur est inférieure à 20 m. Cela signifie que l'étanchéité hydraulique du stot n'est pas assurée et l'ensemble du secteur ouest sera en communication lors de l'ennoyage.
 - le toit immédiat, le mur et les piliers de la zone affectée par l'incendie sont endommagés, comme l'indiquent la modélisation et les observations (photographies disponibles). Précisons que l'accès au bloc 15 étant condamné, ce bloc n'a pas pu être visité de près par l'INERIS. Toutefois, la modélisation a montré que la fissuration des bancs n'a probablement pas atteint le niveau du foudroyage, 25 m plus haut et que la perméabilité du sel doit y rester encore très faible.
2. S'agissant **du fluage des ouvrages souterrains**, il convient de noter que :
 - le modèle rhéologique de Norton, largement reconnu et employé à travers le monde, a été utilisé après un calage des paramètres, effectué sur les convergences mesurées dans les différents blocs. Le modèle reproduit bien les déplacements mesurés jusqu'à présent, pendant environ 10 ans ; il a été extrapolé à moyen et long terme ;
 - la vitesse de convergence « toit-mur » est de 0,9% par an aussi bien pour les voies doubles situées à 550 m de profondeur que pour le site de stockage ;

- *la vitesse de convergence est fortement influencée par la profondeur sous l'effet conjugué de deux facteurs :*
 - a. *le déviateur de contrainte qui est deux fois plus fort à 1000 m qu'à 500 m. Il en résulte que la vitesse de convergence des galeries situées à 500 m est multipliée par un facteur 16 à 1000 m de profondeur, puisque la vitesse de fluage est proportionnelle au déviateur élevé à la puissance 4 pour le sel des MDPAs (selon le modèle utilisé) ;*
 - b. *la température naturelle du massif qui est voisine de 35 °C à 550 m et de 50°C à 1000 m. La température intervient de manière exponentielle sur le fluage (loi d'Arrhenius) et conduit à doubler la vitesse de déplacement entre ces deux profondeurs ;*
 - *ainsi, les galeries sont fermées au bout de quelques années à 1000 m de profondeur mais seulement après environ 2 siècles à 500 m. Il s'agit d'une fermeture mécanique et non d'un « encapsulage », étanche d'un point de vue hydraulique (leur perméabilité ne sera pas négligeable) ;*
 - *en se basant sur quelques mesures locales d'affaissement rapportées par les MDPAs, la vitesse d'affaissement résiduel des terrains foudroyés est pratiquement constante et voisine de 1 cm/an, une dizaine d'années après l'exploitation. On en déduit une vitesse de compaction des terrains foudroyés de l'ordre de 0,1 à 0,2 % par an. Pour l'étude d'ennoyage, il convient de prendre en compte une vitesse de compaction de 0,1% par an, avant l'ennoyage.*
 - *Les phénomènes de fluage et de compaction résiduelle des terrains foudroyés demeurent importants, même à long terme (sur plusieurs siècles) et doivent être pris en compte dans les études de transport de la saumure et de polluants.*
3. **Concernant l'interaction entre le fluage et l'ennoyage, il convient de préciser :**
- *la durée de l'ennoyage dépend du volume des vides laissés par des anciennes exploitations de potasse, accessibles à l'eau. Ce volume comprend celui des terrains de foudroyage mais aussi la porosité cumulée provenant des pores et des fissures des terrains. L'hypothèse de 5 à 10% de vides résiduels, retenue jusqu'à présent, qui s'appuie sur une amplitude d'affaissement de 90% d'ouverture des tailles, nous semble justifiée à grande profondeur (1000 m) mais probablement surestimée, à l'échelle de l'ensemble de l'exploitation. L'ennoyage n'interviendra donc qu'à long terme, au bout de quelques siècles ; alors les ouvrages d'infrastructure seront fermés. Là encore, cette fermeture mécanique ne signifie pas pour autant que les anciens chantiers d'exploitation (tailles et ouvrages d'accompagnement ou d'infrastructure) seront étanches, d'un point de vue hydraulique. Leur perméabilité restera sans doute élevée, même en présence des faibles vides résiduels ;*
 - *la pression hydrostatique d'ennoyage, liée à la saumure et l'eau douce, fera diminuer considérablement le déviateur de contraintes dans les vides. Cet effet de « confinement » conduira à une diminution de la vitesse de fluage, de plus d'un ordre de grandeur ; elle sera voisine de 0,01 % par an, dans les terrains foudroyés, soit inférieure à 1 mm/an. C'est une vitesse très faible, non perceptible et non mesurable aujourd'hui (inférieure au bruit de fond).*

Ces éléments permettent aussi d'affirmer que :

1. **même si la compaction résiduelle sera très lente à long terme, le fluage constituera un moteur important de transport de fluides vers l'extérieur. Ce phénomène est donc à prendre en compte dans les études hydrogéologiques et de transport ;**

2. *les instabilités déjà observées à différents niveaux du toit (décollements), du mur (soufflage) et des piliers des galeries étant de nature à s'accroître dans le temps, la décision sur le devenir du stockage de StocaMine est à intervenir, dans les meilleurs délais. »*

Synthèse 12 : pièce [55] bibliographie DDA :

Etude hydrogéologique de l'ennoyage du site – DRS-10-108130-12810B

INERIS, mars 2011

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [55] :

Auteur : INERIS, Ph GOMBERT

Vérification : Olivier BOUR, Jean-Claude PINTE

Approbation : Mehdi GHOREYCHI

« 6.5.3 Conclusion sur les scénarios à prendre en compte, page 100/103 :

Si le site reste en l'état, c'est-à-dire sans barrières étanches, la saumure d'ennoyage percolera à travers le site de stockage et extraira la partie soluble des déchets qu'elle disséminera dans les 6 Mm3 de vides miniers sus-jacents. Ce premier scénario est basé sur l'épanchement de cette saumure potentiellement contaminée au débit de 3000 m3/an.

Dans l'hypothèse où des barrières sont mises en place et leur étanchéité est assurée à long terme, elles interdiront toute percolation d'eau à travers les déchets au moins pendant la phase d'ennoyage de la mine, d'une durée d'environ 3 siècles. Cette hypothèse revient à considérer que les barrières mises en place sont entièrement étanches. Une précaution supplémentaire serait de permettre le contournement du site de stockage par la saumure. Enfin, on peut imaginer des techniques de réduction des vides interstitiels au sein des déchets comme cela a été évoqué plus haut. Ces barrières multiples, conçues et réalisées avec soin et testées in situ, sont théoriquement de nature à interdire toute circulation d'eau contaminée et donc leur transport dans la nappe d'Alsace. Dans ce cas, l'impact en surface sera nul. En l'absence d'étude approfondie de cette solution, nous n'avons pas considéré une étanchéité parfaite du stockage qui sera difficile à obtenir notamment en raison de la dégradation des barrières et/ou d'une percolation lente d'eau à travers la zone endommagée qui les entoure. Cela pourrait alors induire une pénétration de saumure dans le site de stockage dont le volume résiduel de vides serait de l'ordre de 7000 m3. Le débit d'épanchement en surface serait alors de l'ordre de 0,7 m3/an de saumure potentiellement contaminée, diluée dans le débit précédemment calculé (3000 m3/an) de saumure non contaminée.

Enfin, ce débit pourrait être significativement réduit si la porosité des vides interstitiels des déchets peut être diminuée par des techniques adaptées. Une solution complémentaire pourrait consister à dimensionner les barrières pour retarder la percolation de la saumure jusqu'à la fermeture quasi-totale de la mine. »

Synthèse 13 : pièce [56] bibliographie DDA :

Evaluation du terme source dans le scénario du stockage illimité : calculs des quantités de contaminants stockés, et des concentrations potentielles en solution et en phase gazeuse en cas d'ennoyage - DRC-10-108130-12610B –

INERIS, novembre 2011

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [56] :

Rédaction : INERIS, Pierre HENNEBERT

Vérification : Jacques BUREAU

Approbation : Pierre TOULHOAT

« AVERTISSEMENT (page 3/67) :

Cette étude a fait l'objet d'un premier rapport intitulé " Evaluation du terme source dans le cadre d'un stockage pérenne : quantités de contaminants stockés, concentrations potentielles en solution et en phase gazeuse "référéncé INERIS DRC-10-108130-12610A, dont les résultats ont été présentés en janvier 2011 au Comité de pilotage mis en place par les Services de l'État. Il contenait des éléments d'information et de calcul basés sur une estimation globale des contaminants présents dans les déchets entreposés, estimation elle-même basée sur une moyenne estimée à partir des résultats d'analyses chimiques effectuées sur des échantillons dans le cadre de la démarche préalable liée à l'émission de Certificats d'Acceptation Provisoire par StocaMine à ses clients.

Ces résultats ne prenaient pas en compte la composition, ni la pondération associée, permettant d'affiner les calculs massiques de contaminants effectivement contenus dans chaque lot de déchets. Il en résultait une incertitude sur les calculs subséquents du terme source.

En avril 2011, StocaMine a demandé à l'INERIS de procéder à une saisie électronique de cette information qui n'était disponible que sous format papier. Après compilation et vérification par échantillonnage aléatoire des données nouvellement saisies, les informations par lot (masses et concentrations) ont pu être prises en compte dans les nouveaux calculs de masses de contaminants présentes au sein des déchets stockés.

Le présent rapport constitue l'actualisation de l'étude antérieure, dont le titre et la référence ont été adaptés en conséquence. Il annule et remplace toute autre version antérieure du rapport sur cette étude. »

Résumé étendu extrait de l'étude (pages 8 à 10) :

« Résumé étendu

Le devenir du stockage de déchets en mine de sel de la société StocaMine entre 1999 (début de l'exploitation) et 2002 (incendie en galerie conduisant à l'arrêt de l'exploitation) doit être évalué. Ce rapport vise à établir la quantité de contaminants présents dans le stockage, et la concentration en solution de ces contaminants susceptibles d'être présents dans et déplacés par d'éventuelles eaux d'ennoyage de la zone de stockage, ainsi que dans l'air souterrain en équilibre avec ces concentrations.

Les données disponibles sur la quantité et la composition chimique des déchets stockés à StocaMine ont été rassemblées. La quantité de chaque déchet est connue initialement globalement par certificat d'acceptation préalable (CAP), alors que la composition est connue par analyses de chaque lot ou arrivage. Les déchets regroupés sous un même CAP sont hétérogènes (les coefficients de variation (écart-type sur moyenne) par élément dépassent souvent 100 %). L'analyse semi-quantitative par fluorescence X contribue à cette variabilité. Le calcul des quantités par BMG en 2004 a utilisé des hypothèses non clairement explicables. Dans un premier temps, les quantités de contaminants stockés par CAP ont donc été recalculées par multiplication des masses stockées par CAP par les concentrations moyenne de l'ensemble des lots d'un CAP (tableau ci-dessous, quantité INERIS1). Dans un deuxième temps, la quantité de chaque déchet par lot fut disponible, et les quantités de contaminants stockés ont été calculées par multiplication des concentrations de chaque lot par la masse de chaque lot, ce qui représente un calcul plus exact. Dans un troisième temps, la masse des palettes, fûts et plâtre a été soustraite des déchets de classe 0 pour obtenir la masse nette de déchets (tableau ci-dessous, quantité INERIS2). Les quantités trouvées sont, selon les éléments, égales ou légèrement inférieures au calcul par CAP (cas du mercure).

Le potentiel de lixiviation des contaminants présents dans les déchets stockés a été estimé selon deux scénarii de potentiel d'ennoyage. Les volumes d'eau d'ennoyage ont été estimés par l'INERIS à 6,2 Mm³ (scénario en l'absence de barrières) et à 7 000 m³ (scénario en présence de barrières) (INERIS 2011).

Une première approche par excès consiste à considérer que la totalité des contaminants stockés sont dissous dans l'eau d'ennoyage (colonnes « mise en solution totale » dans le tableau ci-dessous). Les données de laboratoire de fraction soluble des déchets auraient pu être utilisées mais ne sont disponibles que pour des lots non stockés. Une deuxième approche plus réaliste, retenue par l'INERIS, a consisté à évaluer, par calcul géochimique de la concentration à l'équilibre avec des phases minérales secondaires, en admettant une mise en solution totale des déchets, la composition potentielle de l'eau d'ennoyage présente dans l'environnement périphérique immédiat du massif de déchets (colonnes « calcul géochimique » du tableau ci-dessous).

Tableau 1 : Quantités et concentrations des contaminants du stockage StocaMine selon BMG et l'INERIS

Contaminants	Quantité selon calculs BMG (base: concentrations diverses X masse CAP)	Quantité selon calculs INERIS 1 (base: concentration moyenne des lots X masse CAP)	Quantité selon calculs INERIS 2 (base: concentration lot X masse nette lot)	Conc ^{on} après mise en solution totale 6,2 10 ⁶ m ³ (qté : INERIS2)	Conc ^{on} après mise en solution totale 7 000 m ³ (qté : INERIS2)	Conc ^{on} selon calcul géochimique 6,2 10 ⁶ m ³ (qté : INERIS1)	Conc ^{on} selon calcul géochimique 7 000 m ³ (qté : INERIS2)
	tonnes	tonnes	tonnes	g/L	g/L	g/L	g/L
As	2566	1 231	1199	0.193	171.27	0.010	1.54E-02
Ba	-	257	192	0.031	27.39	1.06E-06	2.30E-07
Cd	138	32	30	0.0048	4.23	0.00150	1.54E-03
Cr	131	51	48	0.008	6.88	0.0091	7.07E+00
Cu	115	89	88	0.014	12.56		1.93E-07
Hg	47	78	53	0.0085	7.52	0.012	7.52E+00
Mo	-	15	11	0.0017	1.53		
Ni	71	39	33	0.0054	4.76	3.05E-07	3.05E-07
Pb	237	231	214	0.035	30.64	4.35E-07	4.53E-07
Sb	107	83	79	0.013	11.32	0.0134	1.89E-01
Se	-	3	0.87	0.0001	0.12		
Zn	351	296	296	0.048	42.35		
Cyanures	159	5.18	4.73	0.0008	0.68	8.3E-04	6.80E-01
Total	3924	2 410	2 249	-	-	-	-

Les quantités évaluées par l'INERIS comportent une incertitude estimée à 50 %.

Des simulations d'équilibre d'une eau de composition connue en équilibre à 35 °C température du massif au niveau de StocaMine) avec le sel et en présence de gypse (ajouté comme desséchant à certains déchets) à pH 8.8 et 11.8 (calculé à partir des données de laboratoire) ont été menées en utilisant le logiciel Visual MINTEQ v3.0 et la base de données MINTEQ v3.0. Pour une eau de composition donnée, la thermodynamique à l'équilibre prévoit que la concentration en solution de chaque élément est fixée par le produit de solubilité de la phase solide contenant cet élément la moins soluble. Si le produit de solubilité de la phase la moins soluble n'est pas atteint, alors l'élément ne précipite pas. Une base de données spécifique aux conditions salines (Pitzer), conditions qui prédominent dans la situation présente, ne comporte malheureusement pas tous les contaminants d'intérêt dans le cadre du stockage StocaMine, et n'a donc pas pu être exploitée.

Les calculs ont été menés pour les volumes correspondant aux deux scénarios envisagés, avec les quantités calculées par masse des lots. Les concentrations maximales calculées (avec la quantité obtenue par les masses par lot) pour le volume de 6 200 000 m³ sont de 0.120 g Hg/L, 0.0091 g Cr/L et 0.0134 g Sb/L. Pour le volume de 7 000 m³, les concentrations calculées (avec les quantités obtenues par les masses nettes par lot) sont de 7.52 g Hg/L, 7.07 g Cr/L et 0.189 g Sb/L. Ces concentrations multipliées par le flux de saumure sortant du stockage en l'absence et en présence de barrières représentent donc la base du calcul de flux de contaminants qui sera émis en phase liquide par le stockage en l'absence et en présence de barrières.

Des mesures étendues de concentrations dans l'air de la mine ont montré un léger dégazage des déchets, mais sans que des signes d'activité biologique n'aient pu être mis en évidence. La possibilité

d'émission de contaminants dans l'air de composés réduits comme l'arsine (AsH₃) et le mercure métallique gazeux (Hg⁰) semble donc a priori faible, comme le supposait BMG. La concentration potentielle d'acide cyanhydrique (HCN_g) estimé à partir des cyanures libres (dosés par le laboratoire) et de leur complexation avec les métaux des déchets, et en tenant compte du pH, est estimée à 1.6 10⁻³ mg/m³ d'air pour le scénario sans barrière (6 200 000 m³) et 2.8 10⁻⁶ mg/m³ d'air pour le scénario avec barrières (7 000 m³). L'émission de phénols (composés aromatiques C₆H₅-OH) ne peut être estimée.

En conclusion: les quantités des contaminants stockés ont été recalculées d'une part à partir des masses stockées indiquées sur les certificats d'acceptation préalable (CAP), et de la teneur moyenne en contaminants calculée à partir des analyses des lots stockés correspondant à chaque numéro de CAP, et d'autre part par les masse des lots (corrigée des palettes, fûts et plâtre) et les teneurs des lots. Les teneurs en contaminants sont cependant très variables pour un même déchet. Les quantités de contaminants calculées sont utilisables pour évaluer le terme source ; les ordres de grandeur de solubilité des contaminants stockés (calcul à partir des masses par CAP), calculés par équilibre géochimique, aboutissent à des concentrations à l'équilibre autour de 1 mg/L de Cd, entre 10 et 100 mg/L de Hg, Cr et Sb pour le scénario en l'absence de barrière (ennoyage dans 6 200 000 m³) et à des concentrations de 1 mg/L de Cd, entre 1 et 10 g/L de Hg, Cr et Sb pour le scénario en présence de barrière (ennoyage dans 7 000 m³); les concentrations actuelles dans l'air de l'atmosphère du stockage n'ont pas montré de traces d'activité biologique, mais présentent des signes de légère activité chimique. Après ennoyage, l'émission de composés créés en atmosphère réductrice (AsH₃, Hg⁰) semble donc peu probable, comme le concluait BMG. Les concentrations en acide cyanhydrique gazeux HCN_g après ennoyage, estimées à partir des concentrations de cyanures libres, du pH du stockage et de la complexation par les métaux atteindraient entre 10⁻³ et 10⁻⁶ mg/m³ d'air. »

Synthèse 14 : pièce [62] bibliographie DDA :

Modélisation d'une fuite de saumure à partir du site de stockage souterrain de StocaMine : simulation d'un 5ème scénario (RP-60256-FR)

BRGM, octobre 2011

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [62] :

Auteurs : BRGM, N. AMRAOUI, E. BUSCARLET et D. THIERY

Vérification : M. BARTHELEMY

Approbation : M. MIDOT

Avertissement au lecteur :

Il s'agit d'une modélisation de fuite de saumure, soit page 28 : « *l'injection de saumures saturées à 350 g/L dans les mailles représentant les puits de mine, dans la couche inférieure du modèle régional (couche 3 pour les puits Joseph, Else, Amélie 1 et 2 et couche 2 pour le puits Max) au débit de fuite considéré. La simulation du transport de saumure en régime transitoire est faite sur une période de 10 000 ans.* »

Cette modélisation a été utilisée par l'INERIS, voir synthèse 16, objet de l'étude point 4 : « *l'évaluation des concentrations en contaminants passant par l'extrados des puits de la mine Amélie et dilués dans la nappe d'Alsace. Cette dernière étape s'appuie sur la modélisation de transfert réalisée par le BRGM* ».

Synthèse, page 3 du rapport, EXTRAITS :

« *Quatre scénarios d'épanchement de saumure par les puits de mine en fin d'ennoyage de la mine de potasse et du site de StocaMine ont été modélisés en 2010. L'évolution du panache de saumure dans la nappe alluviale a été simulée en régime transitoire sur une durée de 1000 à 1500 ans selon les scénarios.*

La présente étude a pour objectif la modélisation d'un cinquième scénario de fuites de saumures proches de la saturation par 5 puits de mine (Joseph, Else, Amélie 1 et 2, et le puits Max). Le but est de déterminer, à l'échelle régionale, le devenir de ces saumures dans la nappe alluviale en simulant l'extension du panache de pollution à moyen terme (100 ans), long terme (1000 ans) et très long terme (10 000 ans).

Le modèle régional de gestion de la pollution saline de la nappe alluviale d'Alsace, mis au point par le BRGM en 2005, a été utilisé pour simuler l'évolution, dans la nappe alluviale, du panache de saumure issu des fuites par les puits de mine. Ce modèle hydrodynamique multicouche inclut dans sa partie la plus détaillée le site de StocaMine ; il permet de simuler le transport d'un panache de pollution s'étendant à l'aval hydraulique des fuites.

La simulation du transport de la saumure dans la nappe a été réalisée en régime transitoire sur une durée de 10 000 ans. Des simulations supplémentaires ont été réalisées pour déterminer la contribution de chacun des 5 puits dans le panache de saumure.

Des cartes de panache de saumure dans les 3 couches du modèle régional (représentant du haut en bas les alluvions récentes, les alluvions anciennes et les alluvions basales) ont été calculées à moyen terme, à long terme et à très long terme. »

Conclusions page 49 :

« Le devenir des fuites de saumure émises par les puits de mine dans la nappe alluviale d'Alsace a été modélisé en utilisant le modèle régional de gestion de la pollution saline de la nappe alluviale d'Alsace mis au point par le BRGM en 2005 (Noyer et al. 2005).

Un scénario d'épanchement de saumure a été modélisé, en considérant un débit de fuite dans les 5 puits amont Joseph, Else, Amélie 1 et 2, Max, pendant 10 000 ans. La simulation a été réalisée sans prendre en compte les effets densitaires.

Les concentrations en saumure sont maximales au bout de 10 ans de simulation, dans la couche basale du modèle, parce que la fuite est supposée se produire en fond de puits.

La contribution de chaque puits au panache global a été estimée à l'aide d'une simulation multi-source. »

Synthèse 15 : pièce [67] bibliographie DDA :

Estimation de la convergence du sondage W3 et des trous de dégazage au toit du stockage de StocaMine – DRS-11-108130-10474A

INERIS, 5 octobre 2011

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [67] :

Auteurs : F. LAOUAFA

Vérification : J.C. PINTE/ M. GHOREYCHI

Approbation : M. GHOREYCHI

Objectifs de l'étude page 5 du rapport :

« L'étude géomécanique présentée dans ce rapport complète des études déjà réalisées par l'INERIS pour le compte de StocaMine sur l'évaluation des risques liés aux deux principaux scénarios suivants :

- a- le stockage illimité des déchets industriels disponibles au fond ;
- b- le déstockage partiel ou total de ces déchets et leur transport et restockage dans d'autres sites.

L'étude retranscrite dans ce rapport, porte plus particulièrement sur le comportement de deux orifices verticaux :

1. le sondage (W3) de 8,5 pouces de diamètre (21,6 cm) ;
2. les forages verticaux de dégazage de 4 cm de diamètre forés au toit du stockage.

L'objectif est d'étudier si ces derniers peuvent constituer des voies de circulation potentielle pour la saumure contaminée après l'ennoyage du stockage de déchets. Plus précisément dans quelle mesure ces sondages peuvent mettre en communication la zone de stockage et le niveau inférieur de la couche de potasse exploitée, au-dessus du stockage.

Cette étude a pour objectif de déterminer la convergence et son évolution dans le temps pour ces deux orifices, ou plus précisément de quantifier leur vitesse de fermeture et leur configuration géométrique à moyen et long termes¹. L'objectif est de vérifier si ces sondages sont fermés avant l'ennoyage du stockage. Dans le cas contraire, quel est leur impact sur le transport éventuel de polluants, dans les différentes hypothèses liées à la nature du remplissage et de leur traitement. »

Conclusions EXTRAITS page 20 :

« Or, au vu des résultats de la présente étude, des préconisations complémentaires sont formulées. Elles sont résumées comme suit :

- 1- tenter une localisation précise du sondage W3, autant que possible ;
- 2- vérifier ensuite, si possible, l'état du matériau de remplissage de ce sondage ;

3- traiter, autant que possible, le sondage, en cas d'un remplissage par un matériau non consolidé (état de boue) ;

4- en cas d'impossibilité de cette vérification et ce traitement, mettre en place une barrière à faible perméabilité (proche de 10-19 m2) autour du plier traversé par le sondage ;

5- pour arrêter la descente progressive du toit et la progression du décollement des bancs, prévoir un remblayage des blocs 16 à 26, non remplis par les déchets.

Des précautions devront alors être prises pour ces travaux étant donné le mauvais état de stabilité des blocs 15 à 26, très affectés par le décollement du toit stratifié de ce secteur non rempli par les déchets.

En ce qui concerne les trous de dégazage, dans la mesure où ils débouchent dans l'horizon marneux du toit, une distance de garde sépare leur extrémité et le niveau exploité. C'est une condition indispensable qui doit être vérifiée par StocaMine, autant que possible. En effet, compte tenu du nombre élevé de trous de dégazage qui seraient vraisemblablement présents également au toit du stockage, l'absence éventuelle d'une zone imperméable entre le fond du trou de dégazage et le niveau d'exploitation (trou traversant tout le toit du stockage) constituerait une voie de transfert prépondérante de produits contaminés.

La contribution de chaque puits au panache global a été estimée à l'aide d'une simulation multi-source. »

Synthèse 16 pièce [69] bibliographie DDA :

Impact potentiel du stockage sur la ressource en eau dans le cadre du scénario de stockage illimité – DRC-12-108130-00744B

INERIS, 19 avril 2012

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [69] :

Auteurs : F. QUIOT

Vérification : P. GOMBERT et B. HAZEBROUCK

Approbation : M. GHOREYCHI

Objet de l'étude page 11 du rapport :

« L'étude présentée dans ce rapport a pour objet d'évaluer l'impact du stockage illimité de déchets de StocaMine sur la nappe d'Alsace ».

« La présente étude comporte 4 étapes :

1. la prise en compte des résultats des travaux sur le terme source réalisés par l'INERIS [2], en particulier les concentrations en polluants calculées dans le stockage en présence de barrières ouvragées à base d'argiles gonflantes. Ce calcul est basé sur la totalité des 44000 tonnes de déchets actuellement stockés ;
2. l'évaluation de la fuite possible de saumure contaminée à travers ces barrières sous l'effet de la convergence des galeries du stockage provoquée par le phénomène de fluage du sel ;
3. l'évaluation de la concentration en contaminants diluée dans la saumure « non contaminée » provenant de la compaction des terrains foudroyés ;
4. l'évaluation des concentrations en contaminants passant par l'extrados des puits de la mine Amélie et dilués dans la nappe d'Alsace. Cette dernière étape s'appuie sur la modélisation de transfert réalisée par le BRGM [8].

Les panaches, page 54 :

« Les panaches de pollution calculés dans le cadre du calcul de référence pour le mercure sont illustrés ci-après. Ces cartes présentent les concentrations obtenues dans le cas d'un épanchement à 1000 ans à partir des 5 puits de la mine Amélie pour les 3 couches du modèle. Il apparaît que sur l'ensemble de la zone d'étude, seule la concentration calculée en couche inférieure sur le puits Amélie 1 dépasserait légèrement 0,1 µg/L (avec 0,104 µg/L). Ces trois illustrations intègrent également l'évolution des concentrations calculées le long d'un profil pour ce qui concerne le mercure dans 1000 ans et l'ion chlorure dans 300 ans. En effet, le cas de l'ion chlorure est ici introduit afin de vérifier le non-dépassement du seuil réglementaire actuel de 250 mg/L suite à l'épanchement de saumure non contaminée (seuil de potabilité, cf. Annexe 2) dès le début de ce phénomène, c'est à dire dans approximativement 300 ans.

L'évolution de la teneur en chlorures illustrée le long d'un profil W/NE ci-après, également reportée en Annexe 3, ne met pas en évidence de dépassement de ce seuil réglementaire dans le cadre du scénario de référence (valeur maximale calculée : 156 mg/L au puits Max en couche 2). Toutefois, compte-tenu des incertitudes associées à la démarche suivie (incertitudes inhérentes à toute prédiction sur d'aussi grandes échelles de temps), dans approximativement 300 ans, une dégradation de la qualité des eaux dans la zone des puits, liée à l'ion chlorure et en particulier au puits Max, ne peut être totalement exclue. »

Figures 12 page 55 : Carte du panache de mercure dans la couche supérieure du modèle dans le scénario de référence (sortie à 1000 ans, épandement par 5 puits) et profils d'évolution des concentrations d'amont vers l'aval pour le mercure (1000 ans) et les chlorures (300 ans)

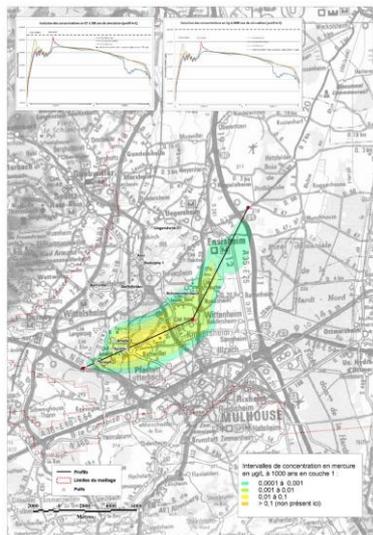


Figure 13, page 56 : Carte du panache de mercure dans la couche intermédiaire du modèle dans le scénario de référence (sortie à 1000 ans, épandement par 5 puits) et profils d'évolution des concentrations d'amont vers l'aval pour le mercure (1000 ans) et les chlorures (300 ans)

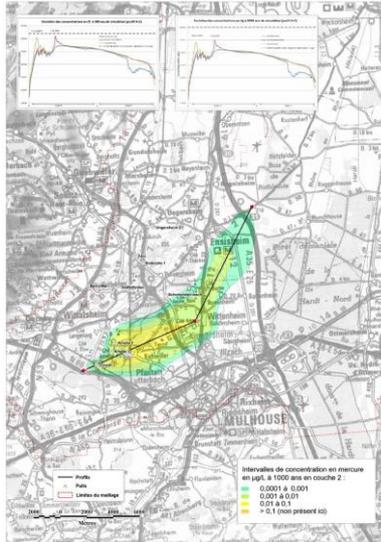
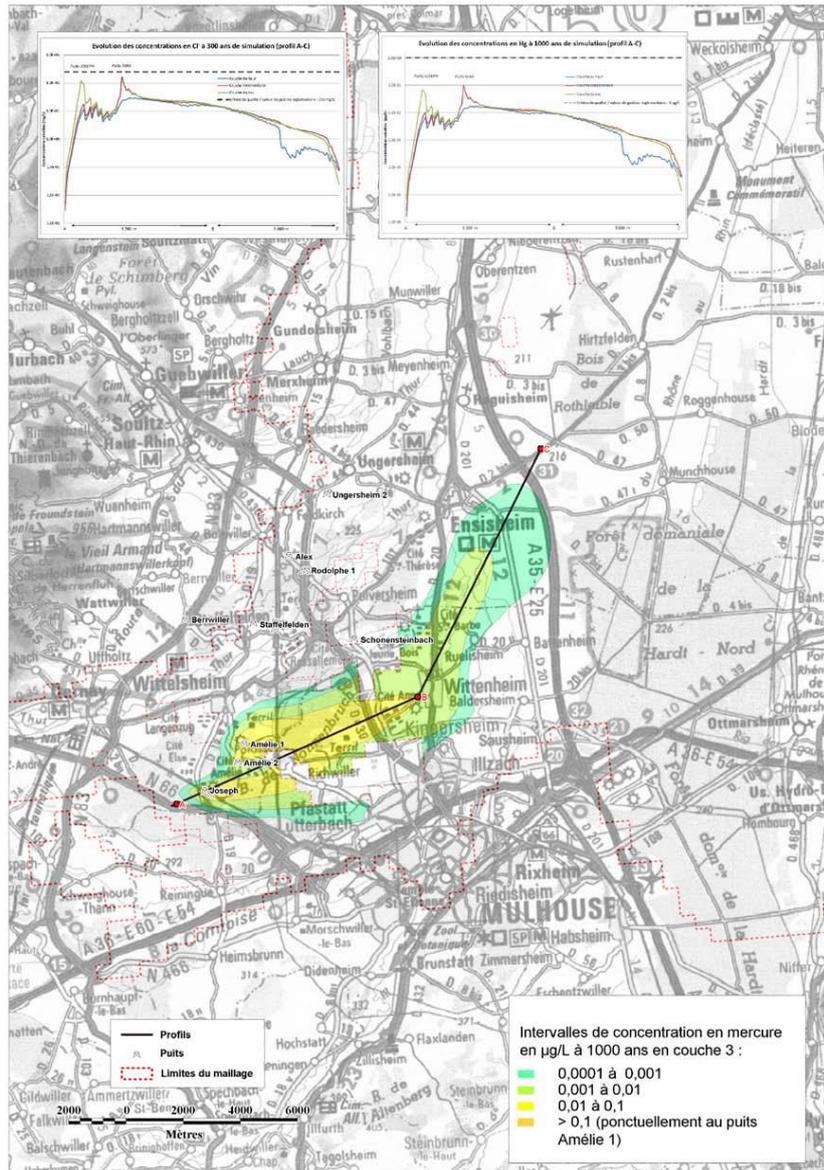


Figure 14 : Carte du panache de mercure dans la couche inférieure du modèle dans le scénario de référence (sortie à 1000 ans, épanchement par 5 puits) et profils d'évolution des concentrations d'amont vers l'aval pour le mercure (1000 ans) et les chlorures (300 ans)



Synthèse 17 pièce [71] bibliographie DDA :

Impact potentiel du stockage sur la santé des populations (hors travailleurs) dans le cadre du scénario de stockage illimité, tenant compte des impacts potentiels sur la ressource en eau et le milieu air extérieur - DRC-12-108130-00306C

INERIS, février 2012

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [71] :

Auteur : C. HULOT

Vérification : C. BOUDET M. RAMEL

Approbation : M. GHOREYCHI

RESUME INTEGRAL figurant dans le rapport, pages 7 à 10 :

« Dans le cadre du scénario de stockage illimité des déchets à StocaMine, cette étude a pour objet d'évaluer son impact sur la santé des populations riveraines (hors travailleurs), en tenant compte de l'étude sur l'impact potentiel du stockage sur la ressource en eau et de l'étude de l'impact potentiel du stockage sur le milieu air extérieur.

Une recherche d'éléments complémentaires à ceux préexistants a été nécessaire, notamment concernant les sources potentielles de contamination, les vecteurs et les milieux de transfert, les milieux d'exposition pour la santé des populations humaines hors travailleurs et les enjeux.

Les études complémentaires réalisées concernant le terme source, le contexte géomécanique et le contexte hydrogéologique ont ainsi conduit à considérer de manière itérative différentes hypothèses plus particulièrement concernant le phénomène d'ennoyage et la mise en place de barrières, avec in fine le choix d'un « scénario de référence » avec barrières.

Dans le cadre du projet de stockage pour une durée illimitée des déchets, ces derniers n'impactent potentiellement la qualité des milieux que s'ils peuvent migrer vers l'environnement de surface (ouvrages miniers, air extérieur, nappe phréatique, eau superficielle, etc.). Les principaux impacts à étudier à court, moyen et long terme (cf. au regard notamment d'expositions chroniques des populations humaines) sont donc les impacts chimiques en cas de remobilisation et de sortie des polluants vers la surface.

L'étude relative à l'impact potentiel du stockage sur la ressource en eau dans le cadre du scénario de stockage illimité a été réalisée sur la base de concentrations attendues sous forme dissoute suite à l'ennoyage total des déchets de StocaMine en présence de barrières (rapport INERIS [Réf. - 21]). Le « scénario de référence » retenu dans l'étude ne considère in fine en termes d'impact que le cas d'une expulsion à long terme de la saumure polluée à travers les barrières dans la nappe d'Alsace. Cependant, en ce qui concerne l'étude de l'impact potentiel du stockage sur le milieu air, nécessaire également pour l'étude de l'impact potentiel sur la santé des populations (hors travailleurs), outre cette période de temps précitée, les périodes antérieures, à plus court terme, en particulier précédant la mise en place des barrières, sont également à considérer.

Les différents « scénarios » étudiés pour l'étude de l'impact potentiel du stockage sur le milieu air pris en compte pour l'étude d'impact potentiel sur la santé des populations ont été :

« Scénario 1 » : court terme

Il concerne la période couvrant les quelques années à venir (une dizaine d'année), avant la mise en place des barrières et des bouchons non encore réalisés pour les puits Joseph et Else, avec poursuite de la ventilation contrôlée du site de StocaMine au puits Else (sans modification potentielle au regard des futurs travaux de mise en place des barrières), et en considérant l'absence de corrosion significative des fûts.

« Scénario 2 » : moyen terme

Il concerne une période de temps qui débute après la mise en place des barrières, et avec un ennoyage partiel de la zone de stockage des déchets, ce qui notamment ne conduira pas à certaines réactions chimiques comme la complexation des cyanures par les métaux.

« Scénario 3 » : long terme

Il concerne une période de temps après la mise en place des barrières et l'ennoyage total de la zone des déchets, avec dissolution des déchets et réactions chimiques comme notamment la complexation des cyanures par les métaux.

L'étude de l'impact potentiel du stockage sur le milieu air extérieur a comporté les étapes suivantes :

- La prise en compte des données actuellement disponibles relatives : à la définition des concentrations de l'environnement local témoin, à un potentiel dégazage des déchets, à la présence d'activités biologique ou chimique, au regard des concentrations mesurées en espace de tête des fûts lors de l'acceptation des déchets, dans l'air au sein du stockage (dont la campagne de prélèvements d'air du 24 février 2010 réalisée par l'INERIS), et en sortie du stockage. Ces données sont nécessaires au regard des concentrations de l'environnement local témoin, premier critère de comparaison de mise en évidence d'un impact potentiel du stockage sur la qualité du milieu air ;
- La prise en compte des résultats des travaux sur le terme source réalisés par l'INERIS, en particulier les concentrations en polluants sous forme gazeuse calculées dans le stockage en présence de barrières ouvragées à base d'argiles gonflantes et avec l'ennoyage total des déchets prenant en compte les 44000 tonnes de déchets actuellement stockés ;
- L'évaluation de la concentration des polluants sous forme gazeuse au sein du stockage, à différentes époques de temps avant et après la mise en place des barrières précitées, avec comme concentrations du terme « source » les mesures de 2010 de la campagne de l'INERIS de caractérisation de l'air en fond de stockage pour le scénario 1, pour le scénario 2, celles mesurées en tête de fût lors de l'acceptation des déchets et, pour le scénario 3, celles estimées par l'INERIS par modélisation après ennoyage total des déchets et complexation ;
- L'évaluation des fuites possibles en surface des polluants sous forme gazeuse du stockage, à différentes époques de temps avant et après la mise en place des barrières précitées ;

- *L'évaluation des concentrations en contaminants dans l'air extérieur au droit des zones de promenades à proximité du site de StocaMine (puits Else) et en limite des zones de servitudes mises en place au droit des anciens puits miniers avant et après la mise en place des barrières.*

En conclusion, il apparaît que les concentrations estimées dans l'air extérieur sont pour certaines substances inférieures à celles de l'environnement local témoin, dans la gamme ou supérieures à ces dernières :

- *Dans le cas du scénario 1, la concentration en éthylbenzène est dans la gamme des concentrations de l'environnement local témoin (en soulignant à nouveau, que la concentration du terme source est issue d'analyses qualitatives dont les résultats ne correspondent donc qu'à un ordre de grandeur), et dans le cas de l'acide cyanhydrique, la concentration est légèrement supérieure. Pour les autres substances, aucune valeur n'est disponible au regard de l'environnement local témoin et/ou des valeurs de gestion ;*
- *Dans le cas du scénario 2, la concentration en acide cyanhydrique est également légèrement supérieure à celle de l'environnement local témoin. De même que mentionné pour le scénario 1, pour certaines substances aucune donnée n'est disponible dans l'environnement local témoin, ni dans la littérature, c'est notamment le cas du mercure élémentaire, de l'arsine. En outre, pour ces dernières, aucune valeur de gestion réglementaire dans l'air n'est disponible ;*
- *Dans le cas du scénario 3, qui ne concerne in fine que deux substances, la concentration en acide cyanhydrique est nettement inférieure l'environnement local témoin, et celle de mercure élémentaire est extrêmement faible, en rappelant pour cette dernière l'absence de données dans l'environnement local témoin.*

Au regard de ces résultats, et tenant compte des diverses incertitudes (liées notamment au terme source, aux flux arrivant en surface, à la dispersion atmosphérique) et malgré de nombreux choix de valeurs conservatoires lors des modélisations, il s'est avéré nécessaire de conduire une évaluation des risques sanitaires pour les populations pour statuer sur l'impact de ces substances, notamment pour le mercure élémentaire et l'acide cyanhydrique.

Quant à l'étude relative à l'impact du stockage sur la santé des populations (hors travailleurs), elle a comporté les étapes suivantes :

- *L'élaboration du schéma conceptuel sur la base des résultats, conclusions et recommandations de l'étude sur l'impact potentiel sur la ressource en eau et de ceux sur l'étude de l'impact potentiel sur le milieu air extérieur. Le schéma conceptuel intègre le terme source, les vecteurs de transfert/voies de transfert et d'exposition, et les enjeux (populations humaines hors travailleurs, ressources en eau, etc.) ;*
- *Les 4 étapes classiques d'une évaluation quantitative des risques sanitaires – EQRS - qui sont, l'évaluation de la toxicologie des substances considérées, l'évaluation des expositions, l'évaluation des risques, avec l'étude des incertitudes liées à chacune de ces étapes.*

Les résultats de l'évaluation des risques pour la santé humaine des populations présentes dans la dizaine des prochaines années (scénario 1) et dans le futur à plus long terme après la mise en place des barrières et l'ennoyage des déchets (scénarios 2 et 3) fréquentant respectivement les zones de promenade à proximité du site de StocaMine (puits Else) ou en limite des zones de servitudes mises en œuvre au droit des anciens ouvrages, montrent que :

- *Les concentrations « estimées/modélisées » dans l'air extérieur n'engendrent pas de risque sanitaire en lien avec la voie inhalation de vapeur en extérieur (le quotient de danger global lié*

aux effets à seuil et l'excès de risque global lié aux effets sans seuil ne dépassant pas leur valeur seuil respective, inférieur d'un et trois ordres de grandeur),

- *Les concentrations attendues en phase dissoute dans la nappe et les eaux de surface en lien avec le stockage, n'engendreraient pas de dégradation de la qualité de la ressource en eau au regard des critères actuellement disponibles, tenant compte également de certaines incertitudes.*

Cette étude d'évaluation quantitative des risques sanitaires a été réalisée en suivant une démarche conservatoire lors du déroulement de chacune de ses étapes. Cela a été conduit par le biais de nombreux choix de valeurs de paramètres conservatoires (concentrations maximales pour le terme source, des paramètres majorants pour l'estimation de la dispersion atmosphérique comme ceux relatifs aux conditions météorologiques ou environnementales, des paramètres majorants d'exposition des populations, comme les durées de fréquentation des zones, etc.).

Pour ce qui concerne le scénario 1 relatif à la période actuelle et la dizaine d'années à venir, malgré l'évaluation des risques sanitaires indiquant que ces derniers sont inférieurs aux seuils (d'un ordre de grandeur pour les effets à seuil et de trois ordres de grandeur pour les effets sans seuil), il est recommandé les étapes suivantes afin de préciser l'impact sanitaire potentiel de ce scénario : la réalisation de mesures des concentrations en sortie du puits Else pour une liste de paramètres chimiques adaptée, et au regard des résultats, de réaliser une modélisation de la dispersion avec le modèle ADMS avec notamment des paramètres relatifs aux conditions météorologiques spécifiques au site afin d'estimer les concentrations d'exposition des populations au droit des zones étudiées. Et en cas de besoin, des campagnes de mesures des concentrations d'exposition au droit de ces zones seront à conduire.

En outre, la prise en compte d'incertitudes a été intégrée, incertitudes qui ne sont pas de nature à modifier les conclusions.

Il est également à rappeler que ces estimations sont établies sur un certain nombre d'hypothèses, et sur l'état des connaissances scientifiques actuelles.

Les hypothèses retenues concernent en particulier le recours à des restrictions d'usages de l'eau souterraine autour des 5 puits de la mine Amélie dans un rayon qui devra être précisé par une étude spécifique, et la mise en place de servitudes au droit des puits miniers interdisant notamment la construction de bâtiments (dont les périmètres seront potentiellement à revoir) ou l'exploitation de puits privés.

En outre, un plan de surveillance des milieux eau et air sera à élaborer, tenant compte notamment d'une liste de paramètres chimiques plus adaptée et plus complète qu'actuellement.

Synthèse 18 pièce [72] bibliographie DDA :

Moyens de maîtrise des risques dans l'option de stockage illimité à StocaMine– Ineris-DRS-12-108130-01167C

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [72] :

Auteurs : J.C. PINTE

Vérification : P. GOMBERT

Approbation : M. GHOREYCHI

Contexte de l'étude pages 5 et 6 du rapport :

« L'INERIS a réalisé, pour le compte de StocaMine, de nombreuses études comportant trois phases :

- 1- la comparaison des différents scénarios du devenir des déchets de StocaMine [68] ; cette partie a montré que la solution de stockage illimité avec barrières à très faible perméabilité présentait l'impact minimum pour l'homme et l'environnement selon les risques identifiés ;
- 2- une étude plus approfondie du scénario présentant le moindre d'impact environnemental et sanitaire ;
- 3- l'élaboration des pièces techniques du dossier de demande de stockage illimité des déchets ultimes stockés à Wittelsheim.

Le bilan écologique, annexe 4 du dossier, doit préciser les mesures envisagées pour supprimer, réduire et, si possible, compenser les conséquences dommageables du projet sur l'environnement et la santé ainsi que les dépenses correspondantes. Ce rapport en présente les aspects techniques, les coûts correspondants seront précisés dans le dossier. »

Champs concernés :

Les barrages

Les sondages

Les barrages en phase ennoyage

Remblayage des blocs vides

Fermeture des puits Joseph et Else

Suivi de l'ennoyage

Suivi après travaux

Moyens d'intervention

Servitudes et restrictions d'usage autour des puits

Synthèse 19 : pièce [78] bibliographie DDA

Stockage de Wittelsheim, étude de l'évolution de la perméabilité du sel (13R-016/A3)

ITASCA, 16 septembre 2013

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [78]

Auteur : CAMUSSO Marco, CATALANO Emanuele

Vérification : BILLAUX Daniel

Approbation : BILLAUX Daniel

Conclusion intégrale pages 64 et 65

« L'objectif de cette étude était la prédiction de l'évolution de la perméabilité du sel autour des barrages en bentonite du site de stockage de Wittelsheim. En effet, les résultats de la première étude réalisée par ITASCA en début 2013 pour l'évaluation des flux potentiels de saumure contaminée a été fait en considérant comme imperméable le sel entourant les excavations, dans l'attente des résultats d'une campagne de mesure en cours. Ces mesures étant maintenant disponibles, StocaMine a demandé à ITASCA de se pencher sur l'évolution de la perméabilité du sel au voisinage de la galerie, à la fois dans l'espace (jusqu'où se propage l'endommagement ?) et dans le temps (y a-t-il « cicatrisation » de la perméabilité induite lors du re-confinement des matériaux à long terme ?).

Initialement nous avons réalisé une étude bibliographique pour définir une loi vraisemblable de variation de la perméabilité du sel avec la contrainte qu'il subit. Cette étude nous a amenés à la formulation de Stormont, qui a été mise au point spécifiquement pour le sel endommagé. Dans ce cas, la perméabilité est déduite à partir de la variation de la contrainte ainsi que d'un jeu des paramétrés comprennent la perméabilité et la porosité initiale du sel, la compressibilité des pores et un terme liant la porosité à la perméabilité.

Une fois ce point acquis, nous avons calé les paramètres de la loi en nous basant sur les résultats de la campagne de mesure de la perméabilité. Celles-ci présentent une dispersion marquée, typique des données expérimentales. Cependant, elles montrent généralement des valeurs de l'ordre de 10^{-14} m^2 près de l'excavation pour tous les forages sauf ceux réalisés dans les piliers entre deux galeries parallèles. Dans ce cas, les valeurs sont nettement plus faibles en raison de l'état de compression auquel le sel des piliers est soumis. Le calage réalisé permet de reprendre ces deux aspects. Il utilise un modèle 2D des trois sites de mesure pour obtenir les variations de contrainte moyenne au droit des mesures. En cohérence avec les études de Stormont, nous avons considéré une valeur minimale de perméabilité du sel cicatrisé égale à la valeur de la perméabilité initiale du sel (10^{-21} m^2). Cette valeur est confirmée par les mesures de IBeWa qui montrent des perméabilités inférieures à $10^{-21} - 10^{-23} \text{ m}^2$ à une distance de plus de 3 mètres de la paroi de la galerie. De fait, nous avons introduit un seuil inférieur à la variation de la perméabilité, en-deçà de laquelle la perméabilité ne peut pas descendre, même pour un état de contrainte supérieur à l'état initial du sel vierge.

Une fois la loi calée au sel de Wittelsheim, nous avons mis en œuvre des modèles 3D permettant de suivre l'évolution de la contrainte autour des barrages. Trois modèles ont été considérés, pour des barrages situés au droit des trois sites de mesure de la perméabilité. Il s'agit d'un modèle de barrage simple et de deux modèles de barrages doubles. Les barrages sont mis en place après un temps de

fluage de 10 ans et ils se composent d'un noyau en bentonite de 6 m de longueur confiné le long de l'axe du tunnel par une longueur de 6 m de béton et, en série, par une longueur de 10 m de havrit de sel. La partie en bentonite est composée par un assemblage de blocs préfabriqués de type FS 50 (50% de bentonite et 50% de sable). Leur comportement mécanique est simulé avec un modèle de Mohr-Coulomb, dont les propriétés ont été reprises d'une étude faite sur des blocs FS 40 (60% de bentonite) pour le confinement des déchets radioactifs. L'étude a principalement montré que :

- *L'excavation de la galerie et le fluage sur une période de 10 années engendrent une augmentation de la perméabilité jusqu'à une valeur de 10^{-14} m² près des parois du tunnel. En s'éloignant de la paroi, la perméabilité redescend de façon linéaire dans le plan semi-logarithmique, avec des valeurs de 10^{-18} à 10^{-19} m² à une distance de 3 m. Nous avons aussi observé que la variation de la perméabilité après l'excavation survient très rapidement après le début de la simulation de fluage ;*
- *La mise en place des barrages cause une réduction drastique de la vitesse de convergence de la galerie au droit de la partie en bentonite et en béton. Le re-confinement du sel qui en découle cause une réduction de la perméabilité très rapide jusqu'à la valeur initiale du sel de 10^{-21} m² dans les premières dizaines d'années après l'installation du barrage, ce qui permet d'éviter toute surprise d'invasissement rapide du stockage par la saumure ;*
- *Une faible rediminition de la contrainte moyenne autour du barrage est observée à partir de 50-80 ans de fluage. Cela est dû au changement des conditions aux limites appliquées sur la frontière supérieure du modèle, ce qui permet de prendre en compte l'effet de la fermeture des vides miniers (et du stockage) sur l'état de contrainte dans le sel. Cependant la perméabilité autour du barrage n'est pas affectée par ce changement de contrainte et reste de l'ordre de 10^{-21} m² sur le long terme.*

Les résultats ainsi obtenus sont valables dans le cadre des hypothèses retenues pour la simulation des barrages, notamment en termes de propriétés des matériaux qui constituent le barrage. En effet, comme nous le montrons, leur déformabilité influence sensiblement l'évolution de l'état de contrainte autour du barrage et donc le retour de la perméabilité du sel encaissant vers de faibles valeurs.

Sur la base de ces résultats, nous pouvons donc considérer le sel autour des barrages comme étanche, bien avant la date d'arrivée de la saumure à la profondeur du stockage. Cela signifie que l'invasissement du stockage ne peut avoir lieu que par l'écoulement de la saumure au travers du barrage. »

Synthèse 20 : pièce [80] bibliographie DDA :

Modélisation complémentaire du terme source en fonction des scénarios de déstockage étudiés (5) - Tracé des panaches consécutifs à ces 5 scénarios – DRC-13-140901-10732A

INERIS, 25 octobre 2013

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [80] :

Auteur : P. HENNEBERT et F. QUIOT

Vérification : R. REVALOR et J.C. PINTE

Approbation : M. GHOREYCHI

RESUME INTEGRAL figurant dans le rapport, page 5/37 :

« Ce rapport présente l'évolution des résultats des masses de déchets, des quantités de contaminants et des concentrations à l'équilibre dans la saumure contenue au sein des barrières pour différentes options de retrait partiel des déchets arséniés et mercuriels du stockage de StocaMine en comparaison du stockage illimité de l'ensemble des déchets. Le retrait de 56 % de la masse de mercure (déstockage des déchets B3 (arséniés) et B5 (mercuriels) des blocs 21 et 22) divise par plus de deux la concentration en mercure à l'équilibre dans la saumure avec le massif de déchets, alors que le retrait de 93 % de la masse de mercure (déstockage complémentaire des déchets B3 (arséniés) et B5 (mercuriels) des blocs 12 et 23) réduit la concentration en mercure d'un facteur 10. Toutefois, le cyanure, alors rendu disponible, provoque une augmentation des concentrations en solution de Cd, Co et Ni à respectivement 700 mg/l, 47 mg/l et 1 mg/l. Le retrait de tous les déchets des blocs 21 et 22 fournit des résultats similaires à l'option retrait de 56% de la masse de mercure, sauf pour le nickel total en solution, qui augmente à 1 mg/l. Le retrait de tous les déchets des blocs 12, 21, 22 et 23 fournit des résultats légèrement supérieurs à l'option de retrait de 93% de la masse de mercure pour le cobalt, le cadmium, l'argent, l'antimoine, le cyanure, le chrome et le mercure. Les valeurs des concentrations calculées introduites dans la modélisation hydrodynamique de la nappe d'Alsace suggèrent que les concentrations en différentes substances seraient bien inférieures aux seuils réglementaires quel que soit le scénario étudié. »

Extrait page 32/37 : carte correspondant au Dossier de demande d'autorisation établi en 2023 : confinement après déstockage partiel réalisé de plus de 93% du mercure

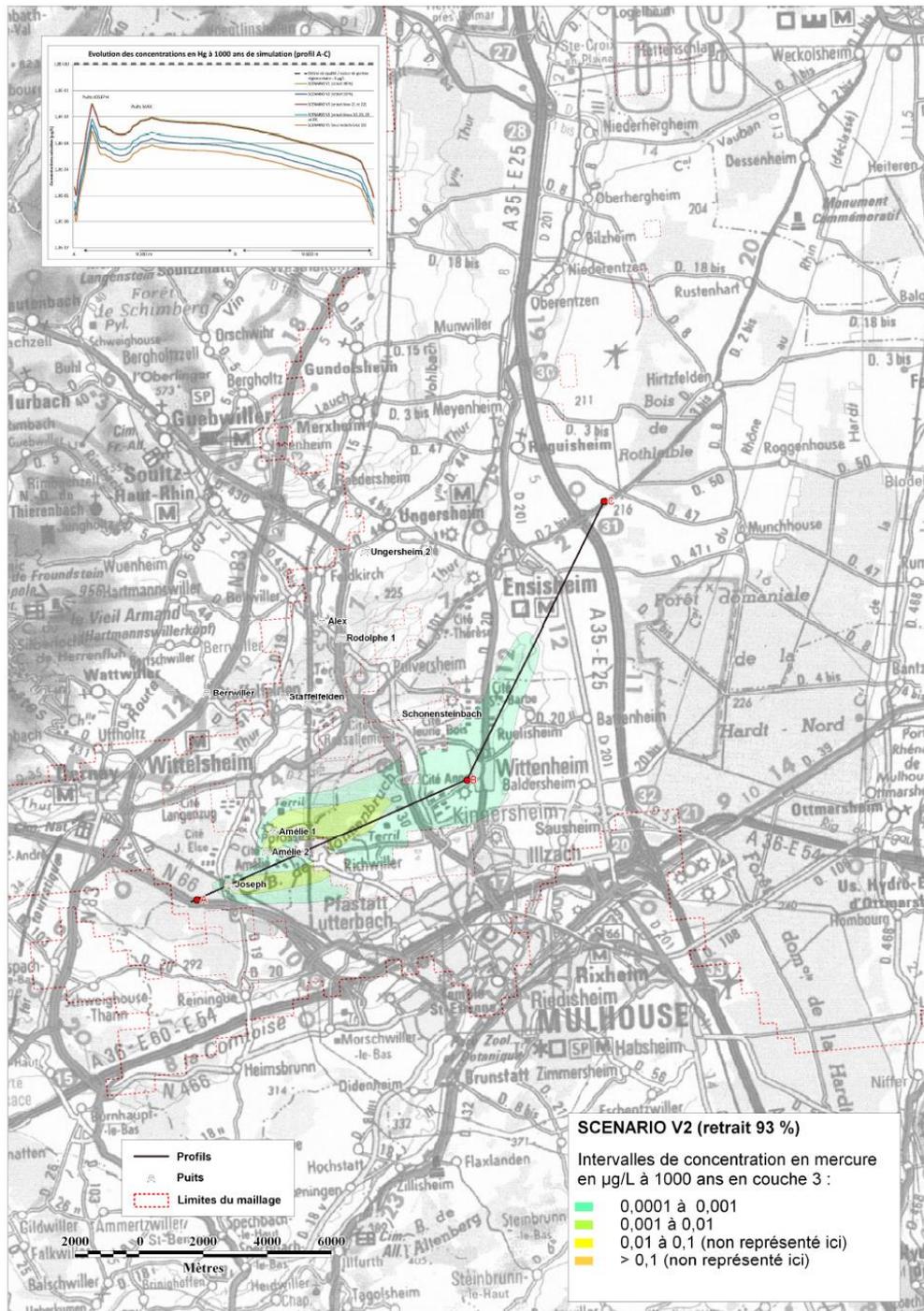


Figure 3 : Carte du panache de mercure dans la couche inférieure du modèle dans le scénario V2 et profils d'évolution des concentrations d'amont vers l'aval pour le mercure (1000 ans)

Synthèse 21 : pièce [86] bibliographie DDA

Stockage de Wittelsheim, étude de comparaison entre les barrages en bentonite et les barrages en béton Sorel

ITASCA, 22 décembre 2014

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [86]

Auteur : CAMUSSO Marco

Vérification : BILLAUX Daniel

Approbation : BILLAUX Daniel

Éléments de synthèse issus du rapport

Introduction, page 10 :

« Ce document présente une comparaison entre des barrages réalisés en bentonite et en béton Sorel en termes d'efficacité de confinement du stockage, et donc de débit ainsi que de date de sortie de la saumure polluée. »

Conclusion, page 80 :

« La diminution annuelle de volume du stockage – qui produit le flux sortant - est évaluée à 0,012 m³/an au pire, à une échéance de 21 000 ans, dans le cas de barrages en bentonite. L'utilisation de béton Sorel reporte la sortie de saumure après 100 000 ans, pour une diminution annuelle de volume inférieure à 1,8 10⁻³ m³/an. Ces valeurs amènent un flux massique de mercure sortant des barrages d'environ 0,6 g/an dans le premier cas, et inférieur à 0,1 g/an dans le deuxième cas. »

Extraits
compléments 2016

Études [A3] à [A15]

Synthèse 22 : pièce [A3] bibliographie DDA

Dossier de prolongation pour une durée illimitée de l'autorisation du 03 février 1997 relative au stockage souterrain de produits dangereux non radioactifs –

Rapport hydraulique

Artélia, K-Utec, IFG, Mai 2016

Source étude : Bibliographie/Extraits compléments 2016/Annexe [A3] :

Auteur : Artelia, K-Utec, IFG

Introduction, page 3 et 5 :

« Le rendu de la tierce expertise se compose :

- d'un rapport principal présentant les résultats de la tierce expertise, et répondant aux différents points de la lettre du préfet du 17 février 2015.

- de quatre rapports techniques relatifs aux différents volets de la tierce expertise :

- un rapport Géomécanique ;
- un rapport Réévaluation de la composition des colis ;
- un rapport Géochimie et terme source ;
- un rapport Hydraulique. »

« Le milieu salifère au sein duquel se trouve le stockage constitue initialement un milieu très favorable au confinement des déchets.

Les formations salifères et apparentées (potasse) possèdent comme propriété remarquable une capacité à fluier très significative. Du fait de sa capacité de fluage, le sel se déforme de manière souple sous des efforts variant lentement, sans qu'apparaissent de fractures et s'il peut se briser d'une manière soudaine sous l'effet d'une sollicitation rapide, il va le plus souvent jusqu'à « cicatriser » spontanément les fractures qui y apparaissent. C'est pourquoi les fractures ouvertes sont très rares dans les masses de sel tant qu'elles ne sont pas perturbées par l'homme (Feuga, 2014).

Ces formations salifères, ne présentant pas de discontinuités permettant les circulations d'eau, sont très imperméables et c'est essentiellement pour cette raison qu'elles sont sélectionnées pour accueillir des déchets.

Le rapport Géomécanique confirme ce qui précède. En effet le sel gemme non perturbé est étanche, du fait qu'aucun espace poreux interconnecté n'existe dans la masse rocheuse. Le caractère étanche du sel est prouvé à l'aide de mesures de perméabilité et par les observations qui montrent que les fluides sont restés fixés dans le sel pendant au moins 250 millions d'années.

Cependant, l'exploitation d'un gisement de sel ou de potasse ou la création d'un stockage de déchets détruit l'intégrité de la formation salifère notamment du fait de la nécessité de creuser des puits et des galeries. Par ailleurs les travaux miniers peuvent conduire à une sollicitation de failles existantes et permettre la venue d'eau (lorsque celles-ci sont en relation avec un aquifère).

Ainsi les voies d'accès potentielles de l'eau jusqu'au stockage sont les sondages, les puits et les failles qui auraient été réactivées en liaison avec l'exploitation de la mine et/ou lors de séismes.

Pour recenser ces voies potentielles d'infiltration, il importe en premier lieu d'analyser la zone au sein de laquelle ces voies d'infiltration d'eau pourraient atteindre le stockage.

Ainsi, en premier lieu le rôle éventuel du stot séparant les mines Amélie et Marie-Louise est abordé. »

Encart, page 8 :

« Dans l'approche proposée (dans le Dossier de demande et par la tierce expertise), les deux hypothèses suivantes sont donc considérées :

- Le stot ne permet pas une séparation hydraulique entre le secteur Amélie et le reste du secteur Ouest (l'ensemble du secteur Ouest est alors pris en compte) ;

- Le stot isole hydrauliquement le secteur Amélie du reste du secteur Ouest (seul le secteur Amélie est pris en compte). »

Encart, page 10 :

« Du fait du contexte géologique et tectonique, la contribution éventuelle à l'ennoiement de failles réactivées par un séisme significatif peut être considérée comme négligeable. »

Encart, page 11 :

« Au vu de la façon de reboucher les sondages après 1913 (scellement avec du béton) et aux faibles apports d'eau pour ceux réalisés avant 1913 (ou à la réalisation d'un nouveau rebouchage dans le cas de défaut du rebouchage initial) il peut être considéré qu'il n'y a pas d'apport d'eau significatif via les anciens sondages. »

Encart, page 12

« Le Dossier de demande considère que l'ennoyage de la mine se fera principalement par les puits via l'extrados de ceux-ci. La tierce expertise est en accord avec cette analyse. Il peut être noté également que le Dossier de demande n'étudie pas l'hypothèse d'un ennoyage brutal. »

Encart, page 14 :

« Selon la tierce expertise, une approche cohérente et sécuritaire consiste à retenir les débits d'exhaure mesurés, hors épisode historique ponctuel de fortes venues d'eau, soit un débit total pour l'ensemble du secteur ouest d'environ 72 000 m³/an. »

Encart, page 19 :

« Malgré le fait que l'impact de l'humidité sur la convergence n'ait pas été prise en compte dans le Dossier de demande, les phénomènes considérés pour évaluer la vitesse d'ennoyage sont globalement correctement identifiés et décrits dans le Dossier de demande. »

Encart, page 23 :

« La méthode utilisée par l'INERIS pour estimer les volumes des vides créés par l'exploitation minière est pertinente et utilise les données les mieux renseignées. Il est en effet considéré que les informations relatives au tonnage extrait sont plus fiables que celles relatives à la hauteur des couches exploitées. Le volume total des vides initiaux est ainsi de 200 Mm³ pour le secteur ouest. »

« L'INERIS estime la dissolution à 24% des volumes d'eau introduit. D'autres références donnent des valeurs proches. La valeur de l'INERIS peut donc être retenue d'autant plus que l'effet de la dissolution reste minime. »

Encart, page 24 :

« A part les valeurs de compaction initiale basées sur les calculs effectués par soustraction de la topographie de 1886 et celle de 2006 (65-75%), aucune valeur n'est argumentée dans les documents consultés. La valeur retenue par l'INERIS (80%) est présentée comme une hypothèse plausible mais n'est pas argumentée par des observations locales. »

Encart, page 26 :

« Le Dossier de demande considère une vitesse de convergence résiduelle des vides des tailles foudroyées basée sur le rapport Inéris [53]. L'Inéris estime cette vitesse à partir des chroniques observations des affaissements en surface mesurées sur une dizaine d'années.

L'estimation de l'Inéris (0.1% /an) sous-estime de façon significative la convergence résiduelle des tailles foudroyées. Il en résulte que les volumes résiduels, 'disponibles' à l'ennoyement, seront plus importants (qu'en l'absence de sous-estimation de ce paramètre).

Cette estimation, pour une même compaction initiale et un même débit d'ennoyage, induira in fine une vitesse d'ennoyage plus faible et donc une date à laquelle la saumure arrivera au niveau de la zone de stockage plus tardive. »

Encart, page 33 :

« Pour estimer la convergence résiduelle des tailles foudroyées, qui nous semble sous-estimée, la tierce expertise recommande de prendre en compte :

- l'ensemble de toutes les observations disponibles (et notamment les informations du forage VAPB2);
- le fait que la convergence résiduelle varie de façon significative avec la profondeur. »

« La loi d'évolution des vides résiduels des galeries indiquée dans le Dossier de demande est considérée par la tierce expertise (sur la base d'observations dans de nombreuses mines de sel) comme appropriée et les paramètres vraisemblables (Cf. Rapport Géomécanique de la tierce expertise). »

Encart, page 34 :

« Le Dossier de demande prend en compte une réduction de la convergence lorsque les vides sont saturés de saumure. Cette réduction dépend de la diminution du déviateur de contrainte.

La tierce expertise est en accord globalement avec cette approche. Il est à noter toutefois que les arrondis de calcul effectués de l'Inéris ne sont pas cohérents entre voies et galeries et ne vont pas dans un sens sécuritaire.

La tierce expertise recommande de prendre en compte dans le Dossier de demande, l'évaluation détaillée et argumentée du temps de saturation du stockage faite par Itasca. »

Synthèse 23 : pièce [A4] bibliographie DDA

Evaluation des données, rapports et expertises d'inventaire existants pour les substances dangereuses stockées dans l'ancien site de stockage souterrain de déchets STOCAMINE, et leur potentiel de mobilisation après le confinement/la fermeture du site minier

K-UTECH, 2 mai 2016

Source étude : Bibliographie/Extraits compléments 2016/Annexe [A4] :

Auteurs : Jocelyne Goettmann, Physicienne diplômée (Dr. Marx GmbH material testing and consulting)
Antje Hesse, Géologue diplômée (K-UTECH AG)

Introduction, page 1 :

« Le volet "Chimie des déchets" a pour mission d'évaluer les documents déposés par MDPa, qui inventorient le potentiel des déchets stockés dans le site minier souterrain de STOCAMINE en termes de substances dangereuses (terme source), en établissent un bilan quantitatif et en évaluant les dangers en cas de contact des substances stockées avec une solution aqueuse. Ce volet a été traité en coopération entre K-UTECH et la société Dr. Marx GmbH material testing and consulting. »

Conclusion, pages 59 à 63:

« La problématique du dégagement de gaz n'est considérée par l'INERIS que par rapport au mercure gazeux, susceptible de se former sous la pression de la vapeur du mercure métallique en cas de destruction de l'emballage dans les conditions de stockage, et par rapport à l'hydrogène arsénié et au cyanure d'hydrogène. En revanche, ces gaz toxiques ne joueront quasiment aucun rôle dans le milieu chimique attendu dans le site de stockage. Cela vaut également pour le sulfure d'hydrogène et l'hydrogène phosphoré, et pour le dioxyde de soufre.

La transformation de carbures, potentiellement contenus dans quelques rares déchets, comme p. ex. de carbures de calcium ou d'aluminium, dans l'eau, peut provoquer un dégagement d'hydrocarbures gazeux. Comme ces déchets ne contiennent typiquement que des traces de carbures, le dégagement d'hydrocarbures gazeux attendu se limitera à un faible volume.

En revanche, la formation d'hydrogène et d'ammoniac lors de l'entrée en contact des déchets avec des solutions aqueuses est d'une importance primordiale. En effet, la quantité d'hydrogène potentiellement libérée, dans des conditions normales, serait supérieure à plus de dix fois le volume interstitiel subsistant dans le site de stockage selon le scénario B, estimé à 7 000 m³ (sans mesures de remblayage). Dans ces conditions, il convient de s'attendre à une augmentation supplémentaire de la pression, liée à la formation d'hydrogène dans la zone de stockage. Dans l'hypothèse du volume de vides miniers estimé par l'ITASCA à 70 000 m³ (scénario B avec remblayage), l'augmentation de la pression par suite de formation de gaz serait proportionnellement moindre. Pour le scénario A, la formation d'hydrogène n'a qu'une incidence réduite. Quel que soit le scénario, la solubilité de l'hydrogène en fonction de la pression doit être prise en compte.

En revanche, la libération d'ammoniac contenu dans les déchets a une forte incidence sur les réactions chimiques potentielles, en conjonction avec la mobilisation potentielle de métaux lourds. L'ammoniac

se dissoudra complètement dans la saumure, et sera donc disponible pour toutes sortes de réactions à l'origine de la formation de complexes. Une quantification sérieuse des quantités libérables d'ammoniac contenues dans les déchets stockés et entrant en contact avec la solution n'est toutefois pas possible au vu des données actuellement disponibles.

L'équipe d'experts a proposé de réaliser des mesures de libération d'hydrogène sur un certain nombre d'échantillons de REFIOM choisis dans la bibliothèque d'échantillons, et des mesures de la teneur en ammonium et en ammoniac des déchets. »

« Les rapports fournis par MDPA ont été soumis à une évaluation de plausibilité et d'exhaustivité. De plus, nous avons élaboré des considérations complémentaires très détaillées pour affiner la description des déchets stockés dans le site de stockage de STOCAMINE. En complément des travaux de l'INERIS, nous avons identifié des paramètres chimiques supplémentaires ayant une incidence sur la description des réactions potentielles entre les déchets stockés et la solution s'infiltrant dans le site de stockage. Dans les cas où cela était possible, nous avons estimé les quantités de ces substances stockées dans le site de stockage de STOCAMINE.

En vue d'améliorer la situation des données analytiques pour certains paramètres chimiques choisis (métaux lourds, cyanures, nitrites, nitrates, ammoniac/ ammonium), nous avons proposé de réaliser des analyses supplémentaires sur les échantillons de la bibliothèque d'échantillons de STOCAMINE.

Nous avons également fourni des compléments très complets au descriptif ponctuel de l'INERIS quant aux réactions potentielles susceptibles de libérer des gaz au moment du contact des déchets avec la solution. Des mesures de dégagement de gaz des déchets sur des échantillons de la bibliothèque d'échantillons ont été recommandées.

Le récapitulatif et le bilan élaborés par l'INERIS à partir des informations établies par STOCAMINE et fournies par MDPA quant aux déchets stockés sont cohérents. D'ailleurs, l'INERIS souligne dans ses rapports l'existence de lacunes, notamment quant à l'exhaustivité et à la fiabilité des données analytiques.

L'état des connaissances concernant les substances dangereuses stockées dans le site de stockage souterrain de déchets de STOCAMINE peut être récapitulé comme suit :

- L'évaluation réalisée par l'INERIS de la nature et de la quantité des substances mobilisables, contenues dans les déchets stockés chez STOCAMINE, en cas de contact avec une solution s'infiltrant depuis la mine, sur la base des données disponibles auprès de MDPA, est empreinte d'une forte incertitude. Les données de spectrométrie SFX disponibles ne permettent pas une caractérisation complète de la composition des déchets. De plus, la spectrométrie SFX, telle que pratiquée par STOCAMINE, ne fournit qu'un screening d'éléments, susceptible de présenter des écarts conséquents par rapport à la concentration réelle de certains éléments.

- Les analyses chimiques effectuées par la société Dr. Marx GmbH material testing and consulting dans le cadre du déstockage de déchets arséniés et mercuriels, selon des méthodes quantitatives normées (dosage ICP et AAS), ont montré pour les lots analysés l'absence de concentrations significatives en mercure dans les déchets de la catégorie B3 -déchets Arséniés. Ces résultats n'étaient pas disponibles lors de l'évaluation réalisée par l'INERIS. Compte tenu de ces résultats, de nouvelles analyses ont été réalisées en cours de tierce-expertise sur les échantillons conservés par MDPA dans l'échantillothèque. Les résultats obtenus ont confirmé l'absence de mercure dans les déchets arséniés et ont mis en évidence des concentrations en Hg plus élevées dans les déchets mercuriels. La quantité de mercure stockée a ainsi été réévaluée à environ 26 tonnes.

- L'approche d'une mobilisation complète du mercure en présence de cyanures solubles constitue le worst case pour ce métal lourd. La formation potentielle de complexes cyanoferrates, plus stables que le mercure, et qui pourraient à leur tour lier les cyanures requis pour la mobilisation du mercure, devrait être analysée plus en détail.

- La réalisation de nouvelles analyses sur le paramètre cyanure libre au cours de la tierce expertise a permis de conforter l'estimation de l'INERIS relative à la quantité présente dans le stockage (environ 4,5 tonnes). Toutefois, compte tenu du rôle prépondérant du cyanure libre dans la géochimie du terme source (mobilisation des métaux lourds par la formation de complexes cyanurés solubles), une étude de sensibilité sur ce paramètre devrait être intégrée dans une nouvelle évaluation du terme source.

- Nous ne disposons d'aucune information quant à la quantité d'ammoniac immédiatement disponible, ou susceptible de se former au cours de réactions chimiques. Du fait de l'incidence de l'ammoniac sur la chimie de coordination, et partant, sur la solubilité de certains métaux lourds, nous proposons d'établir un estimatif des teneurs potentielles en ammoniac sur la base de nouvelles analyses sur les échantillons de la bibliothèque d'échantillons, et sur la base de valeurs empiriques. Ces analyses devraient également intégrer le paramètre cyanate dans les sels de trempe, regroupés sous la catégorie A1.

- Pour les déchets de la catégorie B10 – produits phytosanitaires, l'essentiel des déchets stockés se compose d'agents actifs inorganiques (composés arséniés). Quant aux agents actifs organiques, seul le produit ZIRAME est mentionné. Le Zirame, composant du PYRAL, a été stocké dans des fûts et neutralisé à la chaux, avec une quantité évaluée entre 17 et 35 tonnes sur la base de la fiche d'identification du déchet. Le tiers-expert recommande de préciser l'effet sur cette substance de la neutralisation à la chaux. En fonction des résultats obtenus, cette substance devra être prise en compte dans l'étude de l'impact du projet sur la nappe d'Alsace.

- Comme l'INERIS l'a déjà constaté et évalué, les incertitudes affectant l'exhaustivité et la fiabilité des données archivées auprès de STOCAMINE concernant les déchets stockés ne permet au mieux qu'un estimatif des charges de polluant potentiellement présentes. Du point de vue de K-UTEC et de Dr. H. Marx GmbH material testing and consulting, une analyse mathématique, à l'aide de bases de données et de logiciels de calcul, n'est pas indispensable. On pourrait au contraire développer une approche de modélisation simple selon le scénario B, pour prévoir les réactions chimiques susceptibles de se dérouler à partir de l'entrée en contact de la solution avec les déchets. Ce modèle devrait se baser sur les composés chimiques potentiellement présents dans les déchets, et sur la formation potentielle de composés facilement ou difficilement solubles dans la solution, en fonction des données disponibles sur la solubilité dans l'eau. Ces considérations devraient intégrer les résultats des analyses chimiques préconisées. De plus, il conviendrait de tenir compte des quantités de substances dangereuses d'ores et déjà déstockées dans les bilans actualisés. En respectant ces étapes de traitement, on obtient un premier aperçu des réactions chimiques susceptibles de se produire dans la zone de stockage après l'infiltration potentielle de la solution. Sur la base de ces résultats, on peut ensuite vérifier si une modélisation mathématique suffisamment fiable de la composition chimique de la solution est possible.

- Le scénario d'expulsion potentielle de la solution aqueuse contaminée par des substances dangereuses devra prendre en compte le facteur de formation d'hydrogène, car en présence de barrages fortement imperméables, on pourrait observer une forte augmentation de la pression dans l'espace interstitiel subsistant dans la zone de stockage.

- Pour une porosité résiduelle estimée par l'INERIS à 7.000 m³, il faudrait intégrer aux considérations sur l'expulsion de fluide depuis la zone de stockage le fait que notamment les REFION, du fait de leurs propriétés physiques et de leur composition chimique, sont capables de lier chimiquement de grandes quantités d'eau sous forme d'hydrates. Notre expérience dans l'exploitation de mines de remblayage en Allemagne a montré que des produits de remblayage, constitués à 85 % en poids de poussières d'incinération d'ordures ménagères et à 15 % en poids d'eau, résistent à l'expulsion de fluide jusqu'à une pression statique de 15 MPa. Selon cette considération, les REFION stockés chez STOCAMINE pourraient ainsi lier chimiquement env. 3 000 m³ de solution, qu'il serait impossible d'expulser, malgré la progression de la convergence. Pour le volume de vides miniers déterminé par l'ITASCA, la capacité

de liaison d'eau (absorption et rétention d'eau) des déchets ne joue quasiment aucun rôle au vu du volume de solution.

- En revanche, le bilan des volumes devra également tenir compte des nitrates, nitrites et cyanures absorbés par la solution, et de la recristallisation de NaCl et de KCl lors de la baisse de la sursaturation de la solution. Comme différents effets se superposent, on pourrait tenter une approximation, en supposant que les interactions entre les déchets stockés et la solution s'infiltrant depuis la mine n'entraîneront aucun changement significatif dans le volume interstitiel de la zone de stockage.

En raison des incertitudes actuelles quant à la quantité des substances dangereuses stockées dans le site de STOCAMINE, à leur mobilisation et à leur expulsion, incertitudes qu'il ne sera pas possible d'éliminer complètement même en améliorant la situation des données disponibles, on ne saurait que saluer toutes les mesures géotechniques visant à retarder la pénétration de solution dans la zone de stockage. Toutes ces mesures seront thématiques de manière détaillée dans le rapport principal. »

Synthèse 24 : pièce [A5] bibliographie DDA

Dossier de prolongation pour une durée illimitée de l'autorisation du 03 février 1997 relative au stockage souterrain de produits dangereux non radioactifs

Rapport géomécanique

Artelia, K-Utec, IFG, mai 2016

Source étude : Bibliographie/Extraits compléments 2016/Annexe [A5] :

Auteurs : Artelia, K-Utec, IFG

Introduction, page 1 :

« Le présent rapport correspond au rapport Géomécanique de la tierce expertise. Il a été rédigé par les experts en géomécanique du sel de l'Institut für Gebirgsmechanik de Leipzig (IfG). »

Objectif de l'étude, pages 1 à 2 :

« MDPA étudie la fermeture du site de stockage de déchets de StocaMine. L'option retenue suite aux études réalisées est le déstockage partiel des déchets contenant du mercure et la transformation du site de stockage en site de stockage définitif. La sûreté du confinement doit donc être démontrée. Le concept de stockage-confinement consiste à isoler de manière définitive et irréversible des substances toxiques (par exemple des métaux lourds) de la biosphère, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à un traitement ou à une surveillance ultérieure, une fois les opérations de confinement et d'isolation du stockage réalisées.

Conformément à la réglementation (CE) No.1102 / 2008, les mines de sel sont l'option privilégiée pour ce concept, car elles permettent le confinement sûr et permanent des contaminants à l'aide de la mise en place d'un système multi-barrières. Ce système multi-barrières se compose des éléments suivants :

- Les déchets : le contenu des déchets, leurs caractéristiques (par exemple leur solubilité chimique) et les conditionnements contrôlent la composition de la saumure contaminée ;
- Les mesures de remblayage : il s'agit du remblayage des vides miniers en vue d'améliorer la stabilité géomécanique du stockage ;
- Les mesures de scellements des galeries et des puits : ces mesures doivent « cicatriser » les voies de circulations créées au sein du sel gemme par l'exploitation de la mine et du stockage ;
- La roche hôte : cette roche assure un confinement total des contaminants (dans le cas idéal) ;
- Les formations géologiques sus-jacentes : elles peuvent constituer une barrière naturelle additionnelle (par exemple dans le cas d'une formation argileuse d'une épaisseur suffisante, qui possède en outre des propriétés d'adsorption des substances).

Afin de justifier la sûreté du confinement, les éléments les plus cruciaux sont les suivants

(1) la barrière géologique, à savoir le sel gemme en place, qui doit :
o être imperméable aux liquides et aux gaz ;

o avoir une extension et une épaisseur de sel intact suffisantes au droit du stockage, de façon à ce que la fonction de barrière ne soit pas remise en cause ;

o se refermer progressivement autour des déchets, et à l'issue des processus de déformation, les encapsuler, en raison de ses propriétés géomécaniques (convergence par fluage).

(2) l'ensemble des mesures techniques (en particulier le remblayage et les mesures de scellements). »

« Ce concept a été développé principalement par l'INERIS, et a été complété par d'autres organismes, qui ont notamment précisé les aspects techniques des mesures proposées, en particulier les études ERCOSPLAN (concept de barrages) et ITASCA (modélisation géomécanique complexe de la fermeture des vides souterrains). »

Résumé et conclusion, pages 75 à 77 :

« L'arrivée d'eau sur le site de StocaMine étant inévitable, des mesures appropriées de scellement doivent être mises en œuvre pour assurer un confinement sûr des déchets restant dans la zone de stockage (et des substances toxiques qu'ils contiennent), afin d'exclure tout risque vis-à-vis de la biosphère.

Les mines de sel constituent l'option privilégiée pour ce type de stockage si un concept de fermeture multi-barrière est réalisé. Afin de justifier le confinement sûr, les composants les plus cruciaux sont (1) la barrière géologique et (2) l'ensemble des mesures techniques (en particulier, le remblayage et les mesures de scellements). »

« D'une façon globale, les conclusions sont les suivantes :

- *Les études géomécaniques réalisées par l'INERIS fournissent la base fondamentale pour discuter des différents scénarios du devenir du site de stockage de StocaMine. La connaissance générale spécifique au site (par exemple les propriétés géomécaniques du sel) est suffisante pour décrire le comportement à court et à long terme de la masse de sel :*

o Comparé à la roche de sel d'autres sites de stockage (par exemple en Allemagne), le fluage du sel alsacien est relativement rapide, c'est-à-dire que le taux de convergence des vides souterrains est favorablement élevé, ce qui résulte en un rétablissement rapide des contraintes lithostatiques autour des barrages de scellements des galeries.

Une lacune mineure des études disponibles est la non-prise en compte de l'accélération du fluage lors de l'ennoyage, liée à des processus de déformations assistées par le fluide.

o Malgré cette lacune, les scénarios de convergence considérés, qui décrivent l'évolution du taux de convergence avant, pendant et après la phase d'ennoyage sont plausibles et correspondent aux observations faites pendant l'ennoyage dans d'autres mines de sel.

- *Sur le site de StocaMine, un concept de barrières géotechniques a été développé par MDPA, pour lequel les barrières géologiques (en plus des barrières géotechniques) constituent des éléments décisifs de sureté afin de garantir l'absence de risque vis-à-vis de la biosphère sur le long terme.*

La roche de sel à l'état non perturbée est considérée comme imperméable, c'est pourquoi le concept de confinement sûr est justifié, pour autant que l'intégrité de la barrière géologique ne soit pas remise en cause pendant la totalité de la période considérée par l'étude de sûreté.

o La formation saline entourant la zone de stockage est un élément clé de la sûreté du confinement. C'est pourquoi la démonstration d'une épaisseur suffisante et de l'intégrité de cette barrière interne, quel que soient les conditions de contraintes à court et à long terme, est essentielle. Bien que l'épaisseur de cette barrière sur le site de StocaMine, entre la zone de stockage et la couche de potasse exploitée sus-jacente, soit seulement de l'ordre de 25 m, cette épaisseur est jugée suffisante sur la base des connaissances disponibles et des expériences d'analogues naturels et techniques ;

o L'endommagement du sel gemme environnant a été évaluée par l'INERIS à l'aide d'un modèle numérique, utilisant des lois de comportements des matériaux adaptées, et calé avec des mesures de contraintes et de perméabilités réalisées sur le site. Il en ressort que l'endommagement est généralement limité à quelques mètres autour de la paroi des vides souterrains, y compris dans le cas de l'endommagement additionnel créé par l'incendie du bloc 15. Les résultats obtenus dans les différentes études de modélisation du site (INERIS, ITASCA) correspondent très bien aux résultats obtenus sur d'autres sites ;

Néanmoins, il faut mentionner que l'analyse réalisée par l'INERIS ne se réfère pas de façon explicite aux critères bien connus de dilatance et de contrainte minimum, qui offrent une explication simple des portions de roche endommagée ou saine.

o Le recouvrement de l'intégrité hydraulique après la fermeture du stockage se produit en raison de l'aptitude du sel à s'auto-sceller et s'auto-cicatriser, ce qui est très important pour la fonctionnalité des barrages de scellements.

o L'analyse de la stabilité des piliers dans la zone de stockage, basée sur une relation empirique développée pour les mines de sel conventionnelles, démontre que les vides de la zone de stockage sont stables pendant la phase d'exploitation et à long terme.

- Il est prévu d'isoler la zone de stockage avec 19 barrages dans des galeries simples et doubles, à 12 endroits différents, avec comme objectifs (1) d'éviter ou de minimiser l'entrée de saumure dans la zone de stockage et (2) de retarder l'expulsion de saumure polluée à l'extérieur de la zone de stockage. Sur la base des recommandations de l'INERIS, un concept technique a été développé par ERCOSPLAN (2013), qui consiste en des barrages de 18 m de long constitué d'un noyau de 6 m de bentonite (élément de scellement) et de deux butées de béton de 6 m positionnées de part et d'autre.*

Sur la base d'une longue expérience relative à la construction de barrages dans des mines de sel conventionnelles, et des nouveaux résultats issus de recherches récentes, concernant le stockage de déchet chimiques toxiques ou radioactifs dans les mines de sel (notamment en Allemagne), le concept d'ERCOSPLAN peut être considéré comme un concept possible, mais des améliorations sont suggérées, sur la base de concepts de barrages actuels en mines de sel.

o L'élément de scellement doit être le plus long possible, c'est à dire que les butées dans le concept d'ERCOSPLAN doivent être construites de façon à agir à la fois comme soutien de charge et comme éléments de scellement. Une longueur de 11 m, telle qu'envisagée par l'ITASCA (2013b), est jugée suffisante.

o L'exigence qui consiste à considérer la bentonite comme matériau de scellement privilégié constitue une limitation significative, car sans cette contrainte, des solutions plus performantes existent. L'efficacité d'un barrage monolithique en tant qu'alternative doit être démontrée.

o Les butées ou les barrages peuvent être réalisés en béton coulé ou en béton projeté, mais, pour plusieurs raisons (notamment un retrait thermique limité, un meilleur contact avec la roche encaissante, et une souplesse de travail plus grande), la technique du béton projeté est recommandée.

o Il existe des matériaux variés pour la construction d'éléments en bétons. Les exigences générales permettant de sélectionner le matériau sont spécifiées (par exemple une résistance mécanique et une étanchéité suffisante).

- *Les mesures de remblayage dans la zone de stockage sont recommandées pour minimiser les effets négatifs de la convergence, et pour maintenir la stabilité du toit de la zone de stockage. Mais les mesures planifiées doivent être spécifiées de façon plus détaillée afin d'éviter de « nouveaux » impacts négatifs. Les options de matériaux avec du mortier de remplissage requièrent des quantités significatives d'eau liée uniquement physiquement, qui va être expulsée sous l'action de la convergence directement dans la zone de stockage. Ainsi :*

o La réalisation d'un remblayage sec est un impératif du concept de sûreté. "Sec" signifie que sous l'augmentation des contraintes liée à la convergence, aucun fluide n'est expulsé du matériau ;

o La possibilité d'installer un réservoir de 'vides' permanent permettant ultérieurement d'être rempli par la saumure (par exemple en utilisant des graviers ou des cendres volantes comme matériau de remblayage) dans les vides actuels de StocaMine doit être étudiée, car cela semble être une mesure efficace pour réduire significativement la sortie de saumure polluée de la zone de stockage ;

o De plus, l'option de mesures de remblayage par du sel broyé à l'avant des barrages doit être considérée car cela peut permettre, après une période de consolidation suffisante, de retrouver l'efficacité d'une barrière naturelle.

- *Le rétablissement de l'intégrité hydraulique dans la zone de stockage est essentiel car lors de l'excavation des vides souterrains, une zone endommagée (EDZ) s'est inévitablement créée. Celle-ci peut jouer un rôle de court-circuit hydraulique. Cependant, d'après les résultats des études présentées précédemment, il peut être affirmé que la roche de sel dilatée a la capacité de sceller (et probablement de cicatriser) les endommagements existants, si l'état de contrainte revient à l'état initial après l'installation des barrages et la fermeture du stockage. Ainsi, comme cela est démontré par modélisation numérique, la performance des barrages à StocaMine est obtenue après une période de moins de 100 ans (voire une trentaine d'année selon ITASCA). Cela a un impact significatif sur le scénario d'entrée d'eau dans le stockage.*

Pour conclure, l'expert constate que le concept de MDPA, complété par les rapports d'expertise de l'INERIS et d'autres organismes spécialisés (dont ITASCA), forme une base très complète pour l'évaluation géomécanique du concept de fermeture par rapport aux exigences applicables à la sécurité à long terme. L'analyse des documents présentés montre que le concept de "confinement sûr" des polluants dans une formation salifère peut effectivement être mis en œuvre pour le site de StocaMine.

Elle ne soulève aucun nouvel aspect susceptible de remettre en question la suite des opérations de scellement prévues.

Indépendamment de cela, des recommandations détaillées devront être fournies pour certaines mesures permettant de renforcer davantage le niveau de sécurité existant, ou des précisions requises pour atteindre effectivement les objectifs. »

Synthèse 25 : pièce [A6] bibliographie DDA

Dossier de prolongation pour une durée illimitée de l'autorisation du 03 février 1997 relative au stockage souterrain de produits dangereux non radioactifs

Note relative à la réévaluation des quantités en contaminants

Artelia, K-Utec, IFG, avril 2016

Source étude : Bibliographie/Extraits compléments 2016/Annexe A6 :

Auteurs : Artelia, K-Utec, IFG

Introduction, page 3

« Ce rapport correspond au point 4 de la lettre de demande du préfet du 17 février 2015, c'est à dire à « l'analyse critique de la composition des colis entreposés pour ce qui concerne les polluants présentant les principaux risques à long terme. »

Ce rapport est organisé de la façon suivante :

- Caractéristiques du projet en lien avec la composition des déchets stockés ;
- Hypothèses du dossier relatives aux quantités en contaminants stockés ;
- Analyse critique des hypothèses du dossier ;
- Nouvelle évaluation des quantités en contaminants stockées, à partir des résultats d'analyses réalisées entre octobre 2015 et février 2016 sur l'ensemble des déchets (hors déchets amiantés) ;
- Conclusions et recommandations de la tierce-expertise. »

Conclusions et recommandations, page 20 :

« Les résultats des analyses effectuées fin 2015 début 2016 ont permis :

- de confirmer l'absence de mercure dans les déchets de la catégorie B3 – Déchets Arséniés ;
- d'effectuer une nouvelle évaluation des quantités en contaminants présentes dans le stockage.

Ces analyses quantitatives ont été réalisées par un laboratoire accrédité et permettent ainsi de s'affranchir des incertitudes liées à la méthode d'analyse utilisée par StocaMine à l'arrivée des colis sur le site (spectrométrie de fluorescence X).

Cette nouvelle évaluation est considérée comme plus fiable que celle effectuée par l'INERIS dans la mesure où elle s'appuie sur des analyses plus complètes et plus précises. La tierce-expertise recommande ainsi à MDPA l'actualisation du dossier en prenant en compte ces nouveaux résultats. En

particulier, la quantité de mercure stockée est évaluée à environ 26 tonnes sur la base des nouvelles analyses, alors que l'évaluation de l'INERIS conduisait à une quantité de 53 tonnes de mercure stockée, sur la base des résultats d'analyses SFX.

Bien que la quasi-totalité des échantillons disponibles dans l'échantillothèque ait été concernée par la réalisation de nouvelles analyses, le nombre d'analyses disponibles par CAP ne permet pas de quantifier l'incertitude liée à l'hétérogénéité des colis et à l'échantillonnage. Ainsi, la tierce-expertise rejoint l'avis de l'INERIS ([56]), selon lequel les résultats obtenus sur la base des analyses réalisées ne peuvent être considérés que comme des ordres de grandeur des quantités présentes.

Concernant la présence de Zirame dans le stockage (substance phytosanitaire organique), compte tenu des incertitudes sur la quantité a priori initialement stockée (potentiellement de 16 à 35 tonnes) et des limites de qualité s'appliquant aux phytosanitaires dans les eaux souterraines, cette substance pourrait être pénalisante vis-à-vis de l'impact du projet sur la nappe d'Alsace. Il importe donc de préciser si la présence de Zirame doit être considérée ou non dans le cadre de l'évaluation de l'impact du projet sur la nappe d'Alsace. La tierce-expertise recommande ainsi d'étudier plus en détail l'effet sur cette substance de la neutralisation à la chaux réalisé lors du conditionnement des fûts (destruction ou non des molécules, le cas échéant potentiel de mobilisation des molécules).

Au vu des types de déchets stockés, et rapportée à l'inventaire complet des substances dangereuses, la fraction estimée d'autres substances dangereuses organiques potentiellement présente (BTEX, HAP, PCB, ...) est considérée comme faible. »

Synthèse 26 : pièce [A7] bibliographie DDA

Réponse aux sollicitations de l'Autorité Environnementale et du tiers Expert - DRS-16-157108-05017A

INERIS, 1^{er} juin 2016

Source étude : Bibliographie/Extraits compléments 2016/Annexe [A7] :

Auteurs : Jean-Claude PINTE

Vérificateur : Philippe GOMBERT

Approbateur : Mehdi GHOREYCHI

Contexte et objectifs, page 5 :

« Le présent document est établi à la demande de MDPa en réponse aux questions de l'Autorité Environnementale (AE) et du tiers expert (TE) sur le dossier de demande d'autorisation de stockage illimité de Wittelsheim, synthétisées par MDPa dans le Tableau 1, transmis le 21 avril 2016. Suite à la réévaluation des quantités d'éléments issues des analyses des déchets réalisées dans le cadre de la tierce expertise, MDPa a sollicité l'INERIS pour modéliser la composition du terme source à partir de ces nouvelles quantités (données transmises à l'INERIS par MDPa) et selon les mêmes hypothèses que lors des modélisations précédentes. »



MEMOIRE MDPa EN REPONSE AUX DEMANDES DU PREFET SUITE AVIS DE L'AUTORITE ENVIRONNEMENTALE ET RAPPORT TIERCE EXPERTISE

OBJET	CORRESPONDANCE TIERCE EXPERTISE	CORRESPONDANCE AUTORITE ENVIRONNEMENTALE	QUI ?
Terme source - Antimoine : environnement local témoin - Antimoine et chrome : transfert dans l'air - Incertitude pour terme source - Impact nappe avec bulle de pollution dépassant la potabilité	Actualisation du dossier avec résultats de la nouvelle évaluation des quantités	- Préciser le terme source - Procéder à des analyses quantitatives de l'ensemble des éléments traces métalliques sur quelques lots représentatifs - Evaluation des risques sanitaires hydriques ou à défaut de justifier l'absence de prise en compte de ce compartiment	- Etude INERIS terme source + estimation incertitude + impact sur nappe - MDPa : expliciter situation après déstockage (donc parler des problèmes de déstockage pour aboutir à une situation mini et situation max) - ARTELIA : bulles suivant flux massique de polluant
Composés organiques et Phytosanitaires - Le labo travaille sur la détection du Ziram et sa solubilité dans la saumure	Etude de la neutralisation du Pyral, c'est-à-dire de la destruction du Ziram contenu dans le Pyral	- Justifier par des données précises l'absence de prise en compte de composés organiques persistants	INERIS produit une étude complémentaire et justification non prise en compte de composés organiques persistante
Dispositif de confinement	- Caractère confinant du toit du stockage - Objectif du remblaiement du stockage	L'AE recommande de consolider les informations concernant l'efficacité de la barrière de confinement Impact et probabilité d'une rupture de barrière (ce cas nous semble absolument improbable car les barrages sont des ouvrages très conséquents mais on peut étudier une défaillance via FEDZ comme présentée au COPIL en avril 2011	MDPa rédige 1 présentation du dispositif de confinement en s'appuyant sur les mesures d'IBEWA et sur études ITSCA, ERCOSPLAN et Dr FREYER. INERIS : Evaluer l'impact sur la nappe de la dégradation d'un barrage. - Scénario avec barrages simples déjà évoqué en 2011 (pas assez performants pour retarder la sortie de saumure polluée de 1 000 ans).
Evolution des vides miniers, données et observations disponibles	Prendre en compte une approche détaillée fondée sur les données et observations disponibles (valeur du taux de convergence et distribution en fonction de la profondeur)		INERIS : expliciter méthode de calcul pour la rendre compréhensible.
Mesures de suivi	Suivre l'évolution de l'ennoyage (forage profond + suivi) comparée aux modélisations réalisées.	L'AE recommande de préciser le dispositif de suivi	INERIS : Modélisation ennoyage secteur ouest pour sondage profond ARTELIA : Modélisation ennoyage secteur ouest pour suivre sondage profond.

Synthèse 27 : pièce [A8] bibliographie DDA

Evaluation des flux potentiels de saumure contaminée en considérant le remplissage des blocs vides du stockage avec des havrits de sel et des barrages en béton spécial - 16R-006A1

ITASCA 3 juin 2016

Source étude : Bibliographie/Extraits compléments 2016/Annexe [A8] :

Auteurs : CAMUSSO Marco

Vérificateur : BILLAUX Daniel

Approbateur : BILLAUX Daniel

Extraits de l'introduction, page 7 :

« Dans le cadre des études pour la fermeture définitive du stockage de déchets ultimes de Wittelsheim, la société StocaMine souhaite évaluer les flux potentiels de saumure contaminée à partir du stockage, à long terme pour plusieurs solutions de confinement des déchets. Deux évaluations ont été réalisées par ITASCA Consultants S.A.S. (ITASCA), dans les dernières années, prenant en compte différents scénarios de remplissage du stockage avec un coulis de cendres volantes et différentes typologies de barrages de confinement (en bentonite et en béton Sorel).

Par ailleurs ITASCA a réalisé des études portant sur l'évolution de la perméabilité du sel situé autour des barrages avec le temps, dans le but de valider l'hypothèse de base utilisée dans les calculs, selon laquelle l'écoulement de la saumure vers le stockage (et à partir du stockage vers l'extérieur) ne peut avoir lieu qu'à travers les barrages de confinement du stockage. »

« StocaMine indique également que la solution de confinement précédemment envisagée avec des barrages en béton Sorel ne convient pas au stockage de Wittelsheim. En effet, le faible contenu de chlorure de magnésium dans la saumure ne permet pas d'assurer la transformation de phase du béton lors du passage de la saumure, et donc in fine la réduction de la perméabilité des barrages. A ce jour, StocaMine retient donc la solution des barrages en béton spécial offrant la même perméabilité que les barrages en bentonite (10-18 m²) dans leur partie centrale, avec deux appuis en béton de 3 m de long de part et d'autre de ce noyau. »

Conclusion, page 39 :

« Les études antérieures réalisées par ITASCA dans le cadre du dossier de fermeture du stockage de Wittelsheim ont été conduites en considérant un remplissage des blocs vides par un coulis de cendres volantes comportant une porosité initiale de 69% et une porosité résiduelle à long terme. Le remplissage de cette porosité lors de la phase d'ennoyage du stockage permettait de retarder la sortie de la saumure polluée, et donc in fine, le débit de sortie, celui-ci étant relié directement au taux de fermeture des vides du stockage, lequel diminue avec le temps.

Compte tenu des contraintes techniques liées à la mise en œuvre d'un tel remplissage, StocaMine étudie actuellement une nouvelle solution de remblayage des blocs vides et des galeries d'accès avec des havrits de sel. Lors de la mise en place de ce matériau dans les tunnels, la porosité est estimée de l'ordre de 50%. Toutefois, à cause du comportement de fluage typique du sel, et de sa capacité de cicatrisation lorsqu'il est soumis à une contrainte de confinement, cette porosité se réduit rapidement, jusqu'à atteindre des valeurs faibles. L'IfG de Leipzig, intervenant en tierce expertise du dossier de fermeture pour la partie géomécanique, estime qu'à l'échelle de l'ennoyage du stockage ce matériau doit être considéré comme un matériau à porosité nulle. Ceci se traduit par une date d'ennoyage plus précoce et par des flux de sortie de la saumure plus importants. »

« Le travail exposé dans ce rapport utilise les résultats d'une étude précédente pour le calcul de la date d'ennoyage du stockage. Les hypothèses sur les propriétés des matériaux (sel, coulis, déchets REFIOM) et le débit de saumure traversant les barrages lors de la phase d'ennoyage restent les mêmes. En effet, bien que la nouvelle solution de confinement considère des barrages en béton spécial, ce matériau a la même perméabilité que la bentonite étudiée dans nos études précédentes et produit donc le même débit entrant.

Une première étape de simulation a permis d'obtenir l'évolution du stockage avant la mise en pression de la saumure, pour les différents cas de calculs. Il faut au minimum un peu moins de deux millénaires pour que les vides du stockage se remplissent (remblayage des galeries de service et des blocs vides avec havrits). Le remblayage des galeries de service par le coulis de cendres volantes fait passer ce délai à un peu plus de 3 500 ans. La différence entre ces dates est due au volume des vides du stockage, nettement moins important dans le cas où les galeries de service sont comblées par les havrits (moins de 20 000 m³, contre 45 000 m³ pour un remplissage avec coulis).

La montée en pression de la saumure dans le stockage, après la fin de l'envahissement, est due au flux entrant qui va peu à peu s'annuler, et surtout à la réduction du volume des vides dans le stockage. Elle est conditionnée par le module volumique de la saumure. Bien entendu, cette montée en pression a un effet – globalement retardant – sur le fluage du sel et donc sur les variations de volume des vides.

Une fois la saumure montée en pression, l'écoulement « vers l'extérieur » à travers les barrages est amorcé. La date de sortie de la saumure polluée peut être calculée à partir de la date d'ennoyage et du temps nécessaire pour « remplacer » la saumure saine contenue dans les barrages par la saumure polluée.

Les résultats des calculs montrent un débit en sortie compris entre 0,12 et 0,19 m³/an, selon les différentes hypothèses de remontée de la saumure et de remblayage avec havrits de sel prises en compte. Bien entendu, une remontée plus rapide raccourcit la phase d'ennoyage, et donne donc lieu à une sortie plus précoce et à des flux plus importants. De même pour le cas d'un remblayage des galeries d'accès par les havrits au lieu d'un remplissage par le coulis. Les dates de sortie sont estimées de l'ordre de 2 000 ans et 4 150 ans pour les deux scénarios de remblayage analysés et pour une remontée de la saumure selon l'hypothèse de référence de l'INERIS (respectivement 2 250 et 4 380 ans pour une remontée moins rapide).

Enfin, les calculs ont mis en évidence un effet négligeable des opérations de déstockage sur la date et le débit volumique de sortie de la saumure. Il reste que le déstockage du mercure donnera lieu à des flux massifs de Hg directement proportionnels à la quantité restant dans le stockage et passée en solution dans la saumure.

L'ensemble de ces résultats ont été obtenus pour des barrages de fermeture de 5m de long. Nous avons vérifié qu'une augmentation de 20% de la longueur (soit des barrages de 6m) permet une réduction du

débit d'entrée dans le stockage d'environ 15%. Cela se traduit par un retard de la date de sortie de la saumure polluée de 430 ans et donc, in fine, par une réduction du flux potentiel d'environ 25% (soit un débit de 0,143 m³/an). »

Synthèse 28 : pièce [A15] bibliographie DDA

Dossier de demande d'autorisation pour la prolongation, pour une durée illimitée, de l'autorisation de stockage souterrain en couches géologiques profondes de produits dangereux non radioactifs

Mémoire complémentaire répondant aux demandes du Préfet et à l'avis de l'Autorité Environnementale

MDPA, Juin 2016

Source étude : Bibliographie/Extraits compléments 2016/Annexe [A15] :

Auteurs : MDPA

Introduction, page 6 :

« Le stockage de déchets de StocaMine est un site souterrain constitué de galeries situées à 550 mètres de profondeur. Il permettait d'accueillir des déchets ultimes (qui n'étaient plus susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques du moment). A ce titre c'est une installation classée pour la protection de l'environnement (nomenclature actuelle ICPE 3660, cf. annexe 1).

Le stockage se situe dans la plaine d'Alsace à Wittelsheim. Les galeries de stockage ont été creusées au cœur d'un important massif géologique de sel.

L'accès au stockage s'effectue par deux puits de mine (nommés Joseph et Else), qui faisaient partie des infrastructures des Mines de Potasse d'Alsace (MDPA). En effet, dans cet épais massif salifère deux couches riches en sylvinite (ou potasse) ont été exploitées entre 1904 et 2003.

En 2002, un incendie a conduit à l'arrêt de l'activité de stockage. Depuis 2003, de nombreuses études ont été menées quant à la solution de fermeture du site.

En 2009, les Mines de Potasse d'Alsace, maison-mère de StocaMine ont été mises en liquidation amiable. La solution de fermeture du stockage a été confiée pour étude et constitution du dossier à l'INERIS.

Un comité de pilotage mandaté par le Préfet et composé d'experts nommés par les membres de Commission Locale d'Information et de Surveillance (CLIS) de StocaMine a travaillé sur les études et a présenté ses conclusions à la CLIS. A l'issue de ces travaux, et dans la continuité de l'information du public engagée depuis plusieurs années, une concertation du public sous l'égide d'un garant nommé par la Commission Nationale du Débat Public a permis l'expression des parties prenantes dans ce dossier.

Sur la base de ces expertises, des conclusions de l'INERIS leur expert et de la concertation, les MDPA, qui ont absorbé leur filiale StocaMine il y a plus de deux ans, ont déposé en janvier 2015, un dossier de demande de transformation du site de stockage en site de stockage à durée illimitée.

Le dossier déposé présente la fermeture du site par confinement du stockage, après déstockage des déchets les plus riches en mercure.

Face à la complexité du dossier, l'Etat a demandé l'avis de l'Autorité Environnementale (sur l'étude d'impact fournie dans le dossier) et une tierce-expertise pour mieux apprécier certains aspects techniques fondamentaux du dossier.

Dans le cadre de la procédure d'instruction du dossier et avant l'ouverture de l'enquête publique, le Préfet a sollicité des MDPA la précision de certains éléments du dossier suite à l'avis de la Tierce-Expertise et de l'Autorité Environnementale. Le présent mémoire regroupe les éléments de précisions demandés, tout en rappelant les principales données nécessaires à la compréhension du dossier. Ce document complète mais ne se substitue pas aux pièces du dossier déposé en 2015.

Le premier chapitre est consacré à l'environnement souterrain du stockage : le contexte géologique (le massif de sel gemme constitue un « bloc hôte » favorable à un stockage souterrain) et minier (le stockage est relié par des galeries aux anciens ouvrages souterrains des Mines de Potasse d'Alsace). Le stockage est dans un environnement stable et étanche mais il est relié par galeries à la mine Amélie qui se remplit progressivement de saumure.

Le deuxième chapitre est un zoom sur le stockage et le confinement planifié. Situés à 550 mètres de profondeur, les déchets seront isolés de la biosphère par ce confinement. L'évolution à très long terme est prise en compte : la cicatrisation du sel par fluage est le facteur favorable à un confinement efficace des déchets. Les barrières réalisées dans toutes les galeries d'accès et le remblayage du périmètre confiné auront pour rôle de ralentir les éventuels mouvements de la saumure qui aura pu être au contact des déchets. Au fil du temps cette mobilisation sera de moins en moins possible car les phénomènes physiques qui la régissent s'atténueront.

Le troisième chapitre est consacré aux déchets stockés : les contaminants qu'ils représentent, leur dissolution possible au sein du stockage, les concentrations dans la nappe alluviale si les polluants pouvaient remonter vers la surface, sous l'effet moteur du fluage du sel. Les concentrations dans la nappe sont présentées (par comparaison à l'étude d'impact 2015) en intégrant les résultats des analyses récentes sur les déchets réalisées dans le cadre de la tierce expertise (celles-ci ont permis d'ajuster en particulier les teneurs en mercure).

In fine, les précisions demandées par le Préfet et l'Autorité Environnementale sont abordées dans les différents chapitres (cf. tableau récapitulatif ci-après).

En fin de document, la bibliographie postérieure au dépôt du dossier de 2015 est fournie. »

Extrait du bilan, page 21 :

« Le stockage est donc entouré de formations étanches, les seuls points non étanches sont ses galeries d'accès, qui le relie à l'ancienne mine de potasse et aux puits de mine qui rejoignent le jour »

Synthèse, page 39 :

« Une migration de polluants depuis le stockage souterrain jusque dans la nappe alluviale ne peut apparaître qu'au terme de plusieurs étapes :

- il faut d'abord qu'un liquide atteigne les déchets (qui sont originellement secs et solides) pour les rendre mobilisables par dissolution,

- il faut ensuite qu'une force (contraire à la gravité) pousse le liquide pollué jusqu'en surface, cette force existe potentiellement du fait du fluage du sel.

C'est le rétrécissement des galeries autour des remblais et des déchets (sous l'effet du fluage du sel) qui définit le volume de saumure mobilisable. Les hypothèses peuvent varier, mais les scientifiques les plus expérimentés dans le domaine s'appuient, pour quantifier le phénomène, sur les lois de comportement du sel et des matériaux de remplissage des galeries, qui contribueront à soutenir les parois des galeries du stockage. Conscients des incertitudes sur ces quantifications et parce que les lois de comportement sont des équations complexes, les chiffres ne sont pas annoncés avec précision mais arrondis de façon sécuritaire.

En prenant appui sur différents modèles, les géomécaniciens concluent que la vitesse actuelle de réduction des vides (la convergence, qui est le moteur qui fait circuler la saumure) sera divisée par 100 d'ici 200 à 300 ans, et par 1000 d'ici 1000 à 2000 ans. Ce ralentissement dans le temps est le facteur favorable qui permet de prévoir une évolution des phénomènes de moins en moins propice à une sortie de saumure au fil du temps.

Plus le temps passe moins le fluage (l'auto-cicatrisation naturelle des terrains) peut mobiliser de saumure polluée. Or l'ennoyage de la mine n'est envisagé qu'à vitesse très lente. Le temps pour atteindre un ennoyage total est fonction du volume à remplir et du débit d'alimentation. L'ancienne mine de potasse a laissé des vides en souterrain et, même si les chiffres sont donnés avec des fourchettes variables selon les experts, ces vides (étendus sur une grande surface) représentent plusieurs dizaines de millions de m³ à remplir avant que la saumure ne parvienne à la hauteur du stockage. Par ailleurs, les débits qui peuvent alimenter ce volume ne sont, d'avis unanime, que de quelques milliers de m³ par an puisqu'ils proviendraient des puits de mine remblayés et que tout a été mis en œuvre pour réduire au maximum les infiltrations d'eau.

Comme le stockage est en position haute dans la mine Amélie, il ne sera atteint par la saumure qu'à la fin de l'ennoyage (hypothèse admise par l'INERIS : 240 ans environ, hypothèse pessimiste de la tierce-expertise : 70 ans).

Comme toutes les galeries d'accès au stockage seront équipées de barrières de confinement avec noyau de faible perméabilité, et que le comportement du sel montre un effet de cicatrisation autour de ces barrages, plus le temps passe plus l'étanchéité du confinement s'accroîtra. Les matériaux qui seront employés pour assurer la faible perméabilité des noyaux des ouvrages de confinement sont ceux dédiés aux ouvrages d'étanchéité les plus élaborés (tels qu'ils peuvent déjà être mis en place dans des stockages allemands). Cette faible perméabilité, associée à une longueur de 5 ou 6 mètres est conforme au double objectif de retarder la percolation de la saumure à travers les barrières et de retarder l'ennoyage complet du stockage.

Les remblais dans le stockage assureront également ce rôle : en étant étanches ils empêcheront la saumure d'atteindre les déchets, dans le cas contraire, leurs vides interstitiels devront être remplis par la saumure (ce qui se fera très lentement).

Les modélisations de ces phénomènes successifs aboutissent à des durées de plusieurs siècles pour ennoyer le stockage. A ces échéances, le fluage du sel autour du stockage ne pourra repousser vers la mine que des débits extrêmement faibles de saumure polluée. Dès le début de ses études, l'INERIS a indiqué que le confinement devait être conçu pour tenir un objectif de sortie de saumure après 1000

ans, objectif atteignable dans l'état de l'art actuel avec différents types de matériaux disponibles présentant des perméabilités inférieures à 1.10-18 m2.

En cas de sortie de saumure du stockage vers la mine, les polluants pourraient remonter, poussés par le même phénomène de fluage, jusque dans la nappe alluviale par l'intermédiaire des puits de mine (en admettant que la pression de la saumure polluée soit suffisante). L'évaluation de l'impact potentiel de cette sortie de saumure sur la qualité de la nappe nécessite au préalable la quantification du fluage résiduel des galeries du stockage (avec des lois de géomécanique comme indiqué plus haut) et l'évaluation des quantités de contaminants en solution dans la saumure polluée.

La marge d'erreur qui existe sur les quantités de contaminants stockés n'est pas très significative (ces dernières ont été réévaluées en 2016 à partir de nouvelles analyses très précises). Par contre, il est impossible d'évaluer la quantité de déchets qui sera atteinte par la saumure. Par sécurité, les effets d'un contact de la saumure avec TOUS les déchets ont été pris en compte dans la définition des concentrations de la saumure polluée au sein du stockage (terme-source).

Les différentes études concernant le terme-source convergent vers les mêmes résultats : la plupart des éléments sont en quantités insuffisantes pour polluer la nappe eu égard aux faibles débits potentiels pouvant sortir par fluage du périmètre confiné (toujours évalué à quelques m3/an) et aux dilutions importantes qui interviennent dans la mine, puis dans la nappe (débit de la nappe évalué à plusieurs millions de m3/an dans chaque maille du modèle hydrodynamique).

L'INERIS a réalisé des calculs de concentration dans la nappe, en cas de sortie de saumure, à échéance 1000 ans et à l'échelle d'un maillage de 125 m x 125 m (modèle mathématique créé par le BRGM pour la plaine d'Alsace). Le résultat de ces calculs ne montre aucun dépassement des normes de référence retenues dans la nappe, même dans les mailles de calcul les plus proches des puits de mine.

Les écarts entre normes de références et concentrations engendrées dans la nappe au terme des calculs d'impact sont très importants. En comparaison des limites de qualité, ces facteurs de sécurité sont supérieurs à 100 et atteignent plusieurs milliards pour certains éléments étudiés, excepté pour le mercure qui présente un facteur de sécurité plus faible (au minimum il est de 20 dans la couche la plus profonde de la nappe en l'absence de déstockage, ce facteur de sécurité passe à 320 avec déstockage de 93% du mercure, données 2016). En comparaison des valeurs de référence de l'« environnement local témoin » (parfois plus sévère que la limite de qualité liée à la potabilité), le constat est similaire avec des facteurs de sécurité très importants, les plus faibles étant attribués au mercure (au minimum le facteur de sécurité est de 4 dans la couche la plus profonde de la nappe en l'absence de déstockage, ce facteur de sécurité passe à 63 avec déstockage de 93% du mercure, données 2016).

Etant donné le nombre d'étapes successives pour aboutir à une sortie de polluant dans la nappe, il existe une marge d'incertitude sur les concentrations annoncées (dans le dossier 2015, les concentrations en mercure était par exemple deux fois plus élevées que celles présentées précédemment). Ce qui est important ce ne sont pas les valeurs elles-mêmes mais les facteurs de sécurité qui en résultent par rapport à la norme de référence. Dans le cas présent, les facteurs de sécurité résultants sont élevés.

Comme les concentrations peuvent être plus élevées que la concentration moyenne calculée en certains points à l'intérieur de ce champ de 125 m par 125 m, l'INERIS a préconisé une zone de sécurité autour des puits de mine. Pour préciser le phénomène, le tiers-expert a demandé des calculs à une échelle plus fine. Une représentation spécifique des concentrations en mercure a donc été réalisée, avec un maillage de 2 m par 2 m, dans la couche profonde de la nappe (situation la plus défavorable mise en évidence par les calculs précédents). Le résultat est un dépassement de la norme de potabilité et de la norme « environnement local témoin » sur des secteurs très limités en aval des puits de mine. En l'absence de

déstockage, ces « panaches » atteindraient, au maximum, et uniquement 150 m en l'absence de déstockage et 100 m pour un déstockage de 93% du mercure.

Le tiers expert avait précisé que, concernant le mercure, les concentrations calculées par l'INERIS correspondent bien à l'impact maximum qui peut avoir lieu, le mercure pouvant ne passer que partiellement en solution du fait des cyanures.

Pour conforter son analyse, l'INERIS a également travaillé sur des scénarios de confinement moins efficaces avec des sorties de saumure à plus courtes échéances (300 ans et 500 ans), démontrant que même dans ces cas, les concentrations en mercure dans la nappe ne pourraient que très localement dépasser les références retenues et en aucun cas mener à une pollution généralisée de la nappe d'Alsace. Ces scénarios sont considérés comme très peu probables par les autres experts dès lors qu'un confinement est mis en place. Le tableau ci-dessous récapitule ainsi les résultats des différents scénarios présentés dans le dossier de 2015 et mis à jour avec le nouveau terme source. »

Conclusion, page 48 :

« Le projet faisant l'objet du dossier actuellement à l'instruction consiste à isoler de manière définitive et irréversible les substances toxiques stockées en souterrain dans les galeries de StocaMine.

Les géotechniciens indiquent que le stockage est implanté dans un massif de sel, à 550 m de profondeur, dans un site favorable et que l'aménagement réalisé (creusement de galeries pour le stockage séparées par des piliers larges de 20 mètres) est stable et peut être rendu étanche par la mise en place de bouchons dans les galeries d'accès.

Un confinement élaboré est prévu, avec des barrières comportant un noyau de très faible perméabilité dans toutes les galeries d'accès du stockage.

Dans le stockage lui-même, il est prévu de mettre en place des remblais dans les blocs de stockage ne contenant pas de déchets, afin d'assurer la stabilité d'ensemble de la zone qui sera confinée.

L'objectif du confinement est de retarder d'au moins 1000 ans la sortie de saumure polluée du périmètre confiné du stockage.

La tierce-expertise réalisée suite au dépôt du dossier en 2015 confirme que les modalités envisagées par les MDPAs sont adaptées pour retarder le phénomène de mobilisation de saumure polluée bien au-delà de 1000 ans. En effet, les calculs réalisés mettent en évidence une émergence potentielle depuis le stockage au bout de 1 700 à 20 000 ans suivant les hypothèses retenues en particulier pour la porosité des matériaux de remblai mis en place dans les galeries non utilisées.

Le tiers-expert géomécanicien [A5] démontre que le « blocage » du phénomène pourrait se produire et empêcher les transferts de saumure au travers des barrières de confinement car les pertes de charge et forces de tension superficielles au sein des matériaux étanches seraient plus fortes que la pression lithostatique susceptible de mettre en mouvement la saumure.

De façon générale, la tierce-expertise [A2] valide les hypothèses et résultats des études présentées dans le dossier déposé ; les compléments d'étude ont été réalisés et ne remettent pas en cause les conclusions existantes. »

Extraits dossier 2022

Études [B1] à [B42]

Synthèse 29 : pièce [B1] bibliographie DDA

Etude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement

Volet 1 - Elimination des déchets déstockés (Rapport n°A104101/C)

Groupement ANTEA GROUP/TRACTEBEL ENGIE, 30 septembre 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B1] :

Auteurs : Groupement Antea Group /Tractebel Engie – Stéphanie DUGENEST

Contexte et objectif, pages, 6 et 7 :

« Le Ministre de la Transition Écologique et Solidaire a alors annoncé en février 2019 “le lancement d'une étude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement”.

Les MDPAs ont confié cette étude au groupement Antea Group – Tractebel Engie.

Trois scénarios, intitulés S2, S3 et S4, ont été analysés [...]. »

« Le présent rapport concerne le volet 1 – Elimination des déchets déstockés.

L'objectif est de déterminer les filières d'élimination et les entités pouvant réceptionner les quantités et quantités de déchets.

Compte tenu du retour d'expérience du déstockage achevé en 2017, le risque d'absence de filières d'élimination disponibles devra être particulièrement considéré et les solutions envisagées devront tendre à le minimiser.

Ce rapport fixe les données d'entrée à partir de l'ensemble des éléments transmis par les MDPAs : qualité, quantité et positionnement dans la mine des déchets stockés.

Ce rapport décrit également la méthodologie de recherche des filières d'élimination ainsi que les conclusions de cette démarche en présentant les solutions proposées par les différents prestataires en termes de chiffrage et de contraintes associées. »

Conclusions page, 62 :

« Ce volet consolide les données d'entrée nécessaires à l'étude concernant :

- Les tonnages de déchet impliqués dans les scénarios de déstockage,*
- Les types et nombres de conditionnement (colis) de déchet,*
- L'origine et la nature des déchets,*
- Les données disponibles de caractérisation physico-chimique des déchets,*
- La localisation des colis dans la mine StocaMine (cartographie).*

A partir de ces données, nous avons étudié la faisabilité d'élimination des déchets vers d'autres filières, à la suite d'opérations de déstockage. Les catégories de déchet étant souvent hétérogènes, nous avons distingué parmi elles des typologies, plus homogènes, pouvant relever d'une filière d'élimination

commune. Grâce à de nombreux échanges et allers-retours avec les éliminateurs, nous avons progressivement abouti aux résultats présentés.

Une solution d'élimination a été identifiée pour chaque typologie de déchet. Pour certaines, une solution de secours est également proposée.

Les filières d'élimination sont très majoritairement des solutions d'enfouissement, le stockage profond en mines de sel en Allemagne et l'installation de stockage de déchets dangereux, ISDD, en France. Ces résultats sont cohérents compte tenu de la filière d'élimination initiale de ces déchets, StocaMine.

L'ensemble des contraintes exprimées par les éliminateurs a été pris en compte. Différentes alternatives de prétraitement ou de déconditionnement et reconditionnement sont avancées pour y répondre.

Le coût d'élimination de chaque typologie de déchets a été estimé.

L'ensemble des coûts est repris dans le volet 9 de l'étude ([19]). »

Synthèse des filières d'élimination, page 54 :

« A partir des tableaux fournis en annexe VII, nous avons récapitulé dans le Tableau 20, les filières d'élimination principales impliquées pour chaque catégorie.

Pour plus de clarté, les filtres souillés présents dans les catégories A1, A2, B3 et C8 ont été extraits et figurent en bas de tableau, comme une catégorie de déchet à part entière. »

Catégorie de déchet		Tonnage	Filière
A1	Sels de trempé	2026,67	Stockage profond mines de sel
A2	Sels de trempé non cyanurés	1191,26	Stockage profond mines de sel
B10	Produits phytosanitaires non organiques	8,22	Stockage profond mines de sel
B3	Déchets arséniés	6843,29	Stockage profond mines de sel
		22,46	Incinération spécialisée en filière directe
B5	Déchets mercuriels	101,04	Stockage profond mines de sel
		28,67	ISDD (Laimont)
B6	Terres polluées et résidus pollués par métaux lourds	1657,84	ISDD
		544,1	ISDD
		2,7	ISDD
		2561,07	ISDD
		25,45	Resolest
		89,18	Incinération spécialisée en filière directe
		284,33	Stockage profond mines de sel
		12,21	Stockage profond mines de sel
C4	Déchets chromiques	428,81	Stockage profond mines de sel
C8	Déchets de galvanisation, rétentat de filtration	559,91	ISDD
		30,29	Stockage profond mines de sel
D12	Déchets de laboratoire	92,85	Incinération spécialisée PCB
		50,54	Stockage profond mines de sel
D7	Résidus de l'industrie (de l'électronique)	9,88	ISDD
		126,89	Stockage profond mines de sel
	Déchets générés pdt déstockage	332,00	ISDD
		133,50	ISDD
		27,20	Préparation de charge pour cimenterie
		8,92	ISDD (Laimont)
E13	Déchets amiantés	3335,15	ISDD (Laimont)
E9	Résidus d'incinération de déchet	19757,54	ISDD
	Filtres souillés (extraits de A1, A2, B3 et C8)	77,9	Incinération spécialisée en filière directe
TOTAL		40369,87	

Tableau 20 : Synthèse des filières d'élimination

Synthèse des filières par scénario, page 60 :

« Le bilan des filières d'élimination concernées par les scénarios de déstockage S2, S3 et S4 figure dans le Tableau 22 :

Filière	Scénario S2		Scénario S3		Scénario S4 Base		Scénario S4 Avec Opportunités	
	Tonnage	Proportion (%)	Tonnage	Proportion (%)	Tonnage	Proportion (%)	Tonnage	Proportion (%)
Stockage profond mines de sel	11103,55	27,5%	11103,55	66,2%	6913,88	75,6%	7405,85	76,8%
ISDD	25558,54	63,3%	5335,50	31,8%	2205,31	24,1%	2205,31	22,9%
ISDD (Laimont, déchet amianté)	3372,74	8,4%	28,67	0,2%	0	0%	0	0%
Co INC	27,20	0,1%	0	0%	0	0%	0	0%
Inc FD	189,54	0,5%	189,54	1,1%	30,16	0,3%	30,16	0,3%
Inc PCB	92,85	0,2%	92,85	0,6%	0	0%	0	0%
Resolest	25,45	0,1%	25,45	0,2%	0	0%	0	0%
TOTAL	40369,87	100%	16775,56	100%	9149,35	100%	9641,32	100%

Tableau 22 : Répartition des filières d'élimination en fonction des scénarios de déstockage

En fonction des scénarios S2 d'une part et S3-S4 d'autre part, on observe une inversion de la filière prépondérante.

En effet dans le cas d'un déstockage total, la filière principale (environ 2/3) d'élimination des déchets est l'installation de stockage de déchets dangereux, ISDD (cf Figure 10).

En revanche, si les déchets amiantés, résidus d'incinération et déchets générés sont laissés en fond de mine (S3), le déstockage se fera très majoritairement (environ 2/3) vers le stockage profond en mines de sel en Allemagne (cf Figure 11).

Le scénario S4 de base (cf Figure 12) impliquant à la fois un nombre de catégories de déchet et un tonnage plus restreints, intègre seulement trois filières dont deux nettement prépondérantes : le stockage profond en mines de sel en Allemagne (environ 3/4) et l'installation de stockage de déchets dangereux (environ 1/4). »

Synthèse 30 : pièce [B2] bibliographie DDA

Etude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement

Volet 2 - Evaluation des risques sécurité et environnementaux (Rapport n°A105231/C)

Groupement ANTEA GROUP/TRACTEBEL ENGIE, 30 septembre 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B2] :

Auteurs : Groupement Antea Group /Tractebel Engie – C. SCHARFF et E. LE PRIEUR

Contexte et objectif :

Extraits des pages 8 et 9

« Le Ministre de la Transition Écologique et Solidaire a alors annoncé en février 2019 “le lancement d’une étude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d’un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement”.

Les MDPA ont confié cette étude au groupement Antea Group – Tractebel Engie.

Trois scénarios, intitulés S2, S3 et S4, ont été analysés [...]. »

« L'étude comprend neuf volets définis dans le cahier des charges [...] »

L'objectif du second volet de cette étude est l'analyse :

- des risques santé des opérateurs du déstockage et de l'entretien minier,
- du risque environnemental en surface
- de l'impact environnemental local à terme sur la nappe phréatique d'Alsace (aspect hydrogéologique)
- du risque environnemental lié à l'élimination des déchets vers d'autres centres agréés, à leur retraitement ou enfouissement

Synthèse et conclusions

Analyse des risques santé des opérateurs du déstockage et de l'entretien minier (pages 40 à 42) :

« L'application de la méthodologie d'évaluation des risques pour les travaux d'extraction et de transport des colis, et pour les travaux de confinement permet de faire apparaître les risques majeurs à maîtriser en priorité.

Il apparaît clairement dans l'évaluation que les risques liés aux produits, aux émissions et aux déchets dont l'amiante constituent le risque majeur des activités envisagées, et ce en mettant également en perspective les données issues du REX disponible pour les travaux réalisés antérieurement.

La pluralité d'éléments chimiques stockés dans les blocs déchets de nature dangereuse voire cancérigène, mutagène et/ou reprotoxique nécessite la mise en pratique d'actions de prévention et de

protection renforcées, sur la base de celles déjà existantes pour la prévention des expositions à l'amiante.

Ces prescriptions renforcées sont d'autant plus importantes que le contexte minier du projet rajoute des contraintes d'environnement et d'espace, pouvant entraîner la diminution du niveau de protection des personnels.

Les préconisations issues des travaux en « Sous-section 3 » sont donc incontournables, en particulier en cas de manutention par chariot de colis ou fûts de déchets dégradés, et lors des reconditionnements de colis et fûts.

Le nombre significatif de malaises entre 2014 et 2017 dans les phases de travaux antérieurs – mais dont l'origine n'est pas clairement établie en l'absence de données précises – peut tout de même être considéré comme une alerte sur la dimension de ce risque.

Un lien peut être établi avec les ambiances thermiques au fond qui nécessitent des rythmes de travail en adéquation avec le contexte minier et réglementaire. Il convient de se référer aux rythmes de travail validés par l'Inspection du Travail sur la période de référence 2014 – 2017, en prenant également en compte :

- La durée maximale de vacation de 6h pour l'amiante ;
- Le suivi médical renforcé du personnel tout au long des travaux en « chantier chaud ».

Par ailleurs, le choix d'un scénario engageant le retrait d'un pourcentage élevé de colis est un facteur de multiplication du risque, et donc de la probabilité d'accidents et d'incidents.

En sus du risque lié aux produits, aux émissions et aux déchets dont l'amiante, il convient également de mettre en valeur ici :

- Les risques liés **aux effondrements et aux chutes d'objet** propres aux travaux miniers de sécurisation ;
- Les risques **de trébuchement, heurt ou toute autre perturbation du mouvement** liés à la circulation d'engins et de personnel dans les galeries.

Ces risques sont source d'accidents et d'incidents pour le personnel ; leur maîtrise ne peut être efficace qu'en mettant en application des mesures de prévention et de protection adaptées au contexte minier, comme :

- La réalisation d'étapes structurées de sécurisation des galeries ;
- La maîtrise de l'encombrement induit par les installations / équipements de chantiers ;
- L'instauration d'un plan de gestion des circulations horizontales/verticales en fond/surface.

Il est établi que le scénario le plus sécurisé reste le scénario avec maintien des blocs en l'état sans retrait des déchets, hors travaux de confinement.

Les scénarios de déstockage S2, S3 et S4 présentent des risques professionnels élevés maîtrisables sous couvert d'instauration de mesures de sécurité standards et spécifiques pour les risques liés aux produits toxiques (déchets), pour les risques de heurt et les risques d'effondrement.

Les opérations liées au déstockage sont celles qui génèrent le plus de risques pour les opérateurs. Une cotation globale, présentée ci-après montre que le scénario S2 présente 4 risques élevés et les scénarios S3 et S4 en présentent 3.

Tableau 16 : Cotation globale des risques professionnels

Risques	Cotations finales (avec application des barrières de prévention et protection)					
	S2		S3		S4	
	Extraction, retrait et transport des colis	Confinement par barrages d'étanchéité et remblayage	Extraction, retrait et transport des colis	Confinement par barrages d'étanchéité et remblayage	Extraction, retrait et transport des colis	Confinement par barrages d'étanchéité et remblayage
Risques de trébuchement, heurt ou toute autre perturbation du mouvement	Élevé	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Risques de chute de hauteur	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Risques liés aux circulation internes de véhicules	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Risques routiers en mission	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Risques liés à la charge de travail physique	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Risques liés à la manutention mécanique	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Risques liés aux produits, aux émissions et aux déchets	Élevé	Moyen	Élevé	Moyen	Élevé	Moyen
Risques liés aux agents biologiques	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Risques liés aux équipements de travail	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Risques liés aux effondrements et aux chutes d'objet	Élevé	Moyen	Élevé	Moyen	Élevé	Moyen
Risques et nuisances liés au bruit	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Risques liés aux ambiances thermiques	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Risques d'incendie, d'explosion	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Risques liés à l'électricité	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Risques liés aux ambiances lumineuses	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Risques liés aux rayonnements	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Risques psychosociaux	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Risques de malaises	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Risques liés à l'amiante	Élevé	Moyen	Élevé	Moyen	Élevé	Moyen
COTATION GLOBALE	Élevé					

Echelle de cotation :

Risque élevé / fort	Élevé
Risque toléré / moyen	Moyen
Risque acceptable / négligeable	Moyen

Enfin, les risques liés à la coactivité peuvent être maîtrisés en assujettissant les travaux au régime de la coordination SPS, permettant la définition d'un ensemble de mesures propres à prévenir les risques découlant de l'interférence des activités des différents intervenants sur le chantier, ou de la succession de leurs activités lorsqu'une intervention laisse subsister après son achèvement des risques pour les autres entreprises. »

Analyse du risque environnemental en surface

➤ Risque chronique

Page 43

« Il ne s'agit pas ici de réaliser l'Etude d'Impact du projet, au sens de l'article R.122-5 du Code de l'environnement. L'objectif est de faire une analyse des enjeux environnementaux et des incidences environnementales prévisibles des scénarios envisagés, afin de fournir au Ministre les éléments nécessaires pour pouvoir statuer sur la pertinence de la mise en œuvre du projet de déstockage, et le cas échéant d'identifier le plus favorable des 3 scénarios considérés.

Le présent chapitre comprend :

- Une rapide présentation du projet (§ 4.1.2) ;
- L'évaluation des enjeux environnementaux (§ 4.1.3) ;
- L'évaluation des incidences prévisibles du projet (§ 4.1.4, § 4.1.5 et § 4.1.6) ;
- La justification des choix du projet (§ 4.1.7).

Nota : L'analyse porte sur les différentes thématiques de l'environnement, à l'exception de l'incidence sur la nappe souterraine profonde qui fait l'objet d'un chapitre spécifique (voir § 5). ».

Page 56

« Les principaux enjeux environnementaux du projet sont les suivants :

- **Enjeu moyen** pour les zones naturelles : présence de plusieurs zones à moins de 500 m du projet ;
- **Enjeu fort** pour les populations de la cité Joseph-Else compte tenu de leur proximité (enjeu vis-à-vis de l'incidence paysagère, sonore, lumineuse et du trafic du projet) ;
- **Enjeu fort** pour la perception du projet (collectif « Déstocamine ») ;
- **Enjeu potentiellement fort** pour la faune-flore sur la zone B, compte tenu de l'absence d'usage actuel de la parcelle et de la proximité avec des terrains naturels dont une ZNIEFF et un réservoir du SRCE → **Nécessité de procéder à un diagnostic écologique pour identifier précisément les enjeux.** »

Page 58

« D'après les informations disponibles, les incidences prévisibles en phase de travaux ne seront vraisemblablement pas de nature à remettre en cause la faisabilité du projet.

Par ailleurs, les travaux, et donc les incidences associées, seront identiques quel que soit le scénario retenu. Ainsi, l'analyse détaillée des incidences pour chaque thématique n'apporterait pas d'élément permettant de comparer les 3 scénarios envisagés.

Aucune évaluation plus détaillée des incidences en phase de travaux n'est donc réalisée à ce stade. »

Pages 82 à 83

« Une cotation globale [des incidences environnementales prévisibles du projet en phase d'exploitation], présentée ci-dessous montre que :

- le scénario S2 présente 4 impacts forts, 2 impacts moyens à forts et 1 moyen,
- les scénarios S3 et S4 présentent 2 impacts moyens à forts et 5 impacts moyens.

Tableau 33 : Cotation globale des impacts environnementaux

Milieux		S1	S2	S3	S4
Milieu physique	Incidence sur la qualité du milieu souterrain				
	Consommation en ressources du sol				
	Consommation de la ressource en eau				
	Incidence sur le réseau d'assainissement				
	Incidence sur le réseau d'eaux pluviales				
	Incidence sur les eaux souterraines				
	Incidence sur la qualité de l'air				
	Incidence sur le climat				
Milieu naturel	Incidence sur les zones naturelles				
	Incidence sur les espaces naturels, la faune et la flore au droit du projet				
	Insertion paysagère				
Milieu humain	Incidence sur les populations				
	Perception du projet				
	Incidence sur le contexte socio-économique				
	Incidence sur le trafic routier				
	Ambiance sonore				
	Ambiance lumineuse				
	Ambiance olfactive				
	Incidence sur la santé				
	Production de déchets de procédés				
	Production de déchets de fonctionnement				
	Consommation énergétique directe				
	Consommation énergétique indirecte				
COTATION GLOBALE					

Légende :

Effet négatif fort	
Effet négatif moyen à fort	
Effet négatif moyen	
Effet négatif faible	
Effet nul ou négligeable	
Effet positif faible	
Effet positif moyen	
Effet positif fort	

- Incidences liées au fonctionnement du projet :
 - Incidence **négative moyenne à forte** sur les populations de la cité Joseph-Else, compte tenu de la circulation des voitures (trafic et nuisances sonores associées) ;
 - Incidence **positive** sur le contexte socio-économique.

Rappelons que ces incidences seront présentes sur la durée du projet (environ 6,5 ans pour S2 / 5,5 ans pour S3 / 4,5 ans pour S4).

- Incidences liées au scénario retenu :
 - Incidence **négative forte (S2) à moyenne (S3 et S4)** compte tenu de la consommation de remblais ;
 - Incidence **négative forte (S2) à moyenne (S3 et S4)** vis-à-vis des quantités de déchets dangereux générés par le projet ;
 - Incidence **négative forte (S2) à moyenne (S3 et S4)** pour la consommation de carburant des trajets PL et les émissions de GES associées ;

- Incidence **positive forte (S2)** à **moyenne (S3 et S4)** pour la perception du projet par les populations (collectif « Déstocamine »).

Le fonctionnement « quotidien » du projet entrainera des **incidences négatives moyennes à fortes** sur les populations de la cité Joseph-Else, compte tenu de la **circulation des voitures** (trafic et nuisances sonores associées) à 5h, entre midi et 14h, puis à 22h. Rappelons que les populations impactées concernent une vingtaine de riverains au sud de la cité Joseph-Else.

Le projet aura également des incidences négatives notables sur :

- La **consommation de matériaux** et la **production de déchets dangereux**, compte tenu des quantités de déchets à déstocker ;
- La **consommation de carburant** et les **émissions de GES associées**, en raison des trajets importants parcourus par les poids-lourds pour l'évacuation des déchets.

Ces incidences seront fortes pour le scénario S2, et moyennes pour les scénarios S3 ou S4.

Notons que ces incidences vont à l'encontre de certains grands objectifs environnementaux actuels, repris par le SRADDET (Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires) de la région Grand-Est, adopté en novembre 2019 et listés ci-après. En effet, le projet de déstockage, quel que soit le scénario, engendrerait en particulier un trafic relativement important et surtout des émissions de GES relativement élevées du fait de la répartition des déchets déstockés vers d'autres centres d'ailleurs parfois très éloignés.

Tableau 34 : Objectifs environnementaux du SRADDET et impacts potentiels du projet à l'encontre de ces objectifs

Grands objectifs environnementaux	Impacts potentiels du projet de déstockage à l'encontre de ces objectifs
Objectif 1 : Devenir une région à énergie positive et bas carbone à l'horizon 2050	Consommations en énergie fossile et émissions de GES
Objectif 3 : Rechercher l'efficacité énergétique des entreprises et accompagner l'économie verte	Consommations en énergie fossile et émissions de GES
Objectif 13 : Développer l'intermodalité et les mobilités nouvelles au quotidien	Distances parcourues par les PL importantes
Objectif 17 : Réduire, valoriser et traiter nos déchets	Génère de nouveaux déchets dangereux

»

Page 84

« Aucun effet cumulé notable n'est attendu entre le projet étudié et un autre projet dans son environnement. »

➤ **Risque accidentel**

Page 87

« Il ne s'agit pas ici de réaliser l'Etude de Dangers du Projet de déstockage, au sens des articles L181-14 et L181-25 du Code de l'Environnement. L'objet de l'analyse du risque accidentel est d'apprécier la

libération des potentiels de dangers significatifs (explosion, incendie...) et de préconiser des **mesures de protection/prévention** à mettre en œuvre pour **maîtriser les risques résiduels** jugés inacceptables.

Cette évaluation pourra souligner des **niveaux de risques** distincts selon **les 3 scénarios de déstockage** considérés et désigner de fait des scénarios de déstockage plus favorables que d'autres en termes de maîtrise du risque accidentel. »

« **L'analyse du risque accidentel** ici présentée ne porte que sur les installations de surface du projet de déstockage. L'étude des risques en souterrain est proposée dans le **Volet 7 de l'étude [4]**. »

Conclusion, pages 133 et 134

« L'analyse des risques [accidentels] a permis d'identifier un phénomène dangereux devant faire l'objet d'une estimation des conséquences (incendie du stockage extérieur de consommables) ainsi qu'un risque de déversement accidentel lié au transport des déchets vers les sites récepteurs.

Afin de comparer les scénarios entre eux, une cotation des risques est proposée et argumentée de la façon suivante :

Risques	Cotations finales				Commentaire
	S1	S2	S3	S4	
Risque lié à l'incendie des stockages en surface					Situation S1 : pas de déstockage de consommables donc pas de risque associé ; on décote les autres scénarios d'un niveau pour montrer que le stockage apporte un risque mais maîtrisé (zones d'effets maintenues sur site)
Risque de déversement accidentel lié au transport des déchets vers les sites récepteurs					Situation S1 : pas de transport de déchets vers l'extérieur donc pas de risque associé ; on décote les autres scénarios d'un niveau pour montrer que le stockage apporte un risque mais maîtrisé

COTATION GLOBALE					
-------------------------	--	--	--	--	--

Légende :

Risque fort	
Risque moyen	
Risque faible	
Risque négligeable	

»

Analyse de l'impact environnemental local à terme sur la nappe phréatique d'Alsace (aspect hydrogéologique)

Pages 136 et 137

« **Globalement, l'impact environnemental local sur les eaux souterraines de la nappe d'Alsace des scénarios S2, S3 et S4, en ne considérant que l'aspect hydrogéologique, sera faible et a priori du même ordre de grandeur que celui quantifié dans l'étude du scénario S1.**

Cet avis est détaillé dans le tableau de synthèse de la page suivante.

	Scénario S1 de référence INERIS => état actuel	Bénéfice environnemental des scénarios S2, S3 et S4 par rapport au scénario S1
Terme source	Prise en compte des dernières évaluations de la masse des éléments et des modélisations de l'INERIS (2016).	Modification du terme source (tonnages et équilibres géochimiques) Le bénéfice environnemental local sur la nappe d'Alsace (aspect hydrogéologique) n'est pas démontré si réalisation des scénarios S2, S3 ou S4.
Débit d'arrivée de la saumure Arrivée de la saumure au droit des barrages Ennoyage complet des travaux miniers	Sécuritaire, d'après les dernières mesures sur les sondages VAPB2 et VLPB2 l'ennoyage des travaux miniers est plus lent que l'évaluation faite par l'INERIS => en faveur d'une meilleure performance des barrages en retardant l'arrivée de la saumure saine.	Aucun, le déstockage des déchets n'aura pas d'influence sur l'ennoyage des travaux miniers. Le processus d'ennoyage des travaux miniers est indépendant du stockage, il dépend en effet des débits d'infiltrations (via les puits de mine) et des volumes disponibles des travaux miniers.
Date de fin d'ennoyage du stockage Débit de sortie de saumure contaminée	Sécuritaire d'après la dernière étude d'ITASCA => débit de saumure contaminée plus faible que celui évalué par l'INERIS et date de sortie de la saumure contaminée au travers des barrages supérieure à 1 000 ans.	D'après ITASCA, le déstockage n'a qu'un effet marginal sur la date et le débit de sortie de la saumure contaminée. Selon ces hypothèses les scénarios envisagés n'ont pas d'effet sur ces deux paramètres.
Débit de sortie de saumure contaminée diluée dans la saumure saine par les 5 puits	Sécuritaire, dilution moins importante sur les 5 puits que sur les 15 puits.	Le débit de sortie de saumure contaminée n'étant pas lié au déstockage des déchets, la dilution dans la saumure saine sera la même pour les 3 scénarios envisagés en comparaison avec le scénario S1.
Modélisation des concentrations dans la nappe d'Alsace	Pour l'ensemble des éléments étudiés, les concentrations dans la nappe d'Alsace sont faibles et inférieures aux seuils réglementaires en considérant un maillage de 125 m par 125 m. Pour le mercure, l'extension des panaches au droit de chaque puits, calculé à partir des résultats obtenus par le BRGM dans la couche 3 (couche alluvionnaire profonde) du modèle pour un maillage de 2 m par 2 m, montre que l'iso-concentration correspondant à la limite de qualité pour une eau de consommation humaine ne s'étend qu'à proximité immédiate des puits.	Faible, l'impact global sur la nappe d'Alsace sera du même ordre de grandeur.

Tableau 46 : Evaluation du bénéfice environnemental local sur la nappe d'Alsace (aspect hydrogéologique) de chaque scénario en comparaison avec le scénario S1

»

Analyse du risque environnemental lié à l'élimination des déchets vers d'autres centres agréés, à leur retraitement ou enfouissement

➤ Risque environnemental chronique

Page 138

« L'ensemble des opérations de déstockage, reconditionnement potentiel et enlèvement seront réalisées sur le site des MDPA. Seules les opérations de réception, traitement ou enfouissement pourront avoir une incidence potentielle sur l'environnement des sites récepteurs.

Notons cependant que l'ensemble des sites récepteurs sont autorisés au titre des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement. A ce titre, ils disposent d'arrêtés préfectoraux d'Autorisation qui encadrent leurs activités. Ces autorisations prennent en compte l'ensemble des mesures d'évitement, réduction et/ou compensation mises en place pour supprimer ou maîtriser les risques environnementaux des activités.

Ces autorisations définissent des volumes et tonnages de déchets réceptionnés sur les sites. Les déchets issus du déstockage et éliminés vers ces centres sont donc intégrés à ces autorisations ; ils ne représentent pas des volumes ou tonnages supplémentaires. »

De ce fait, il n'y a pas d'incidence supplémentaire par rapport à celles existantes déjà sur ces sites récepteurs.

➤ **Risque environnemental accidentel**

Page 141

« Le transport des colis de déchets depuis l'établissement des MDPA vers d'autres centres agréés est réalisé par voie routière.

Ce transport est un Transport de Marchandises Dangereuses encadré à ce titre par la réglementation spécifique applicable que constitue l'ADR (Accord européen pour le transport international de marchandises Dangereuses par Route) mis en œuvre en France par l'arrêté du 29 mai 2009 relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (dit « arrêté TMD »). Cet arrêté, pris pour l'application de l'article L. 1252-1 du code des transports, constitue également la transposition de la directive 2008/68/CE. Ledit règlement fixe les conditions dans lesquelles ce transport peut être réalisé, et désigne en particulier un ensemble de dispositions relatives à l'emballage et l'étiquetage des marchandises (annexe A) et à la construction, équipement et circulation du véhicule (annexe B), dispositions qui constituent autant de mesures de sécurité pour prévenir tout incident lors du transport. »

Synthèse 31 : pièce [B3] bibliographie DDA

Etude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement

Volet 3 - Etude des techniques à mettre en œuvre et de leur sécurisation – prise en compte des contraintes de la mine (Rapport n° A105278/C)

Groupement ANTEA GROUP/TRACTEBEL ENGIE, 30 septembre 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B3] :

Auteurs : Groupement Antea Group /Tractebel Engie – Serge GODART et Stéphanie DUGENEST

Contexte et objectif, extraits des pages 9 et 10

« Le Ministre de la Transition Écologique et Solidaire a alors annoncé en février 2019 “le lancement d’une étude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d’un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement”.

Les MDPa ont confié cette étude au groupement Antea Group – Tractebel Engie.

Trois scénarios, intitulés S2, S3 et S4, ont été analysés [...]. »

« L'étude comprend neuf volets définis dans le cahier des charges [...] »

« Ce volet s’articule essentiellement autour de trois thèmes :

- La définition des engins nécessaires aux potentielles activités de déstockage ;
- La définition des méthodes relatives au déstockage, le reconditionnement provisoire en souterrain, la sécurisation minière et le reconditionnement définitif en surface ;
- La définition des moyens humains, leur protection vis-à-vis des risques chimiques et des engins de chantier ainsi que la définition des Installations Temporaires de Chantier.

La conclusion de ce volet est la prise en compte de l’ensemble des paramètres qui permettra de définir les cadences d’avancement de déstockage globalisées qui seront utilisées dans le volet 4 pour la définition des plannings de déstockage. »

Définition des moyens techniques, page 13 :

A la page 13 est présenté une liste des moyens techniques à acheter en cas de déstockage :

« Conformément aux conclusions du volet 6 de l'étude ([15]), au regard de la vétusté des équipements miniers, il est nécessaire d'acheter plusieurs véhicules :

- Chariots élévateurs équipés de plusieurs outils hydrauliques adaptés (pour chaque atelier de déstockage) :
 - Pincés à big bag,
 - Fourche inversée,

- Potence à big bag,
- Pince à fûts,
- Benne basculante.
- Engins tracteurs pour le remorquage des colis de déchets ;
- Remorques pour le transport des colis de déchets ;
- Excavatrices ;
- Boulonneuses ;
- Engins de transport de personnel.

Afin de satisfaire aux besoins du déstockage, plusieurs autres équipements doivent également être achetés :

- Aspirateur pour dégonflage des big bag ;
- Vibreurs industriels pour faciliter le dégonflage des big bag ;
- Ventilateurs d'extraction avec gaines et capteurs ;
- Blocs de filtration H11-H13-H14 ;
- Etauçons hydrauliques.

»

En complément de la liste ci-dessus, vient s'ajouter des véhicules de secours à personne et véhicules pour intervention sur incendie.

Les éléments techniques détaillés de chacun des moyens sélectionnés sont également présentés dans ce volet mais ne sont pas intégrés à cette synthèse. Ils ont été définis en prenant en compte un certain nombre de contraintes (page 14) :

« Le choix des engins est dicté par de nombreuses contraintes qui sont globalement de deux types :

- Les contraintes géométriques et fonctionnelles qui influencent la faisabilité des opérations [notamment dimension utile du puits, dimension des galeries];
- Les contraintes réglementaires et législatives qui influencent surtout le coût des opérations [notamment la réglementation ATEX, le Règlement Général des Industries Extractives, le Code du travail et autres normes cadrant la production des engins].

»

Technique de déstockage, page 41

« La définition des techniques de déstockage a été basée sur l'analyse des modes opératoires mis en œuvre par la société SAARMONTAN lors du déstockage de 2015-2017. Cette analyse se décline :

- D'une part, sur les aspects fonctionnels en essayant d'améliorer l'efficacité des procédures en y intégrant des équipements complémentaires ;
- D'autre part, sur les aspects sécurité du personnel, par exemple, en intégrant des EPI complémentaires ou des méthodes alternatives.

L'analyse a également été menée à la lumière des propositions faites par le BRGM (BRGM, 2015 Délais de déstockage total des déchets (hors bloc incendié) StocaMine : analyse du délai de 15 ans et de scénarios alternatifs. Rapport final BRGM/RP-68334-FR. 224 p).

La définition proposée des zones dans le [rapport du BRGM] en relation avec l'exposition aux contaminants semble cohérente avec un fonctionnement durant les phases d'extraction de colis :

- « Zone rouge » : front d'extraction exposé aux contaminants ;
- « Zone bleue » : SAS de transfert entre zone rouge et zone verte ;
- « Zone verte » : le reste de la mine. »

Pour chacune de ces zones sont définis les Equipements de Protection Individuelle (combinaison, masque, lunette, protection auditive, casque, chaussure de sécurité, gants...) et collective (SAS de décontamination notamment).

Puis l'étude définit deux méthodes d'extraction de big-bag bloqué (par dégonflage/aspiration, mécanique par fourche, pince ou potence suivant les configurations) et une méthode d'extraction des fux bloqués (utilisation d'une pince à fût fabriquées sur mesure).

Reconditionnement provisoire des colis de déchets en souterrain, page 47

« Conformément au document [BRGM, 2015 Délais de déstockage total des déchets (hors bloc incendié) StocaMine : analyse du délai de 15 ans et de scénarios alternatifs. Rapport final BRGM/RP-68334-FR. 224 p], le choix a été fait d'un reconditionnement définitif en surface. Le reconditionnement en souterrain est provisoire et permet d'assurer :

- L'étanchéité des colis et éviter la dissémination des produits ;
- La sécurisation mécanique des colis durant le transfert vers la surface.

Afin de réduire ces risques, la réduction du nombre de manutentions est nécessaire. C'est pour cette raison qu'aucune manutention au droit du puits Joseph n'est réalisée. »

Trois cas ont été étudiés :

- Colis à déstocker avec reconditionnement provisoire par sur-ensachage
- Colis à déplacer (scénario 4 et 5) avec reconditionnement provisoire par sur-ensachage et sur big-bag et stockage en zone d'attente spécifique avant restockage
- Gestion d'un colis amianté déchiré avec procédure et EPI spécifique pour sa prise en charge, reconditionnement avec un sur-ensachage de chaque élément individuel dans une sache globale et ensuite un sur-big bag

Dans les trois cas, les colis seront placés dans un container de transfert pour assurer leur déplacement en sécurité.

Sécurisation minière, pages 49 et 50

« La troisième étape du cycle de déstockage, après l'extraction et le reconditionnement provisoire, est la sécurisation minière afin de poursuivre les opérations dans des conditions de sécurité suffisante.

Le BRGM ([BRGM, 2015 Délais de déstockage total des déchets (hors bloc incendié) StocaMine : analyse du délai de 15 ans et de scénarios alternatifs. Rapport final BRGM/RP-68334-FR. 224 p]) préconise le maintien de la délimitation de la zone rouge tout au long du déstockage d'un bloc. En effet, dans l'analyse des cycles de déstockage de 2015, il apparaît qu'une durée non négligeable du cycle est consacrée au nettoyage.

En opposition, le BRGM préconise également une phase de décontamination « essentielle » pour limiter la dissémination des polluants qui sont pour la plupart sous une forme pulvérulente.

L'analyse des propositions du document [BRGM, 2015 Délais de déstockage total des déchets (hors bloc incendié) StocaMine : analyse du délai de 15 ans et de scénarios alternatifs. Rapport final BRGM/RP-68334-FR. 224 p] au regard des contraintes de la mine, permet de conclure que le maintien d'une zone rouge étendue tout au long du déstockage d'un bloc n'est pas souhaitable pour plusieurs raisons : [...] »

« Le BRGM ([BRGM, 2015 Délais de déstockage total des déchets (hors bloc incendié) StocaMine : analyse du délai de 15 ans et de scénarios alternatifs. Rapport final BRGM/RP-68334-FR. 224 p]) préconise également la mise en place de cintres coulissants dans les galeries de stockage. L'analyse menée dans le volet 6 ([14]) conclut que la stabilité de la mine est parfaitement gérée par les MDPA pour différents soutènements des plus légers [...] aux plus lourds [...]. L'expérience montre que la mise en place de ces différents types de soutènement est faisable mais néanmoins non souhaitable dans les galeries de stockage. En effet, la mise en place d'un soutènement lourd au droit des galeries de stockage présente peu d'intérêt pour plusieurs raisons : [...] »

« Le boulonnage est en revanche la seule solution à notre disposition afin de garantir un gabarit de passage nécessaire et suffisant pour les activités de déstockage. »

« En complément de la méthode proposée, des mesures de convergence additionnelles doivent être réalisées juste à l'arrière du front (après purge des éléments) afin de vérifier l'évolution des convergences à court terme et de pouvoir réagir rapidement en cas de convergence extrême. »

Ventilation des fronts de déstockage

Page 52

« StocaMine dispose d'un système d'aéragé pour permettre le travail dans le stockage (§ 5 du document en référence [14]). Durant les phases de chantier, l'air neuf doit être dirigé vers la zone qui sera déstockée. L'installation d'un système d'aéragé supplémentaire s'avère alors nécessaire pour garantir un flux d'air contrôlé près de la zone de déstockage et pour éviter une dissémination de poussières dans la mine.

Pour cela, il a été choisi de mettre en place une installation fixe (seul le linéaire de gaine évolue avec le déplacement du chantier de déstockage dans chacune des 3 allées principales de travail) munie d'une filtration avec aspiration à la source [...] »

« L'air aspiré passe par un dispositif de filtration constitué du bloc de préfiltres H11 pour filtrer la poussière grossière de sel et préserver les filtres HEPA (High Efficiency-Particulate Air) des blocs H13 et H14 retenant les poussières fines, y compris les fibres d'amiante. »

Page 59

« En premier lieu, il convient de rappeler que l'augmentation de débit au-delà de 12 m³/s n'est pas retenue pour les raisons suivantes :

- *Cela génère des pertes de charges élevées sur l'ensemble du réseau ;*

- *La diminution de ces pertes de charges peut être compensée par l'augmentation de la taille des gaines mais cela reste inenvisageable dans un environnement très contraint par la taille des galeries ;*
- *La plage de fonctionnement du bloc H11 est de 10 à 12 m³/s. Au-delà, il y a un risque de décollement des filtres (voir document [Descriptif technique du DVS 10 – COGEMACOUSTIC – 30 janvier 2012]).*

Il est également à noter que bien que le bloc de filtration H11 soit fortement déprimogène, il n'existe pas de meilleure alternative ayant une efficacité similaire au vu de l'encombrement donné. En effet, une filtration de type cyclonique visant à isoler les particules grossières et générant peu de pertes de charge nécessiterait une hauteur de colonne supérieure à celle des galeries pour un débit de 12 m³/s. Enfin, l'analyse du dimensionnement des ventilateurs post filtration permet de valider la reproductibilité des solutions techniques proposées au travers des précédentes phases de travaux. »

Il est précisé également en page 59 « que la ventilation de chantier ne peut participer directement au confort thermique au niveau des fronts de déstockage. » et en page 58 que « Considérer un changement plus fréquent des équipes de travail est une disposition organisationnelle notable dont la gestion impacte la cadence d'avancement des opérations de déstockage. Ainsi si l'on souhaite augmenter les cadences de travail en améliorant le confort thermique au niveau des différents chantiers, il pourra être envisagé uniquement les solutions suivantes :

- *Réduction de la puissance thermique dissipée par l'emploi d'engins fonctionnant grâce à des moteurs électriques ;*
- *Utilisation d'un raccord à un réseau d'air frais permettant des conditions de travail supportables sous des équipements de protection intégrale. Cette solution reste néanmoins très contraignante car elle réduit fortement la mobilité des travailleurs au front. »*

Comme précisé en page 59, « il est nécessaire d'analyser la faisabilité des solutions proposées. »

Sécurisation du personnel, pages 60 à 62

« le besoin pour les activités de déstockage en souterrain se situe à environ 300 ETP auquel doit être ajouté le personnel en surface pour l'atelier de reconditionnement » (Hors personnel MDPA et opérateur minier).

Pour ce qui concerne la durée d'exposition du personnel, elle prend en compte la réglementation ainsi que le retour d'expérience du déstockage précédent (page 62) :

« L'approche développée dans ce rapport [Curium-BG, 14/02/2018 : « Rapport de fin de chantier : Déstockage de déchets mercuriels du site StocaMine »] est pertinente pour notre étude car elle est sécuritaire et conservatrice par rapport au risque sur les opérateurs au front : l'étude considère une dépense énergétique supérieure à celle qui sera a priori envisagée lors des travaux de déstockage. Ainsi, pour une température supérieure à 30°C, le temps de vacation est réduit à 1h10, soit 40min effectives en zone de travail et toujours 1h de pause après.

Ces rythmes de travail ayant par ailleurs été validés par l'Inspection du Travail, il convient de s'y référer à nouveau en prenant également en compte :

- *La durée maximale de vacation de 6h pour l'amiante ;*
- *Le suivi médical renforcé du personnel tout au long des travaux en « chantier chaud ». »*

En complément, les types d'appareils de protection respiratoire ont été définis suivant la situation nominale d'intervention et 3 situations accidentelles différentes et les procédures relatives à la décontamination et au cycle d'entretien des équipements respiratoires ont été revues.

Installation temporaire de chantier, page 64

En surface, sont prévus des vestiaires, plusieurs zones de stockage ainsi que deux zones d'attente des remorques de transport de colis de déchets.

Au fond, « *les ITC souterraines doivent être implantées au plus proche de l'entrée du bloc en cours de déstockage* ». Elles comprennent, pour chaque atelier de déstockage, des vestiaires (60 m²), une zone de repos et réfectoires (40 m²), une zone de nettoyage des masques (20 m²), une zone d'attente des véhicules avec remorque (40 m²), une zone de stockage matériel (200 m²), une installation de ventilation (100 m²), une recoupe technique (CFO-CFI ; 80 m²), une niche de mise à l'abri (secours ; 20 m²). « *Da manière globale, sur la base de galerie de 4m de large, chaque atelier de déstockage a besoin de 100 mètres linéaires de galerie pour satisfaire à ses propres besoins auxquels il faudra ajouter 100 mètres linéaires pour le stock de matériaux.* »

Cadences de déstockage, extrait page 70

Les cadences de déstockage sont synthétisées dans le tableau suivant. « *L'approche qui a été menée pour la définition des cadences de déstockage se veut pragmatique car tenant compte des réalités de la mine mais basée sur une analyse statistique. En effet, l'état minier est une estimation supposée basée sur des modélisations qui peuvent différer de la réalité.* »

	Méthode MDPA Cadence de déstockage d'un front de déchets (minutes)
Zone restabilisée	145
Zone faible déformation	185
Zone déformation moyenne	272
Zone forte déformation - intersections et recoupes	740
Zone forte déformation - galerie principale (interpilliers)	875
Zone forte déformation - recoupes ascendantes	815

Figure 50 - Synthèse des cadences de déstockage

Reconditionnement définitif des colis de déchets en surface, pages 75 à 79

Le reconditionnement définitif des colis est prévu en surface.

Extraits page 75.

« *Compte tenu de la dangerosité des déchets et de l'expérience opérationnelle requise, il est recommandé de confier certaines opérations à une plateforme de transit - regroupement de déchets externe.* »

« Les opérations pouvant être envisagées en interne [sont des] opérations de suremballage (de trois types) ou de reconditionnement en big bag (à partir de fût ou de big bag). »

L'atelier au jour est dimensionné pour réceptionner et gérer entre 8 et 72 colis par jour, ce qui correspond aux cadences de déstockage qui ont été définies. Il permet également un stockage tampon avant expédition, limité à 150 colis ce qui correspond à 2 à 6 jours de production (déstockage au fond) suivant les scénarii.

La vue en plan 3D (page 79) ci-dessous, présente les aménagements de surface de l'atelier de reconditionnement :

- Le puits Joseph, par lequel les colis sont remontés dans une caisse métallique de transfert sécurisée sur une remorque.
- Le bâtiment de manutention où les colis provenant du fond seraient réceptionnés, contrôlés, palettisés, suremballés (big-bag uniquement, avec stock de sur big-bag neuf) et pesés. Les caisses de transfert y seraient décontaminées.
- Le bâtiment d'exploitation dans lequel se trouvent un laboratoire (échantillonnage, analyse des déchets, traçabilité...), une échantillothèque, deux cabines de reconditionnement pour déchets toxiques (automatisées), une cabine d'opérations manuelles (échantillonnage, reconditionnement/aspiration de déchets solides compacts), trois containers pour reconditionnement des déchets amiantés (une zone de travail, un sas de décontamination de personnel, un sas de décontamination de déchets), une zone de stockage tampon des colis en attente de reconditionnement et de big bag neufs
- Le bâtiment de stockage (en orange, à construire) comprenant du stock tampon de consommables (sur-fûts, palettes, sur big bag, sur container), une zone de recharge des véhicules électriques de chargement, une zone déchets toxiques, une zone déchets amiantés avec entreposage de colis au sol sans gerbage.
- La zone de chargement des camions (en violet, à construire) avec accès en marche arrière sur le pont à bascule (pour pesage) et chargement latéral des colis. Sont estimés 2 à 6 camions par jour suivant les cadences de déstockage et le type d'expédition (régulière ou ponctuelle et massive).
- La zone de bennes à déchets pour les déchets liés au déstockage (déchet industriels banals et déchets souillés).
- La zone de stockage extérieur des consommables qui constituerait le stockage principal (stockages d'appoint à proximité des zones de reconditionnement). Elle se situe sur une parcelle à l'extérieur du site (environ 200 m, en-dehors de la vue 3D ci-dessous).
- Les vestiaires et locaux sanitaires situés entre le parking VL et la zone de reconditionnement.

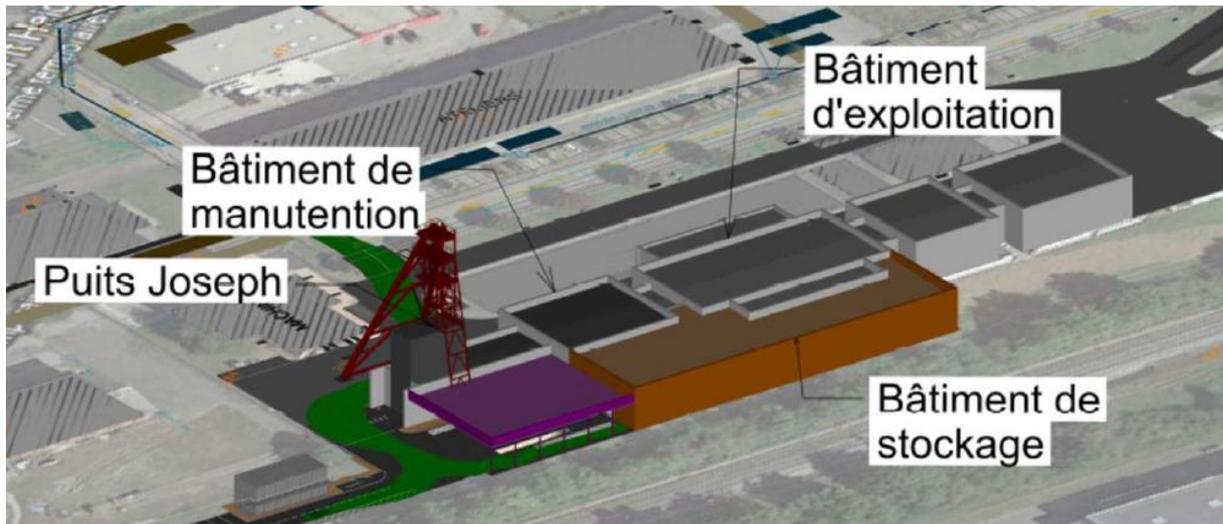


Figure 1: Vue 3D des aménagements de surface de l'atelier de reconditionnement

Afin de faire fonctionner l'atelier de reconditionnement, il faudrait un effectif compris entre 7 et 11 personnes sur 24 h avec des formations et habilitations spécifiques selon les postes occupés.

Synthèse 32 : pièce [B4] bibliographie DDA

Etude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement

Volet 4 - Etude logistique et planification (Rapport n° A105573/D)

Groupement ANTEA GROUP/TRACTEBEL ENGIE, 30 septembre 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B4] :

Auteurs : Groupement Antea Group /Tractebel Engie – Serge GODART

Contexte et objectif :

Pages 8 et 9

« Le Ministre de la Transition Écologique et Solidaire a alors annoncé en février 2019 “le lancement d'une étude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement”.

Les MDPA ont confié cette étude au groupement Antea Group – Tractebel Engie.

Trois scénarios, intitulés S2, S3 et S4, ont été analysés [...]. »

« L'étude comprend neuf volets définis dans le cahier des charges [...] »

« Les principaux objectifs de ce rapport sont :

- De définir les modifications structurelles permettant d'atteindre les objectifs logistiques ;
- De rassembler toutes les données techniques issues des autres volets de l'étude pour les intégrer dans un planning de réalisation pour chaque scénario ;
- D'analyser de manière globale la faisabilité de réalisation du déstockage des trois scénarios »

Synthèse et conclusions

Modifications structurelles :

En vue des potentielles activités de déstockage, il est nécessaire de réaliser un certain nombre d'aménagements préalables.

Les aménagements de surface sont décrits dans le volet 3 de l'étude.

Les aménagements souterrains sont les suivants :

- Réhabilitation de deux galeries (une pour accès à un atelier de déstockage, l'autre pour évacuation de l'air vicié d'un autre atelier), déplacement de stocks de sel pour fluidifier la logistique et améliorer l'apport en air frais des chantiers, maintenance habituelle des galeries.
- Création de nouveaux ouvrages :
 - Galerie carburant (l'actuelle devenant un accès à un atelier) pour alimentation des engins de chantier
 - Galerie d'entretien des véhicules en appui à celle existante

- Galerie de déstockage sud permettant « d'assurer l'espace nécessaire pour les activités de déstockage »
- Recoupes galerie AQ2 : « Ces recoupes sont positionnées de telle manière à permettre l'installation des ITC et avoir des accès suffisants pour le déstockage. »
- Aménagement des réseaux
 - électriques afin d'assurer les besoins électriques des 3 chantiers de déstockage soit par déplacement et modifications des sous-stations existantes soit par achat de 3 unités composées de l'ensemble des équipements nécessaires pour l'alimentation en 410V et 230V.
 - incendie
 - inertage par azote en cas d'un incendie dans un bloc (page 32 : « Les principes et méthodes d'inertage utilisés en 2015-2017 restent donc d'application. »)
 - exhaure (collecte des différentes sources d'eau possibles dans l'installation souterraine et de les relever en surface vers un bassin de rétention)
 - surveillance et télégrismétrie (page 37 : « plus vaste zone à surveiller et donc un élargissement des périmètres de sécurité et une augmentation du nombre de capteurs y afférant. »)

Faisabilité d'un déstockage vis-à-vis de l'aéragé

Page 54

« La poursuite des activités de retrait des déchets est envisagée en menant trois fronts de déstockage en parallèle de manière à pouvoir mettre en œuvre des chantiers simultanés de part et d'autre de chaque bloc.

[...]

De la même manière que lors du déstockage de 2015-2017, l'ensemble des galeries localisées sur le retour d'air définissent la « zone jaune ». L'accès à cette zone est réservé au personnel devant y effectuer des contrôles ou des travaux. Elle est également utilisable pour l'évacuation d'urgence. L'accès à cette zone est réglementé pour assurer la sécurité des travailleurs. »

Page 68

« Au vu de la disponibilité d'un débit global relativement élevé (de l'ordre de 100 m³/s) dans la mine, l'acheminement d'un débit d'air neuf d'au moins 12 m³/s au niveau de chacun des trois fronts de déstockage qui sont envisagés pourra être assuré moyennant quelques dispositions visant à s'assurer que l'équilibrage au sein de l'installation est compatible avec les besoins en air neuf dans chaque zone.

Ces dispositions pourront être testées dans un premier temps par simulation 1D, puis validées par la mise en place d'une instrumentation dédiée au sein des voies d'accès avant le démarrage des différents chantiers. En particulier il conviendra de mener une campagne de mesures de débit et de température (manquantes à ce jour) dans les galeries acheminant l'air neuf utile au déstockage en configurations 2a et 2b.

De manière globale, les différents bilans aérauliques au sein de l'installation permettent également de vérifier que le travail en coactivité sur un front de déstockage dans une allée et l'utilisation d'au plus trois engins de chantier sur la voie d'accès la plus proche restent compatibles avec le besoin en air neuf

pour la dilution des effluents gazeux provenant des moteurs thermiques. En effet le débit global en amont de chaque zone d'activité est suffisamment élevé pour garantir au minimum un débit d'air neuf de 12 m³/s vers une allée et indépendamment 10,2 m³/s vers la voie d'accès tout en respectant l'ensemble des préconisations définies au paragraphe 5.4 sur le reste de l'installation.

Enfin, si l'on souhaite augmenter le débit de ventilation au front, il sera nécessaire de vérifier que les ventilateurs situés en aval des unités de dépoussiérage sont suffisamment puissants pour compenser la perte de charge du réseau déployé. Le paragraphe 8 du document [Rapport d'étude Antea Group – Tractebel A 105278 - Volet 3 – Etude des techniques à mettre en œuvre et de leur sécurisation – prise en compte des contraintes de la mine, version C du 30/09/2020] permet d'estimer les limites du dimensionnement de l'installation actuelle vis-à-vis de ces évolutions de débits. »

Justification de la non simultanété des travaux de déstockage et de confinement

Page 69

« L'objet de ce chapitre est de présenter les contraintes vis-à-vis d'une réalisation de travaux de déstockage en parallèle des travaux de confinement.

Dans cette perspective, on peut envisager deux types de simultanété des deux chantiers :

- *Une situation 1 avec simultanété des postes de déstockage et des postes de confinement ;*
- *Une situation 2 déroulant en parallèle les chantiers sur tout ou partie de leur durée, avec alternance des activités de déstockage et de confinement mais sans simultanété des postes. [...]* »

Pages 73 et 74

*« Dans l'hypothèse d'une réalisation des travaux de déstockage selon les scénarios S2, S3 et S4 en parallèle des travaux de confinement avec **simultanété des activités (situation 1)** :*

- *Vis-à-vis de la ventilation :*
 - *Seul le barrage n°2 pourrait être réalisé ;*
 - *Les barrages 8, 9 et 10 ne pourraient être réalisés qu'après libération des zones de stockage tampon situées dans les blocs 16 et 26.*
- *Vis-à-vis de la logistique, la réalisation des travaux en parallèle s'avère non envisageable, notamment en raison de :*
 - *L'insuffisance de la capacité des puits vis-à-vis des flux à assurer pour les deux chantiers ;*
 - *L'espace disponible dédié à l'entretien du matériel et au stockage en souterrain est d'une extension limitée et ne permet pas de satisfaire aux besoins des deux chantiers en parallèle.*
 - *Vis-à-vis de la faisabilité des opérations de confinement et de la qualité du remblaiement :*

Les barrages 8, 9, 10 et 12 ne peuvent être réalisés avant le comblement des galeries, et donc par extension ne peuvent pas être réalisés en parallèle du déstockage. En effet, afin de garantir un remplissage optimal des galeries AJ1 et RAS/RAT, celui-ci doit être effectué de manière gravitaire et donc avec un approvisionnement du béton auto-plaçant (BAP) par la galerie AJF et donc au travers des scellements 8, 9, 10 et 12.

En conséquence une réalisation en parallèle avec simultanéité des activités n'est pas envisageable.

Dans l'hypothèse d'une réalisation des travaux de déstockage selon les scénarios S2, S3 et S4 en parallèle des travaux de confinement avec alternance des activités (situation 2) :

- L'alternance des postes de déstockage et de confinement ne peut être envisagée que sur des durées permettant d'enchaîner :
 - Les travaux de déstockage et les travaux de sécurisation correspondants ;
 - Les activités d'alésage et de bétonnage correspondantes, dans l'exécution du chantier de confinement, ainsi que la réalisation non interrompue d'un même barrage.

Cette alternance induira des immobilisations ou interruptions significatives de chantier, notamment pour le chantier de confinement, et en conséquence une augmentation du délai global de réalisation de ce dernier ;

- Les surfaces disponibles au fond pour les zones de stockage au fond ne sont pas suffisantes pour satisfaire aux besoins des deux chantiers ;
- Les surfaces disponibles au fond pour les ateliers d'entretien et maintenance du matériel au fond ne sont pas suffisantes pour satisfaire aux besoins des deux chantiers.

En conséquence et notamment par rapport aux deux derniers points ci-dessus, une réalisation en parallèle avec alternance des activités n'est pas envisageable.

En conclusion, pour les scénarios S2, S3 et S4, les principes suivants ont été retenus :

- Les travaux de déstockage sont réalisés avant les travaux de confinement avec des ateliers de déstockage en parallèle pour en limiter la durée globale ;
- La première partie du chantier de confinement relative aux études, essais et aménagements préalables (durée d'environ 0,9 année) est réalisée en parallèle de la dernière partie du chantier de déstockage, à partir du moment où le chantier de déstockage ne met en œuvre qu'un atelier de déstockage ;
- Les travaux de confinement stricto sensu (remblayage des blocs et réalisation des barrages) débutent dès que le chantier de déstockage au fond est démobilisé et replié. »

Planning global des activités et analyse critique, page 85

« Les plannings ont été construits de la même manière avec trois phases principales :

- Phase 1 : Etudes, autorisations et aménagements préalables ;
- Phase 2 : Déstockage ;
- Phase 3 : Confinement.

Pour la construction des plannings, les hypothèses suivantes ont été prises en compte :

- Durée de mobilisation des ITC : 60 jours ouvrables
- Durée de déplacement des ITC entre deux blocs : 25 jours ouvrables
- Durée de démobilisation des ITC : 75 jours ouvrables

(ITC : installations temporaires de chantier)

En plus des hypothèses listées ci-dessus, deux aléas ont également été pris en compte :

1. Aléa incident/accident :

[...] Un délai global de 180 jours ouvrables a été intégré dans le planning [...]

2. Aléa amiante

Afin de quantifier de manière pertinente et juste le nombre de jours, les limites suivantes ont été définies sur la base du nombre de colis amiantés rencontrés pendant le déstockage :

- *Moins de 2000 colis rencontrés : 1 colis problématique et 25 jours ouvrables de délais ;*
- *Entre 2000 et 3000 colis rencontrés : 2 colis problématiques et 50 jours ouvrables de délais ;*
- *Plus de 3000 colis rencontrés : 3 colis problématiques et 75 jours ouvrables de délais »*

« Phase 1 – Etudes, autorisations et aménagements préalables

L'analyse des délais [...] permet d'estimer un délai incompressible minimum de 22 mois (12 mois pour la réalisation des dossiers + 10 mois d'instruction) avant d'engager les travaux, sous réserve qu'aucune demande de dérogation espèces protégées ne soit nécessaire.

Remarque : Les délais liés à un recours éventuel sur le dossier de demande d'autorisation environnementale n'ont pas été pris en compte »"

Phase 2 – Déstockage

Scénario S2

En prenant en compte les aléas définis ci-dessus ainsi que la mobilisation et démobilisation des ITC, la durée de déstockage globale est de 1905 jours ouvrables, soit une durée calendaire de 6 ans et 3 mois (Fin 2029).

Scénario S3

En prenant en compte les aléas définis ci-dessus ainsi que la mobilisation et démobilisation des ITC, la durée de déstockage globale est de 1577 jours ouvrables, soit une durée calendaire de 5 ans et 2 mois (Fin 2028).

Scénario S4

En prenant en compte les aléas définis ci-dessus ainsi que la mobilisation et démobilisation des ITC, la durée de déstockage globale est de 1305 jours ouvrables, soit une durée calendaire de 4 ans et 3 mois (fin 2027).

Phase 3 – Confinement

Scénario S2

La phase de confinement présente une durée globale de 6,1 années dont 5,2 de travaux.

Scénario S3

La phase de confinement présente une durée globale de 4,6 années dont 3,7 de travaux.

Scénario S4

La phase de confinement présente une durée globale de 4,3 années dont 3,4 de travaux.

Conclusion, page 95

« Du point de vue des délais, l'analyse logistique et la planification réalisée permettent de tirer les conclusions suivantes :

- *Aucun des trois scénarios étudiés ne permet de réaliser à la fois un déstockage partiel et un confinement au plus tard en 2027, critère défini dans le cahier des charges de l'étude établi par les MDPA ;*
- *Pour les scénarios S2 et S3, les plannings de déstockage (hors travaux de confinement) ne sont pas compatibles avec les phénomènes de convergence des terrains, qui, selon les extrapolations de l'étude du BRGM, deviennent critiques à partir de 2027 ([1]). En effet, les dates de fin de déstockage sont pour les scénarios S2 et S3 respectivement mai 2029 et avril 2028.*
- *Pour le scénario S4, le déstockage est théoriquement compatible avec les phénomènes de convergence des terrains ([1]). Cette option est « théoriquement » faisable pour autant que toutes les hypothèses soient vérifiées et qu'aucun accident géomécanique supplémentaire ne survienne dans la mine. En effet, le planning de réalisation prend en compte des aléas quantifiables et dont l'occurrence peut être envisagée. Il y a également un risque logistique fort en relation avec le nombre de colis à déplacer. Les aléas exceptionnels, par nature non quantifiables, ne sont pas intégrés au planning actuel. Pour ce scénario, la fin du confinement associé est estimée à mai 2031. »*

Synthèse 34 : pièce [B6] bibliographie DDA

Etude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement

Volet 6 - Mise en situation des équipements existants pour un horizon de 2027 (Rapport n° A104344/D)

Groupement ANTEA GROUP/TRACTEBEL ENGIE, 30 septembre 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B6] :

Auteurs : Groupement Antea Group /Tractebel Engie – S. GODART

Contexte et objectif :

Page 8 et 9

« Le Ministre de la Transition Écologique et Solidaire a alors annoncé en février 2019 “le lancement d’une étude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d’un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement”.

Les MDPA ont confié cette étude au groupement Antea Group – Tractebel Engie.

Trois scénarios, intitulés S2, S3 et S4, ont été analysés [...]. »

« L’étude comprend neuf volets définis dans le cahier des charges [...] »

« Les principaux objectifs de ce rapport sont d’évaluer l’état actuel de la mine dans sa globalité et de définir les améliorations à apporter afin d’assurer une pérennité de l’installation en vue de possibles futures activités de déstockage. Plusieurs éléments ont été analysés : les équipements mécaniques des puits, la stabilité des galeries souterraines, le système de ventilation, les réseaux et les véhicules miniers.

Ce rapport comprend une analyse technique détaillée basée sur la documentation disponible, transmise par les MDPA, ainsi que sur trois visites de la mine qui se sont déroulées en septembre 2019, octobre 2019 et juin 2020.

Chaque sujet abordé dans ce rapport débouche sur des conclusions et des recommandations spécifiques afin de permettre aux MDPA d’avoir une vision globale des axes d’amélioration en vue des éventuelles futures activités de déstockage. »

Synthèse et conclusion

Pages 22 à 24

« 3.4. Recommandations pour le puits Joseph

Les améliorations pour le puits Joseph sont divisées en deux catégories : nécessaires et recommandées. Les améliorations nécessaires sont jugées très importantes pour assurer la sécurité durant les

potentielles futures opérations de déstockage. Les améliorations recommandées sont des bonnes pratiques (pour les mines allemandes) qui permettraient de réduire le risque des réparations urgentes durant les potentielles futures opérations de déstockage.

3.4.1. Améliorations nécessaires

1. Remplacement des câbles d'extraction clos par des câbles à torons, des attelages et du revêtement des poulies. En effet la législation française impose le remplacement des câbles tous les deux ans (pour la circulation de poste). L'argument de la corrosion des câbles est dans ce cas négligeable.
2. Modernisation/remplacement du treuil de secours

Au regard de l'état de l'art et pour des raisons de sécurité, il est nécessaire de moderniser un treuil de secours afin de pouvoir assurer la récupération de personnes bloquées dans le puits. Une deuxième solution crédible serait d'acheter une grue mobile (Figure 10) qui dispose d'une nacelle. Cette grue mobile permettrait d'assurer l'intervention rapide dans les deux puits Joseph et Else. Néanmoins, cette solution est très coûteuse et la durée d'acquisition est de l'ordre de deux ans.

[...]

Une troisième solution, plus économique et rapide, consisterait à faire l'acquisition d'un treuil « semi-mobile » (Figure 11). Pour cette solution, il est nécessaire de construire préalablement des fondations, à proximité de chaque puits, disposant de boîtes d'ancrages afin de sécuriser le treuil contre les efforts d'arrachement inhérents à son fonctionnement. Dans ce cas, le treuil est transporté par un chariot élévateur en fonction du puits où il faut intervenir. Il serait également nécessaire de prévoir dans chaque chevalement une poulie de déviation disposant d'un câble messenger permettant l'installation plus rapidement. Ce treuil « semi-mobile » doit être accompagné d'un générateur de puissance permettant d'alimenter le treuil.

3. Vérification de la stabilité du revêtement des puits

En effet, l'analyse ne peut être menée sur base des données à notre disposition. Une étude particulière avec un modèle 3D aux éléments finis permettrait de s'assurer de la stabilité du revêtement des puits. Des études complémentaires doivent être menées pour s'assurer de l'épaisseur de corrosion.

3.4.2. Améliorations recommandées

1. Nettoyage et réparation/remplacement des consoles de câble du puits Joseph. En effet, la campagne de remplacement en cours prouve que cela est nécessaire. L'inspection du puits Else n'a pas été réalisée. Si les conditions du puits Else sont identiques à celles du puits Joseph, cette recommandation est également valable pour le puits Else.
2. Vérifier la disponibilité des pièces de rechange et du personnel compétent nécessaires aux opérations. »

Pages 31 à 33

« 4.3. Recommandations relatives à la géomécanique

L'état géomécanique de la mine a déjà été analysé et investigué par de nombreux experts et sociétés, privés ou publics. Les conclusions des différentes études sont cohérentes. Les risques principaux identifiés sont :

- *Les chutes de blocs au droit du toit des galeries en lien avec la présence de lits argileux ;*
- *La présence de piliers très endommagés situés entre les voies ;*
- *La convergence globale de l'ensemble de la mine avec un agrandissement de la zone endommagée au cours du temps.*

Le risque de chute de blocs semble parfaitement contrôlé par des soutènements adaptés aux particularités locales.

La résistance aux contraintes des piliers au sein des galeries dédoublées est en revanche un problème sérieux qui nécessite des mesures à court terme. Il est en effet nécessaire de réaliser un suivi continu et détaillé (mesures de déplacement, endoscopie, ...). Une inspection visuelle du toit à proximité des piliers est judicieuse pour vérifier l'apparition de nouvelles fractures. La stabilité des piliers endommagés ne peut actuellement être garantie sur une durée de 10 ans.

[...]

Pour ces zones, il est nécessaire d'agir afin de stabiliser la structure. Dans ce cadre, deux solutions sont proposées.

4.3.1. Suppression des piliers

Cette solution repose sur l'expérience des mines allemandes en formant une structure en forme de dôme auto stable (Figure 19). Cela se réalise par la suppression des piliers pour unifier les galeries et réaliser un soutènement plus dense.

Les avantages de cette solution sont :

- *Augmentation de l'espace pour le stockage et également pour la circulation ;*
- *Mise en place de cintres « en pattes d'éléphant » pour une stabilité à long terme.*

Les inconvénients de cette solution sont :

- *Fragilisation du toit du niveau -23 m qui est stable pour atteindre le niveau -25 m qui est instable ;*
- *Quantité importante de sel à excaver et donc à stocker ;*
- *Modification importante de la ventilation et des aspects opérationnels ;*
- *Stabilité aux carrefours avec les blocs nécessitant très probablement un soutènement lourd ;*
- *Durée de réalisation importante ;*
- *Coûts importants ;*
- *Interférences avec les galeries sus-jacentes ;*
- *Les machines actuellement disponibles n'ont pas les caractéristiques requises pour creuser si haut ;*
- *Augmentation de la taille des galeries et donc des volumes de remblayage et de la taille des scellements.*

4.3.2. Réalisation de piliers complémentaires

Cette seconde solution consiste à réaliser des supports provisoires (bois ou étauçons) ou définitifs (béton de sel). Dans le cas de la réalisation de piliers en béton de sel, les colonnes en béton sont coulées directement du sol au plafond. La convergence qui va s'appliquer sur ces piliers va faire fluer le sel dans le pilier adjacent et permettra la stabilisation globale.

Les avantages de cette solution sont :

- Mise en place de piliers dans des recoupes non nécessaires au déstockage, permettant une mise en œuvre progressive avec monitoring précis de l'évolution des convergences ;
- Permet d'ajuster la méthode en cours de réalisation ;
- Durées et coûts plus faibles et surtout focus sur les piliers les plus problématiques ;
- Peu d'interférences avec les galeries sus-jacentes ;
- Machines actuellement disponibles suffisantes ;
- Pas de modification des aspects opérationnels et ventilation ;
- Pas de fragilisation du toit à -23 m.

Les inconvénients de cette solution sont :

- Nécessité de réaliser les travaux de manière progressive pour vérifier l'évolution des interactions entre les piliers de béton et les piliers de sel adjacents (fluage) ;
- Méthode par essai/erreur nécessaire.

[...]

Les MDPA ont déjà réalisé la stabilisation du carrefour entre AQ1 et AJ1 (Figure 13).

[...]

A l'exception des problèmes identifiés ci-dessus, la géomécanique du site est bien contrôlée par les équipes en place. Une maintenance continue s'y déroule pour assurer le fonctionnement journalier (passage des véhicules, entreposage de matériaux). Au regard des convergences mesurées, certaines galeries doivent être reprofilées (rabassenage et installation de soutènement plus lourd – arches métalliques) pour assurer leur fonction. »

Pages 43 à 44

« 5.3. Recommandations [relatives à la ventilation]

Vis à vis des ventilateurs principaux, les améliorations / dispositions suivantes ont pu être identifiées :

- Mise en place de variateur de vitesse sur les ventilateurs. Cette disposition permettrait de diminuer le coût d'exploitation. Par ailleurs, la mise en place de variateur permettrait de réduire significativement le temps d'arrêt des ventilateurs ce qui peut être utile en cas d'incendie. A noter que la mise en place de variateur sur les ventilateurs ES1 & ES2 est actuellement planifiée dans le courant de l'année 2020.
- Définition des débits requis par ouvrage sur la base :
 - d'une définition précise des engins et de leur consommation respective ;
 - des sources de pollution identifiées avec les valeurs d'émission.
- Remplacement / modification des ventilateurs ES1 & ES2 afin que les ventilateurs soient partiellement réversibles.

Enfin, il serait judicieux de développer un simulateur modélisant le comportement aérodynamique de l'installation afin de pouvoir former et entraîner les opérateurs et les équipes de secours à la conduite de la ventilation de StocaMine.

Vis à vis de la maîtrise du risque incendie, les recommandations / améliorations suivantes ont pu être identifiées :

- Vérifier si le flux d'air des ventilateurs ES1 & ES2 peut être inversé en cas d'incendie au sein ou à proximité du puits Joseph. Cette disposition permettrait de limiter la propagation des fumées au sein de l'installation souterraine. A noter que l'inversion des ventilateurs serait effective uniquement après vérification qu'aucune personne n'est présente dans le puits où directement à proximité de celui-ci ;
- Ajout de registres motorisés REI120 en entrée / sortie des ventilateurs ES1 1 ES2 afin de pouvoir en cas d'incendie isoler une branche / limiter / stopper l'apport d'air neuf au sein de l'installation souterraine »

Page 52

« 6.1.3. Recommandations pour le système d'alimentation en eau

Ne disposant d'aucun historique sur les pannes et les fuites du système, il est impossible de poser un regard critique sur la disponibilité du réseau. Néanmoins, les observations récoltées lors des deux visites des installations ont permis de conclure que :

1. Les installations, dans les puits et en souterrain, sont récentes et ne présentent pas de dommages observables ;
2. La qualité de mise en œuvre des tableaux de distribution permettra de mettre en œuvre les réseaux additionnels nécessaires au déstockage (réserves disponibles).

Afin d'assurer le bon fonctionnement de cette installation, nous recommandons les actions suivantes, par ordre d'importance :

1. La vérification de la manœuvrabilité des vannes et de l'état de la tuyauterie du réseau en fond dans les voies ;
2. Purge de la conduite Else si jamais réalisée (en été pour ne pas être en simultané de la purge de la conduite Joseph) ;
3. Le nettoyage des filtres (non observé lors de la visite) installés sur le système ;
4. Test de pression de l'installation (en cas de pannes ou fuites importantes observées) dont pression au niveau des prises incendie.

Page 54

« 6.2.2. Recommandations pour le réseau inertage azote

Le réseau de canalisation localisé en souterrain et destiné à l'inertage a été installé peu avant les activités de déstockage en 2015. Cette installation est donc récente. La canalisation « exhaure/inertage » localisée dans le puits a été très récemment (mars 2020) remplacée.

Afin d'assurer le bon fonctionnement de cette installation, nous recommandons les actions suivantes, par ordre d'importance :

- Vérification de la manœuvrabilité des vannes, aussi bien en fond de ligne (té) qu'au niveau des tableau by-pass ;
- L'installation d'une canalisation dédiée à l'inertage dans le puits Joseph. Cette modification permettrait de dissocier les fonctions et de ne pas rencontrer de mode de défaillance commun

(une défaillance sur le réseau exhaure interdit l'utilisation du même réseau pour une opération d'inertage). »

Page 57

« 6.3.2. Recommandations pour le système d'exhaure

Le système d'exhaure souterrain est obsolète et nécessite une rénovation en profondeur. La canalisation de refoulement localisée dans le puits Joseph a été remplacée récemment.

Dans le cadre des potentielles futures activités de déstockage, il est prévu de déplacer la fosse gasoil et de la repositionner au plus proche de la zone garage. Cette action permettra de simplifier fortement le système d'exhaure souterrain et de limiter le nombre de pompes de refoulement.

Afin d'assurer le bon fonctionnement de cette installation, nous recommandons les actions suivantes, par ordre d'importance :

- Remplacement des pompes Barthod ;*
- Remplacement des pompes de refoulement utilisées depuis plus de 30 ans ;*
- Remplacement des cuves tampon/bacs de rétention (soumis à une corrosion avancée) ;*
- Vérification de la manœuvrabilité des vannes de sectionnement (remplacement si nécessaire) ;*
- Vérification de l'étanchéité des canalisations et raccords (remplacement si nécessaire).*

Afin de simplifier le système d'exhaure, il serait intéressant de réintégrer les cuves tampon et les pompes BARTHOD dans une galerie localisée à proximité du puits Joseph et de la recoupe fluide. »

Page 62

« 6.4.2. Recommandations pour le réseau d'alimentation en air comprimé

Ne disposant d'aucun historique sur les pannes et les fuites du système, il est impossible de poser un regard critique sur la disponibilité du réseau. Néanmoins, les observations récoltées lors des deux visites des installations ont permis de conclure que :

- 1. Les installations, dans les puits et en souterrain, sont récentes et ne présentent pas de dommages observables ;*
- 2. La qualité de mise en œuvre des tableaux de distribution permettra d'étendre le réseau d'air en vue des potentielles futures activités de déstockage.*

Afin d'assurer le bon fonctionnement de cette installation, nous recommandons les actions suivantes, par ordre d'importance :

- 1. La maintenance régulière et nettoyage des compresseurs ;*
- 2. La vérification de la manœuvrabilité des vannes ;*
- 3. Si défaillance de la canalisation 1.5" du puits Else, remplacement par une canalisation 2" ;*
- 4. Test d'étanchéité de l'installation (en cas de pannes ou fuites importantes observées). »*

« 6.4.2. Recommandations pour le réseau d'alimentation en air comprimé

Ne disposant d'aucun historique sur les pannes et les fuites du système, il est impossible de poser un regard critique sur la disponibilité du réseau. Néanmoins, les observations récoltées lors des deux visites des installations ont permis de conclure que :

- 1. Les installations, dans les puits et en souterrain, sont récentes et ne présentent pas de dommages observables ;*
- 2. La qualité de mise en œuvre des tableaux de distribution permettra d'étendre le réseau d'air en vue des potentielles futures activités de déstockage.*

Afin d'assurer le bon fonctionnement de cette installation, nous recommandons les actions suivantes, par ordre d'importance :

- 1. La maintenance régulière et nettoyage des compresseurs ;*
- 2. La vérification de la manœuvrabilité des vannes ;*
- 3. Si défaillance de la canalisation 1.5" du puits Else, remplacement par une canalisation 2" ;*
- 4. Test d'étanchéité de l'installation (en cas de pannes ou fuites importantes observées). »*

« 6.6.2. Recommandations pour le système de supervision

Le système de supervision est très récent comme le prouve la photo de la Figure 65. Une maintenance standard est nécessaire pour garder le système à niveau.

Même si l'installation câblée est très récente et de bonne qualité, l'utilisation des différents capteurs est en revanche très intense. Il est donc nécessaire de prévoir :

- Le nettoyage et la maintenance des capteurs de manière régulière ;*
- De poursuivre le calibrage et l'étalonnage des capteurs conformément aux recommandations constructeurs et réglementaires.*

Il serait intéressant également de prévoir de manière annuelle une campagne de prises de mesures à proximité des différents capteurs pour éviter des dérives de capteurs non détectées. »

« 6.7.2. Recommandations pour le système de communication

Le système de téléphonie est récent et fonctionne correctement. Néanmoins au regard des terminaux téléphoniques intrinsèques utilisés, il est nécessaire de vérifier l'état de charge des batteries intégrées afin d'être certain que tous les terminaux fonctionnent.

Une maintenance standard est suffisante.

« 7.4. Synthèse et recommandations [vis-à-vis des véhicules]

Le tableau 6 synthétise les recommandations d'achat de nouveaux véhicules pour l'ensemble des véhicules actuellement disponibles sur site.

Tableau 6 - Synthèse et recommandations pour tous les types de véhicules

Dénomination	Type de machine	Utilisation actuelle	Utilisation pour le potentiel futur déstockage ?	Age	Achat de nouveau véhicule?
TP 12	Transport groupe de personnes	Oui	Pour le transport du personnel vers les différents chantiers	> 30 ans	Non 4 véhicules nécessaires 5 disponibles
TP16 travaux en hauteur		Oui			
TP18		Oui			
TP25		Oui			
TP28		Oui			
TL 08	Jeep	Oui	Pour les transport des superviseurs vers les différents chantiers	> 50 ans	Achat de nouveaux véhicules (3)
TL 30		Oui			
TL 65		Oui			
SJ 06 ambulance	ambulance	Oui	yes	> 50 ans	Ambulance et véhicule pompier suffisants
SJ 13 scout incendie	pompier	Oui	yes		
SJ 27		Oui	no		
SJ 37 scout grue		Oui	no		
SJ 40		Oui	no		
TJ01 Godet/fourche	Chargeurs frontaux	Oui	non car utilisation des AUSA	> 50 ans	Non Utilisation des AUSA
TJ11 Godet/fourche		Oui			
TJ 34 Godet/fourche		Oui			
AUSA 1	Chariots élévateurs	Oui	Oui	5 ans	Oui Achat de nouveaux chariots télescopiques (3)
AUSA 2		Oui			
AUSA 3		Oui			
CW 21 (godet avec dents)	Chargeurs frontaux	Oui	non car utilisation des AUSA	50 ans	Non Utilisation des AUSA
CW 24 (godet)		Oui			
CW 26 (godet)		Oui			
CW 56 bouclier		Oui			
CW 58 (godet)		Oui			
TW45 (godet)		Oui			
JPL01	Véhicule de transport déchets/palettes	Non	Non	20 ans	Non
JPL02		Non			
JS 93	boulonneuse	Oui	Non	40 ans	Non car utilisation CMM52
JS 97		Oui			
DP 50	Chariot élévateurs	Oui	Gestion des stocks de matériaux	10 ans	Non
CMM 52 électrique	boulonneuse	Oui	Yes, bolting required in retrieval block	30 ans	Oui Achat de nouvelles boulonneuses(3)
RB 08	Rabassenneuse	Oui	Non	45 ans	Non Utilisation des nouvelles excavatrices
PAURAT	excavation/TSM	Oui	Non	40 ans	Achat de nouvelles excavatrices (3)
Alpine F6A	excavation/TSM	Oui	L'alpine F6A est gardée en réserve en cas de défaillance des nouvelles excavatrices	45 ans	

»

« 8. Disponibilité de personnel minier

Les opérations de déstockage nécessiteront la mobilisation de personnel minier qualifié. La forte baisse de l'activité minière en France couplée à l'absence de formation spécifique sur le territoire français conduira à faire appel à du personnel provenant de pays disposant encore de mines en activité comme la Pologne, l'Allemagne ou le Maroc.

Cette solution, plus coûteuse, ne garantit pas la disponibilité de personnel minier qualifié en nombre suffisant pour les potentielles activités de déstockage.

Elle nécessite également de prévoir des procédures adaptées pour faire travailler ensemble des personnes de culture et de langue maternelle différentes. En effet, sous-estimer la communication au sein des équipes d'une part, et entre les équipes et l'encadrement d'autre part, pourrait constituer un risque majeur pour la sécurité des personnes et des activités. »

Synthèse 35 : pièce [B7] bibliographie DDA

Etude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement

Volet 7 - Etude des risques généraux et de leurs barrières (Rapport n° A105843/C)

Groupement ANTEA GROUP/TRACTEBEL ENGIE, 30 septembre 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B7]

Auteurs : Groupement Antea Group /Tractebel Engie – C. SCHARFF

Contexte et objectif :

Pages 6 à 8

« Le Ministre de la Transition Écologique et Solidaire a alors annoncé en février 2019 "le lancement d'une étude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement".

Les MDPA ont confié cette étude au groupement Antea Group – Tractebel Engie.

Trois scénarios, intitulés S2, S3 et S4, ont été analysés [...]. »

« L'étude comprend neuf volets définis dans le cahier des charges [...] »

« Les risques liés aux opérations associées au déstockage partiel en parallèle de la poursuite des opérations de confinement ont déjà été abordés pour partie dans d'autres volets de l'étude :

- Volet 2 : l'évaluation des risques sécurité et environnementaux a proposé l'étude des risques professionnels ainsi que l'étude du risque accidentel pour les installations de surface associées aux opérations de déstockage ;
- Volet 3 : l'étude des techniques à mettre en œuvre et de leur sécurisation a intégré les dispositions relatives à la gestion de risques singuliers tels la ventilation, le grisou ou encore la manipulation des colis.

Le présent volet 7 de l'étude :

- **Ne rappellera pas les éléments d'analyse des risques environnementaux développés dans le volet 2** : ces risques ont trait aux impacts chroniques et non à des situations dangereuses, incidentelles ou accidentelles.
- **Ne rappellera pas les éléments d'analyse des potentiels de dangers environnementaux développés dans le volet 2 dans le cadre de l'étude du risque accidentel en surface** : les agressions potentielles environnementales caractérisées n'ont pour cibles que les installations de surface. Les installations souterraines ne sont pas impactées par des agressions du milieu naturel ou anthropique.
- **Ne rappellera pas l'ensemble des éléments d'analyse des risques professionnels étudiés dans le volet 2** : l'analyse met en exergue les situations dangereuses induites par les opérations de déstockage pour la cible « personnels / salariés » et y associe les barrières de sécurité.

Néanmoins, les situations de niveau de risques les plus élevés, requérant des mesures de sécurité complémentaires seront abordées dans ce volet 7 (émission de substances dangereuses dans l'environnement, risque amiante...).. »

- **Rappellera les dispositions de gestion des situations dangereuses et des risques désignés dans le volet 3** dans le cadre de l'étude des techniques de déstockage à mettre en œuvre et de la sécurisation associée : ces éléments justifiaient les choix de conception et/ou la faisabilité technique et seront ici rappelés selon la nature du risque étudié.
- **Développera l'étude du risque incendie en souterrain** via l'application des trois principes de défense en profondeur que sont la prévention des situations dangereuses, la limitation / interdiction du développement et de la propagation de l'incendie et la gestion de la mise en sécurité et intervention secours.

Les risques traités dans le volet 7 s'articulent donc autour de trois thèmes :

- Les risques liés à la ventilation ;
- Les risques liés à la manipulation des colis ;
- Le risque incendie. »

Synthèse et conclusion

Pages 98 à 102

« L'analyse des Risques Accidentels en fond a permis d'identifier les risques prépondérants liés aux opérations de déstockage :

- **Gestion du risque lié à la ventilation :**
 - Gestion du risque lié à l'apport d'air frais au front de déstockage
 - Gestion du risque lié à l'alimentation en air frais des opérateurs au front
 - Gestion de l'évacuation de l'air vicié
 - Gestion de l'arrêt de la ventilation primaire ou secondaire
 - Gestion de la température au poste de travail à front
 - Gestion du contexte de la mine « grisouteuse »
- **Gestion du risque lié à la manipulation des colis :**
 - Gestion du risque lié à la prise des colis au front
 - Gestion du risque lié à l'opération de suremballage
 - Gestion du risque lié au transport de colis
 - Gestion du risque spécifique lié au colis de déchets amiantés
- **Gestion du risque incendie.**

Pour chacun de ces risques, des mesures de gestion ont été proposées.

Elles sont synthétisées dans les tableaux suivants :

Risque	Déclinaison	Gestion
Ventilation	Apport d'air frais au front de déstockage	Dimensionnement de la ventilation pour assurer la qualité de l'air, l'aération et l'assainissement nécessaires à la réalisation de travaux au front d'opérateurs dans un environnement potentiellement empoussiéré et potentiellement dégradé par l'utilisation de machines / engins à moteur thermique
	Alimentation en air frais des opérateurs	Mise en œuvre d'un système d'aérage secondaire pour chaque front visant à assurer l'apport d'air frais en pleine section au front, l'aspiration de l'air dans la zone rouge et sa filtration, avant rejet via un ventube vers une zone sécurisée en aval de tout poste de travail (pas de personnel sur ce retour d'air vicié)
	Évacuation de l'air vicié	Les configurations de déstockage (1,2a, 2b, 3a et 3b) désignées pour intégrer la réalisation d'un déstockage simultané de 3 fronts, ont considéré l'exigence sécurité suivante : interdiction de rejeter l'air aspiré et filtré de l'atelier de déstockage dans une zone sujette à la présence de personnel
	Arrêt de la ventilation primaire ou secondaire	Repli et mise en sécurité sur arrêt de la ventilation principale ou secondaire (évacuation différée via mise en sécurité en refuge ou évacuation directe vers la recette fond du Joseph avec port de l'ARAE)
	Température au poste de travail à front	Limitation de l'exposition potentielle des opérateurs au front par application des durées maximales de vacation pour des opérations relatives à l'amiante pour tout colis, déchets d'amiante ou non
	Mine « grisouteuse »	Définition d'une Zone Franche correspondant à un classement Hors Zone ATEX, et de protections sur engins et appareils en dehors de la Zone Franche (Ex I M2), et même pour la Zone Franche bien que non requis réglementairement (protection Ex II 2 G)
Manipulation des colis	Prise des colis au front	Réduction du risque de chute et perte de confinement du colis à la source, puisque intrinsèque aux contenants, à l'agencement des colis et aux procédures de manutention, et aux équipements de préhension adaptés au colis
		Procédure particulière en cas de colis coincé ou dégradé (extraction par dégonflage du colis et conditionnement)
		Désignation d'un SAS et d'une zone rouge au front
		Mesures de protections collective et individuelle des opérateurs (haut niveau de protection par rapport au risque chimique que constituerait l'émission de substances dangereuses au front suite à une perte de confinement d'un colis)
Gestion du risque lié à l'opération de suremballage	Réalisé en zone rouge : même dispositions que précédemment pour une opération simple qui consiste à emballer le colis déstocké par une sache en plastique dans le but de protéger toute émission potentielle de déchets au travers du contenant originel (big bag ou fût)	
Gestion du risque lié au transport de colis	Risque de perte de confinement du colis et d'épandage du déchet dans l'environnement de la galerie, en Zone VERTE, est écarté du fait de l'ensemble des dispositions de confinement, redondées : colis à double enveloppe, sur-sache plastique, container métallique arrimé à la remorque	

Risque	Déclinaison	Gestion
Manipulation des colis	Gestion du risque spécifique lié au colis de déchets amiantés	Définition de protocoles d'intervention pour une situation nominale et une situation accidentelle
		En situation accidentelle, extension provisoire du réseau d'air comprimé jusqu'en zone rouge et installation d'un système permettant de détendre l'air pour alimenter en air frais un masque spécifique voire une combinaison complète
		En situation accidentelle : ensemble des surfaces recouvertes préventivement de surfactant, reconditionnement à la main avec un sur-ensachage de chaque élément individuel dans une sachet globale et ensuite un sur-big bag ensaché et intégré au colis reconditionné
		Procédure générale en neuf points instaurée pour maîtriser l'ensemble des expositions aux agents chimiques dangereux voire CMR contenus dans les déchets
		Pour le colis amiante, ajout des points suivants pour les mesures de protection collective dans la zone sécurisée « zone écarlate » qui sera créée dans la zone rouge : cloisonnement de la zone écarlate dans la zone rouge, port obligatoire d'un masque complet avec adduction d'air pour pénétrer dans la zone, mise en place d'un sas de décontamination et mesures d'atmosphères complémentaires conformes aux exigences CARSAT (contrôles jour de l'atmosphère, en amont et aval du dépoussiéreur, eaux de rejet et mesures libératoires)
Incendie	1 ^{er} niveau	Réduction et limitation des produits inflammables et combustibles
		Réduction et limitation des sources d'inflammation
	2 ^{ème} niveau	Détection et limitation du développement d'un départ de feu, s'appuyant en particulier par l'instauration d'une Détection Automatique d'Incendie sur l'ensemble des engins en souterrain
		Mise en œuvre de compartimentage / sectorisation visant à limiter toute propagation d'un incendie d'une zone source vers une zone cible, et en particulier l'instauration d'une porte REI60 sur chaque entrée de bloc faisant l'objet de déstockage et sur l'accès à la niche hébergeant la cuve de gasoil d'alimentation des engins
	3 ^{ème} niveau	La lutte incendie basée en priorité sur la rapidité d'intervention et matérialisée par la mise en œuvre d'une Extinction Automatique Incendie couplée à la DAI sur tous les engins
		La lutte incendie complétée par le déploiement d'un réseau d'eau en charge, et d'un réseau d'azote, jusqu'à chaque entrée de bloc faisant l'objet d'un déstockage
		La mise en sécurité des opérateurs par la mise en œuvre de refuges mobiles pour chacun des 3 chantiers de déstockage pouvant être conduits simultanément (Ateliers Sud, Centre et Nord)

Tableau 4 : Mesures de gestion des risques liés à la ventilation, la manipulation des colis et l'incendie

Afin de comparer les scénarios entre eux, une cotation des risques est proposée et argumentée de la façon suivante :

Risque	Cotation finale				Commentaire
	S1	S2	S3	S4	
Gestion du risque lié à la ventilation					
Gestion du risque lié à l'apport d'air frais au front de déstockage					<i>Situation S1 : pas de déstockage donc pas de gestion d'air au front de déstockage ; décote des autres scénarios d'un niveau pour montrer que les opérations de déstockage apportent un risque mais maîtrisé</i>
Gestion du risque lié à l'alimentation en air frais des opérateurs au front de déstockage					<i>Situation S1 : pas de déstockage donc pas de gestion d'air au front de déstockage ; décote des autres scénarios d'un niveau pour montrer que les opérations de déstockage apportent un risque mais maîtrisé</i>
Gestion de l'évacuation de l'air vicié issu du front de déstockage					<i>Situation S1 : pas de déstockage donc pas de gestion d'air au front de déstockage ; décote des autres scénarios d'un niveau pour montrer que les opérations de déstockage apportent un risque mais maîtrisé</i>
Gestion de l'arrêt de la ventilation primaire ou secondaire					<i>Situation S1 : pas de déstockage mais le risque de perte de ventilation est avéré : donc niveau de 1 pour le souligner ; pas de décote d'un niveau inférieur pour les autres scénarios qui aurait pu être justifiée par plus de monde au fond et donc plus de personnel à gérer : la mesure de sécurité est la même dans chaque cas (ARAE et évacuation)</i>
Gestion de la température au poste de travail à front					<i>Situation S1 : pas de déstockage donc pas de gestion d'air au front de déstockage ; décote des autres scénarios d'un niveau pour montrer que les opérations de déstockage apportent un risque mais maîtrisé</i>
Gestion du contexte de la mine « grisouteuse »					<i>Situation S1 : pas de déstockage mais le risque grisou est avéré : donc niveau de 1 pour le souligner ; pas de décote d'un niveau inférieur pour les autres scénarios qui aurait pu être justifiée par plus de matériels : la mesure de sécurité est la même dans chaque cas (capteurs CH4, Zone Franche et protection des matériels)</i>
Gestion du risque lié à la manipulation des colis					
Gestion du risque lié à la prise des colis au front					<i>Situation S1 : pas de déstockage donc pas de manutention de colis, donc niveau 0 ; les S2, S3 et S4 diffèrent entre autres par le nombre de manipulations de colis ; il est choisi de souligner ce critère en apposant un niveau le plus fort pour S2, puis une décote pour S3 et enfin S4 pour lequel il y a moins de manipulations</i>
Gestion du risque lié à l'opération de suremballage					<i>Situation S1 : pas de déstockage donc pas de manutention de colis, donc niveau 0 ; l'opération de suremballage se réalise sur un colis sain, étanche et sécurisé : l'opération est simple ; pas de distinction de niveau entre S2, S3 et S4 : risque maîtrisé</i>
Gestion du risque lié au transport de colis					<i>Situation S1 : pas de déstockage donc pas de manutention de colis ni transport ; décote des autres scénarios d'un niveau pour montrer que les opérations de déstockage apportent un risque mais maîtrisé</i>
Gestion du risque spécifique lié au colis de déchets amiantés					<i>Situation S1 : pas de déstockage donc pas de manutention de colis, donc niveau 0 ; les S2, S3 et S4 diffèrent entre autres par le nombre de manipulation de colis d'amiante ; S2 tous les déchets amiantés sortent ; S3 les déchets amiantés ne sortent pas mais sont manipulés ; S4 certains déchets amiantés sont manipulés et/ou sortent</i>

Risque	Cotation finale				Commentaire
	S1	S2	S3	S4	
Gestion du risque incendie					
Gestion du risque incendie					<i>Situation S1 : le risque incendie est présent, moins de véhicules et pas de chantier au front mais pas de solution de repli pour les personnels (refuges) ; pour S2 à S4, plus d'opérations, plus de potentiels de dangers mais défense en profondeur et mise en place de refuge</i>
COTATION GLOBALE					

Tableau 5 : Cotation globale des risques liés à la ventilation, la manipulation des colis et l'incendie

Légende :

Risque fort	
Risque moyen	
Risque faible	
Risque négligeable	

Synthèse 36 : pièce [B8]

Etude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement

Volet 8 - Inventaire des démarches administratives, de leurs délais et des conditions de réussite de ces démarches (Rapport n° 105393/D)

Groupement ANTEA GROUP/TRACTEBEL ENGIE, 30 septembre 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B8] :

Auteurs : Groupement Antea Group /Tractebel Engie – A-L WENES

Contexte et objectif :

Pages 6 et 7

« Le Ministre de la Transition Écologique et Solidaire a alors annoncé en février 2019 “le lancement d’une étude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d’un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement”.

Les MDPA ont confié cette étude au groupement Antea Group – Tractebel Engie.

Trois scénarios, intitulés S2, S3 et S4, ont été analysés [...]. »

« L’étude comprend neuf volets définis dans le cahier des charges [...] »

« L’objectif de ce volet 8 est de préciser le cadre juridique et réglementaire du déstockage partiel supplémentaire et de clarifier la répartition des rôles et responsabilités sur le site, en surface comme au fond. Les démarches à mettre en œuvre vis-à-vis du stockage temporaire en surface, ainsi que les démarches pour éliminer les déchets et les préconisations pour fiabiliser un bon achèvement du chantier y sont présentées. »

Synthèse et conclusion

Extrait page 17

« Que ce soit en surface ou en profondeur dans le cadre d’un nouveau déstockage de déchets dangereux, la société MDPA restera l’exploitant unique et donc le responsable des travaux du nouveau déstockage de déchets et de la poursuite du confinement.

En revanche, la société MDPA pourra être assistée par des entreprises extérieures ou prestataires pour la réalisation de tout ou partie de ces travaux ainsi que la réalisation des démarches administratives préalables et celles nécessaires pendant la durée des travaux. Le cas échéant, cela fera l’objet d’un contrat spécifique avec chaque entreprise. »

En pages 58 et 59 du rapport sont synthétisées les démarches administratives à envisager pour un nouveau déstockage.

« Le projet de nouveau déstockage de déchets est donc concerné par plusieurs démarches administratives préalables à tout travaux et à tout transfert de déchets dangereux, et ce quel que soit le scénario retenu.

Le tableau ci-après synthétise l'ensemble de ces démarches.

Cadre réglementaire	Textes en vigueur	Type de démarche administrative	Type de dossier à réaliser	Compléments optionnels
Code de l'environnement	Réglementation ICPE	Procédure ICPE/IOTA – Autorisation Environnementale Unique Instruction par la DREAL ou/et le Ministère en charge de l'Environnement	Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale (DDAE) -> Projet classé sous l'une des rubriques 3000 de la nomenclature ICPE donc soumis à la Directive IED .	/
	Article R.122-2 relatif aux évaluations environnementales des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements	Procédure ICPE/IOTA – Autorisation Environnementale Unique Instruction par la DREAL ou/et le Ministère en charge de l'Environnement	Le DDAE doit comprendre une étude d'impact, une évaluation des risques sanitaires et/ou une interprétation de l'état des milieux, une analyse des MTD et un rapport de base.	/
	Réglementation IOTA (Loi sur l'Eau)	Procédure ICPE/IOTA – Autorisation Environnementale Unique Instruction par la DREAL ou/et le Ministère en charge de l'Environnement	Thématique intégrée directement dans le Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale (DDAE)	/
	Réglementation Espèces naturelles protégées	Procédure ICPE/IOTA – Autorisation Environnementale Unique Instruction par la DREAL ou/et le Ministère en charge de l'Environnement	Thématique intégrée directement dans le Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale (DDAE) Cela concerne uniquement la parcelle cadastrale n°419 si elle est retenue pour le stockage de consommables neufs, compte-tenu de la présence d'un ZNIEFF de type 1. -> Diagnostic faunistique et floristique	En cas de présence d'espèces protégées au droit de la parcelle ou d'un impact fort avéré, une demande de dérogation espèces protégées sera nécessaire.

Cadre réglementaire	Textes en vigueur	Type de démarche administrative	Type de dossier à réaliser	Compléments optionnels
Code de l'urbanisme	Demande de permis de construire et respect des règles d'urbanisme	Procédure de demande de permis de construire Instruction par la mairie de Wittelsheim	2 demandes de permis de construire pour - le nouveau bâtiment au droit du site MDP - le hangar métallique au droit de la parcelle cadastrale n°419 -> dérogation à demander vis-à-vis du respect du recul par rapport aux limites de propriété (article UE 6 du PLU)	Demande de dérogation supplémentaire par rapport aux 2 prescriptions de l'article UE12 en cas de non-respect du ratio de 2 places de stationnement pour 3 salariés présents et de la plantation d'un arbre à haute tige toutes les 3 places de stationnement
Code des transports	Réglementation française	/	- Document de transport ou Bordereau de Suivi de Déchet (BSD) - Cerfa n°12571*01 - Consigne écrite de sécurité - Récépissé de déclaration de transport de déchets (en principe, déjà obtenu par la société de transport) - Certificat d'agrément (si nécessaire) - Certificat de formation du conducteur (en principe, déjà obtenu par la société de transport)	- en cas de déchets amiantés : le BSDA ou Cerfa n°11861*01
	Réglementation européenne	Procédure de notification Instruction par le PNTTD	Dossier de notification	Sur demande du PNTTD

Tableau 22 : Synthèse des démarches administratives applicables au projet de nouveau déstockage de déchets dangereux

En pages 61 et 62 sont précisés les délais de réalisation pour chaque dossier

« Les délais de réalisation des différents dossiers sont variables d'un dossier à un autre, et selon la nature du projet retenu pour le nouveau déstockage de déchets. Toutefois, ces dossiers peuvent être réalisés en parallèle. »

Cadre réglementaire	Textes en vigueur	Type de démarche administrative	Type de dossier à réaliser		Compléments optionnels	
			Nature du dossier	Délais	Nature du complément	Délais
Code de l'environnement	Réglementation ICPE	Procédure ICPE/IOTA – Autorisation Environnementale Unique Instruction par la DREAL ou/et le Ministère en charge de l'Environnement	Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale (DDAE) pour un projet soumis à la Directive IED	12 mois	/	/
	Article R.122-2 relatif aux évaluations environnementales des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements	Procédure ICPE/IOTA – Autorisation Environnementale Unique Instruction par la DREAL ou/et le Ministère en charge de l'Environnement				
	Réglementation IOTA (Loi sur l'Eau)	Procédure ICPE/IOTA – Autorisation Environnementale Unique Instruction par la DREAL ou/et le Ministère en charge de l'Environnement	Intégrer dans le DDAE	/	/	/
	Réglementation Espèces naturelles protégées	Procédure ICPE/IOTA – Autorisation Environnementale Unique Instruction par la DREAL ou/et le Ministère en charge de l'Environnement	Diagnostic faunistique et floristique (parcelle cadastrale n°419) à intégrer dans le DDAE	6 mois (sur la base de 4 passages en période optimale entre avril et septembre)	En cas de présence d'espèces protégées au droit de la parcelle ou d'un impact fort avéré, une demande de dérogation espèces protégées sera nécessaire.	+ 3 mois Voir + 6 mois si nécessité d'investigations sur 1 année

Cadre réglementaire	Textes en vigueur	Type de démarche administrative	Type de dossier à réaliser		Compléments optionnels	
			Nature du dossier	Délais	Nature du complément	Délais
Code de l'urbanisme	Demande de permis de construire et respect des règles d'urbanisme	Procédure de demande de permis de construire Instruction par la mairie de Wittelsheim	2 demandes de permis de construire avec dérogation	1 mois (avec en préalable 4 à 5 mois pour l'achat de la parcelle cadastrale 419)	Demande de dérogation supplémentaire	+ 1 mois si non intégrée à la demande initiale
Code des transports	Réglementation française	/	- Document de transport ou Bordereau de Suivi de Déchet (BSD) - Cerfa n°12571*01 - Consigne écrite de sécurité - Récépissé de déclaration de transport de déchets (en principe, déjà obtenu par la société de transport) - Certificat d'agrément (si nécessaire) - Certificat de formation du conducteur (en principe, déjà obtenu par la société de transport)	15 jours	- en cas de déchets amiantés : le BSDA ou Cerfa n°11861*01	+ 5 jours
	Réglementation européenne	Procédure de notification Instruction par le PNTTD	Dossier de notification	3 mois	Sur demande du PNTTD	Variable

Tableau 23 : Délais liés à la réalisation des dossiers administratifs pour le projet de nouveau déstockage de déchets

En page 64 sont synthétisés les délais d'instruction des dossiers

« Les délais indiqués dans le tableau suivant sont des délais basés sur la réglementation, notre retour d'expérience, celui des MDPA et nos échanges avec la DREAL du Grand Est.

L'analyse des délais, présentée ci-après, permet d'estimer un délai incompressible minimum de 22 mois (12 mois pour la réalisation des dossiers + 10 mois d'instruction) avant d'engager les travaux, sous réserve qu'aucune demande de dérogation espèces protégées ne soit nécessaire.

Remarque : Les délais liés à un recours éventuel sur le dossier de demande d'autorisation environnementale n'ont pas été pris en compte. »

Cadre réglementaire	Textes en vigueur	Type de démarche administrative	Type de dossier à réaliser			Compléments optionnels		
			Nature du dossier	Délais de réalisation	Délais d'instruction	Nature du complément	Délais de réalisation	Modifications du délai d'instruction
Code de l'environnement	Réglementation ICPE	Procédure ICPE/IOTA – Autorisation Environnementale Unique Instruction par la DREAL ou/et le Ministère en charge de l'Environnement	Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale (DDAE) pour un projet soumis à la Directive IED	12 mois	Entre 9 et 12 mois (délai réglementaire) + 4 mois si saisine de la Commission Nationale du Débat Public	/	/	Remarque : Durée d'instruction de 26 mois selon le retour d'expérience des MDPAs sur le dossier de demande d'autorisation ayant abouti à l'AP du 23/03/2017
	Article R.122-2 - projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements		Intégrer dans le DDAE	/	/	/	/	/
	Réglementation IOTA (Loi sur l'Eau)		Diagnostic faunistique et floristique (parcelle cadastrale 419) à intégrer dans le DDAE	6 mois (réalisable en parallèle du DDAE) (sur la base de 4 passages en période optimale entre avril et septembre)	/	En cas de présence d'espèces protégées au droit de la parcelle ou d'un impact fort avéré, une demande de dérogation espèces protégées sera nécessaire.	+ 3 mois voire + 6 mois si nécessité d'investigations sur 1 année	Oui + 4 mois car saisine du CNPN
	Réglementation Espèces naturelles protégées							
Code de l'urbanisme	Demande de permis de construire et respect des règles d'urbanisme	Procédure de demande de permis de construire Instruction par la mairie de Wittelsheim	2 demandes de permis de construire avec dérogation	1 mois (réalisable en parallèle du DDAE) (avec en préalable 4 à 5 mois pour l'achat de la parcelle cadastrale 419)	3 mois (réalisable en parallèle du DDAE) (car localisation au sein du périmètre d'un monument historique)	Demande de dérogation supplémentaire	+ 1 mois si non intégrée à la demande initiale	Oui + 1 mois
Code des transports	Réglementation française	/	- Document de transport ou Bordereau de Suivi de Déchet (BSD) - Cerfa n°12571*01 - Consigne écrite de sécurité - Récépissé de déclaration de transport de déchets (en principe, déjà obtenu par la société de transport) - Certificat d'agrément (si nécessaire) - Certificat de formation du conducteur (en principe, déjà obtenu par la société de transport)	15 jours (réalisable en parallèle du DDAE)	/	En cas de déchets amiantés : le BSDA ou Cerfa n°11861*01	+ 5 jours	/
	Réglementation européenne	Procédure de notification Instruction par le PNTTD	Dossier de notification	3 mois (réalisable en parallèle du DDAE)	2 à 6 mois (réalisable en parallèle du DDAE)	Complément sur demande du PNTTD	Variable	Remarque : Durée d'instruction de presque 12 mois selon le retour d'expérience des MDPAs sur le dossier de demande d'autorisation ayant abouti à l'AP du 23/03/2017
DELAI MINIMUM				12 mois	10 mois			

Tableau 24 : Délais liés à l'instruction des dossiers administratifs pour le projet de nouveau déstockage de déchets (délais estimés sur notre retour d'expérience et nos échanges avec la DREAL)

Pour ce qui concerne les conditions de réussite des démarches administratives, il est proposé deux méthodes :

- Application de la démarche de concertation

Extraits page 65

« La concertation n'est pas la recherche d'un accord mais un simple recueil d'avis, sans effet obligatoire. Elle a pour objectifs :

- *De faire participer les citoyens aux projets qui les concernent, par l'information la plus complète, l'écoute de leurs attentes ou de leurs craintes, l'échange et le débat,*
- *D'améliorer le contenu des projets et faciliter leur réalisation en y associant aux côtés du maître d'ouvrage, le plus grand nombre d'acteurs concernés. »*

« Pour le maître d'ouvrage, il est donc important d'engager très tôt le dialogue avec l'ensemble des acteurs concernés par son projet pour le leur présenter, leur en expliquer la pertinence et prendre en compte leurs propositions »

- Application de la démarche ERC

Extrait page 66

« La réflexion sur les conditions de réussite des démarches administratives est inspirée de la démarche Eviter, Réduire, Compenser (ERC) »

« En appliquant cette démarche ERC aux démarches administratives qui devront être menées dans le cadre du projet d'un nouveau déstockage de déchets dangereux, on obtient les objectifs suivants :

- *Eviter les atteintes aux démarches administratives afin qu'elles se déroulent dans les meilleures conditions ;*
- *Réduire les atteintes qui n'ont pu être suffisamment évitées ;*
- *Compenser si possible les atteintes qui n'ont pu être évitées ni suffisamment réduites »*

Synthèse 37 : pièce [B9] bibliographie DDA

Etude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement

Volet 9 – Elaboration du budget (Rapport n°A105892/C)

Groupement ANTEA GROUP/TRACTEBEL ENGIE, 30 septembre 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B9]

Auteurs : Groupement Antea Group /Tractebel Engie – S. Dugenest

Contexte et objectif :

Pages 4 et 5

« Le Ministre de la Transition Écologique et Solidaire a alors annoncé en février 2019 “le lancement d'une étude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement”.

Les MDPA ont confié cette étude au groupement Antea Group – Tractebel Engie.

Trois scénarios, intitulés S2, S3 et S4, ont été analysés [...]. »

« L'étude comprend neuf volets définis dans le cahier des charges [...] »

« Le présent rapport concerne le volet 9 – Elaboration du budget.

L'objectif est d'établir par semestre, pour chaque scénario S2, S3 et S4, le tableau budgétaire intégrant l'ensemble des coûts :

- D'entretien minier régulier du site ;
- D'entretien des équipements des MDPA ;
- Des charges des MDPA ;
- De réalisation des dossiers réglementaires préalables ;
- Des aménagements au jour et au fond en vue du déstockage ;
- Des approvisionnements des équipements nouveaux ;
- De mise à niveau des équipements des MDPA pour un horizon de 2030 ;
- Des opérations de déstockage et de conditionnement ;
- De l'élimination ou du traitement des déchets ;
- De réalisation du confinement du site. »

Synthèse et conclusion

Méthodologie employée pour l'évaluation budgétaire, extrait page 8 :

« Nos estimations budgétaires correspondent à une phase de niveau Avant-Projet Sommaire (APS) et ne prennent pas en compte les phases ultérieures (Avant-Projet Détaillé, Dossier de Consultation des Entreprises, etc...) d'étude.

Ces estimations sont basées sur des niveaux de prix 2020, et nous avons raisonné en euros constants sur la durée des scénarios.

Pour chaque poste de coût listé en introduction, les principaux postes de dépenses ont été identifiés et quantifiés. Pour chacun nous avons dissocié les coûts d'achat de matériel, de construction de bâtiment, de leurs coûts d'exploitation [...].

Les aménagements, constructions, achats de matériels sont lissés sur la durée totale de chantier d'un scénario donné ou bien sur une phase particulière (par exemple le déstockage). Les montants totaux ont été alors répartis sur les semestres concernés.

Nous avons distingué les semestres à forte cadence de déstockage : variation des coûts d'exploitation au prorata des heures travaillées par les équipes et des durées de fonctionnement des ateliers. Nous avons également considéré le nombre de mois réels d'opération sur un semestre incomplet.

Nous avons pris en compte une enveloppe budgétaire supplémentaire correspondant à l'incertitude des préchiffrages (niveau faisabilité), aux marges d'erreur d'estimation des volumes (pour le confinement notamment) ainsi qu'aux aléas pouvant survenir (intempéries). Nous n'avons pas pris en compte les aléas exceptionnels du type pandémie. [...] »

La synthèse des budgets par scénario est la suivante (pages 20 et 21) :

« A partir des budgets semestriels, nous avons sommé les montants par poste de coût, pour un scénario donné. Ces montants totaux sont récapitulés dans le Tableau 2., en conservant un niveau de détail des postes (différentiation des budgets des opérations en fond et au jour, sous-total des charges MDPA, sous total des travaux etc...).

Les charges courantes des MDPA sont proportionnelles à la durée du scénario.

Les budgets d'achat de matériels pour les aménagements au jour et au fond ainsi que pour la mise à niveau des équipements du site apparaissent différents d'un scénario à l'autre par la prise en compte d'arrondis dans les évaluations semestrielles.

Le Tableau 1 regroupe les montants estimés par poste principal de coût identifié au cahier des charges de l'étude.

Le budget total des scénarios S2, S3 et S4 sont globalement compris entre 333 et 456 millions d'euros.

	Budget S2	Budget S3	Budget S4
Entretien minier régulier du site	84 156 400 €	69 368 600 €	63 653 200 €
Entretien des équipements du site	8 756 300 €	7 218 800 €	6 562 600 €
Charges du site	63 414 600 €	52 247 300 €	49 256 100 €
Sous-total MDPA	156 327 300 €	128 834 700 €	119 471 900 €
Dossiers réglementaires	150 200 €	150 200 €	150 200 €
Aménagements au jour et au fond	5 806 200 €	5 805 300 €	5 804 000 €
Approvisionnement des équipements nouveaux	8 434 700 €	8 409 300 €	8 386 000 €
Mise à niveau des équipements du site	1 568 300 €	1 567 400 €	1 567 500 €
Opérations de déstockage et de conditionnement	178 463 200 €	145 693 960 €	122 030 000 €
Elimination des déchets	18 728 100 €	10 552 500 €	5 152 700 €
Confinement du site	86 572 100 €	72 803 800 €	70 437 600 €
Sous-total Travaux	299 722 800 €	244 982 460 €	213 528 000 €
TOTAL	456 050 100 €	373 817 160 €	332 999 900 €

Tableau 1 : Synthèse des budgets par scénario

Poste 1	Poste 2	Budget S2	Budget S3	Budget S4
Entretien minier régulier du site		25 120 000 €	84 156 400 €	69 368 600 €
Entretien des équipements du site		8 623 000 €	8 756 300 €	7 218 800 €
Charges du site		24 417 000 €	63 414 600 €	52 247 300 €
	Sous-total MDPA	58 160 000 €	156 327 300 €	128 834 700 €
Dossiers réglementaires		150 200 €	150 200 €	150 200 €
Aménagements au jour et au fond				
	Aménagements au jour	2 286 300 €	2 286 200 €	2 285 000 €
	Aménagements au fond	3 519 900 €	3 519 100 €	3 519 000 €
Approvisionnement des équipements nouveaux		8 434 700 €	8 409 300 €	8 386 000 €
Mise à niveau des équipements du site	(1)	1 568 300 €	1 567 400 €	1 567 500 €
Opérations de déstockage et de conditionnement				
	Opérations de déstockage et de sécurisation minière	171 786 600 €	141 197 060 €	118 314 900 €
	Opérations de conditionnement	6 676 600 €	4 496 900 €	3 715 100 €
Elimination des déchets		18 728 100 €	10 552 500 €	5 152 700 €
Confinement du site		86 572 100 €	72 803 800 €	70 437 600 €
	Sous-total Travaux	299 722 800 €	244 982 460 €	213 528 000 €
	TOTAL	456 050 100 €	373 817 160 €	332 999 900 €

(1) : Totaux des scénarios différents du fait de l'addition des montants arrondis par semestre

Tableau 2 : Détail des budgets par scénario

Synthèse 38 : pièce [B10] bibliographie du DFDA

Etude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement

Définition du scénario S4 (Rapport n°A106472/C)

Groupement ANTEA GROUP/TRACTEBEL ENGIE, 30 septembre 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B10] :

Auteurs : Groupement Antea Group /Tractebel Engie – S. Dugenest

Contexte et objectif :

Pages 4 et 5

« Le Ministre de la Transition Écologique et Solidaire a alors annoncé en février 2019 “le lancement d'une étude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement”.

Les MDPA ont confié cette étude au groupement Antea Group – Tractebel Engie.

Trois scénarios, intitulés S2, S3 et S4, ont été analysés [...]. »

« *L'étude comprend neuf volets définis dans le cahier des charges [...]* »

« *L'objectif du scénario S4 est de sélectionner les déchets prioritaires à déstocker en prenant en compte leur impact potentiel sur la nappe phréatique en cas de maintien en place et d'ennoyage de la mine.*

Les incidences positives ou négatives doivent être appréciées.

La première partie du rapport présente les conclusions de l'étude confiée à Curium visant à :

- *Etudier la méthodologie appliquée par l'Ineris et réaliser une analyse critique de leurs résultats de modélisation ;*
- *Elaborer une approche complémentaire par l'étude des interactions entre déchets.*

A la lumière de ces éléments, les espèces prioritaires à déstocker dans le cadre du scénario S4 sont sélectionnées.

Dans la seconde partie du rapport, est décrite la méthodologie appliquée afin de préciser quantitativement le scénario S4 : en pourcentage de réduction des masses élémentaires des espèces chimiques retenues d'une part et en tonnes et en colis de déchets d'autre part.»

Synthèse et conclusion

En prenant en compte l'évaluation du terme source, l'étude d'impact réalisée et l'étude des interactions entre déchets « [ANTEA/TRACTEBEL] *retiens le déstockage de Hg, Cd, Cr en scénario S4. [...]. Pour préciser le scénario S4, la priorité sera bien donnée au retrait de Hg, Cd*

et Cr. Néanmoins il sera envisagé de déstocker des déchets supplémentaires afin de viser une quantité d'As retirée optimale. » (Extrait page 9)

Extrait pages 14 et 15

« Les tonnages de déchets à déstocker selon le scénario S4 sont regroupés dans le Tableau 3 :

- Tonnages équivalents de déchets des différentes catégories, pour un total de 9149 tonnes en version de base (soit 23% du tonnage total en stock hors B15) ;
- Ainsi que les tonnages supplémentaires correspondant aux opportunités, pour un total de 492 tonnes, ce qui élèverait le total à déstocker à 9641 tonnes (soit 24% du tonnage total en stock hors B15).

Catégorie de déchet		Tonnage S4 Base	Tonnage S4 Base Détail	Tonnage Opportunités S4	Tonnage Total	Filière
A1	Sels de trempe				2026,67	Stockage profond mines de sel
A2	Sels de trempe non cyanurés				1191,26	Stockage profond mines de sel
B10	Produits phytosanitaires non organiques			8,22	8,22	Stockage profond mines de sel
B3	Déchets arséniés	6332,8	6321,28	483,75	6843,29	Stockage profond mines de sel
			11,52			22,46
B5	Déchets mercuriels	101,04	101,04		101,04	Stockage profond mines de sel
						28,67
B6	Terres polluées et résidus pollués par métaux lourds	1686,56	470,51		1657,84	ISDD
					544,1	ISDD
					2,7	ISDD
					2561,07	ISDD
					25,45	Resolest
					89,18	Incinération spécialisée en filière directe
					284,33	Stockage profond mines de sel
12,21	12,21		12,21	Stockage profond mines de sel		
C4	Déchets chromiques	428,81	428,81		428,81	Stockage profond mines de sel
C8	Déchets de galvanisation, rétentat de filtration	537,39	537,39		559,91	ISDD
					30,29	Stockage profond mines de sel
D12	Déchets de laboratoire	50,54	50,54		92,85	Incinération spécialisée PCB
					50,54	Stockage profond mines de sel
D7	Résidus de l'industrie (de l'électronique)				9,88	ISDD
					126,89	Stockage profond mines de sel
	Déchets générés pdt déstockage				332,00	ISDD
					133,5	ISDD
					27,20	Préparation de charge pour cimenterie
					8,92	ISDD (Laimont)
E13	Déchets amiantés				3335,15	ISDD (Laimont)
E9	Résidus d'incinération de déchet				19757,5	ISDD
	Filtres souillés (extraits de A1, A2, B3 et C8)				77,9	Incinération spécialisée en filière directe
TOTAL		9149,348	9149,348	491,967	40369,87	
Total à déstocker S2					40369,9	100 % hors B15
Total à déstocker S3					16775,6	42 % hors B15
Total à déstocker S4 Base					9149,35	23 % hors B15
Total à déstocker S4 avec Opportunités					9641,32	24 % hors B15

Tableau 3 : Tonnages du scénario S4 – Comparaison aux tonnages des autres scénarios

De par les volumes et natures de déchets impliqués, le scénario S4 représente bien réellement une alternative aux scénarios S2 ou S3, en réduisant d'un facteur 2 à 4 les tonnages déstockés.

Exprimés en retrait d'un nombre de colis, ce scénario correspond à 14% de déstockage, soit 7 fois moins que S2 (cf Tableau 4).

	Nombre de colis	
Total à déstocker S2	63429	100 % hors B15
Total à déstocker S3	16335	26 % hors B15
Total à déstocker S4 Base	8688	14 % hors B15
Total à déstocker S4 avec Opportunités	9505	15 % hors B15

Tableau 4 : Proportions de colis déstockés par scénario

Afin de conserver la traçabilité des filières d'élimination identifiées dans l'étude du volet 1 ([3]), nous avons détaillé dans le Tableau 3, les tonnages de déchets du scénario S4 par filière d'élimination. Ces éléments ont fait l'objet de l'actualisation du rapport du volet 1 ([3]). »

Synthèse 39 : pièce [B11] bibliographie du DDA

Etude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement

Volet hydrogéologique (Rapport n°104806/C)

Groupement ANTEA GROUP/TRACTEBEL ENGIE, 30 septembre 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B11]

Auteurs : Groupement Antea Group /Tractebel Engie – M. Lechenard

Contexte et objectif :

Pages 7 et 8

« Le Ministre de la Transition Écologique et Solidaire a alors annoncé en février 2019 “le lancement d'une étude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement”.

Les MDPA ont confié cette étude au groupement Antea Group – Tractebel Engie.

Trois scénarios, intitulés S2, S3 et S4, ont été analysés [...]. »

« L'étude comprend neuf volets définis dans le cahier des charges [...] »

« Le présent rapport concerne l'avis sur les conclusions des études hydrogéologiques de l'impact sur la nappe rhénane du volet 2 – Evaluation des risques sécurité et environnementaux. »

« Les MDPA demandent, sur instruction de l'Etat (unique actionnaire des MDPA), au groupement Antea Group – Tractebel Engie d'évaluer le bénéfice environnemental de l'opération de déstockage selon les scénarios S2, S3 et S4 sur la qualité de la nappe phréatique d'Alsace en comparaison avec le scénario S1. Le scénario S1, défini dans l'arrêté préfectoral du 23 mars 2017, comprenait le déstockage du mercure et de phytosanitaires contenant du zirame (terminé fin 2017) et le confinement du site par remblayage et construction de barrages dont le planning prévoit l'achèvement en 2023 sans déstockage supplémentaire.

L'objectif du présent avis est de réaliser une revue critique des documents soumis à l'avis et de répondre aux interrogations des MDPA. La présente étude a pour objectif de détecter, dans les documents soumis à l'avis, et eu égard à la réglementation en vigueur et aux règles de l'art, ce qui est conforme, ce qui manque et les incertitudes qui subsistent. »

Avis sur le bénéfice environnemental local sur la nappe d'Alsace (aspect hydrogéologique) des 3 scénarios envisagés

Extrait complet du chapitre pages 59 et 60

« Le groupement Antea Group - Tractebel Engie considère par la suite que les résultats obtenus sur la base des modélisations de l'INERIS et du BRGM dans le cadre du scénario S1 sont satisfaisants et que les hypothèses prises en compte sont majorantes et sécuritaires.

Les trois scénarios, intitulés S2, S3 et S4, sont les suivants :

- S2 : déstockage de 100 % des déchets hormis ceux du bloc 15, option dont la faisabilité a été développée par le BRGM ;
- S3 : déstockage de l'ensemble des déchets hormis ceux du bloc 15, à l'exclusion des résidus d'incinération, des déchets amiantés et des déchets générés par le chantier de déstockage achevé en 2017, solution alternative également développée par le BRGM dans son rapport ;
- S4 : déstockage supplémentaire de déchets prenant en compte les taux de retrait minimums pour atteindre un taux de déstockage total de :
 - 99,5% du Hg ;
 - 78,1% du Cr ;
 - 56,9% du Cd ;
 - 99,9% de As.

Le déstockage complémentaire de déchets dans le cadre des scénarios S2, S3 et S4 entraînera une modification des tonnages élémentaires et des équilibres géochimiques conduisant à des concentrations du terme source différentes.

Les résultats des modélisations effectuées dans le cadre du scénarios S1, correspondant à la situation actuelle, montrent un impact très faible sur la nappe d'Alsace.

Les dernières données mesurées sur les forages VABP2 et VLPB2 [24] montrent que les hypothèses retenues par l'INERIS sont sécuritaires lors de la phase d'ennoyage des travaux miniers.

L'étude d'ITASCA [22] sur le dimensionnement des barrières de confinement permet également de montrer que les débits issus du stockage pris en compte par l'INERIS sont sécuritaires et que la date de sortie de la saumure contaminée est supérieure à 1 000 ans.

Globalement, l'impact environnemental local sur les eaux souterraines de la nappe d'Alsace des scénarios S2, S3 et S4, en ne considérant que l'aspect hydrogéologique, sera faible et a priori du même ordre de grandeur que celui quantifié dans l'étude du scénario S1.

L'ensemble de ces éléments sont repris dans le tableau de synthèse suivant (**Tableau 5**).

	Scénario S1 de référence INERIS => état actuel	Bénéfice environnemental des scénarios S2, S3 et S4 par rapport au scénario S1
Terme source	Prise en compte des dernières évaluations de la masse des éléments et des modélisations de l'INERIS (2016).	Modification du terme source (tonnages et équilibres géochimiques) Le bénéfice environnemental local sur la nappe d'Alsace (aspect hydrogéologique) n'est pas démontré si réalisation des scénarios S2, S3 ou S4.
Débit d'arrivée de la saumure Arrivée de la saumure au droit des barrages Ennoyage complet des travaux miniers	Sécuritaire, d'après les dernières mesures sur les sondages VAPB2 et VLPB2 l'ennoyage des travaux miniers est plus lent que l'évaluation faite par l'INERIS => en faveur d'une meilleure performance des barrages en retardant l'arrivée de la saumure saine.	Aucun, le déstockage des déchets n'aura pas d'influence sur l'ennoyage des travaux miniers. Le processus d'ennoyage des travaux miniers est indépendant du stockage, il dépend en effet des débits d'infiltrations (via les puits de mine) et des volumes disponibles des travaux miniers.
Date de fin d'ennoyage du stockage Débit de sortie de saumure contaminée	Sécuritaire d'après la dernière étude d'ITASCA => débit de saumure contaminée plus faible que celui évalué par l'INERIS et date de sortie de la saumure contaminée au travers des barrages supérieure à 1 000 ans.	D'après ITASCA, le déstockage n'a qu'un effet marginal sur la date et le débit de sortie de la saumure contaminée. Selon ces hypothèses les scénarios envisagés n'ont pas d'effet sur ces deux paramètres.
Débit de sortie de saumure contaminée diluée dans la saumure saine par les 5 puits	Sécuritaire, dilution moins importante sur les 5 puits que sur les 15 puits.	Le débit de sortie de saumure contaminée n'étant pas lié au déstockage des déchets, la dilution dans la saumure saine sera la même pour les 3 scénarios envisagés en comparaison avec le scénario S1.
Modélisation des concentrations dans la nappe d'Alsace	Pour l'ensemble des éléments étudiés, les concentrations dans la nappe d'Alsace sont faibles et inférieures aux seuils réglementaires en considérant un maillage de 125 m par 125 m. Pour le mercure, l'extension des panaches au droit de chaque puits, calculé à partir des résultats obtenus par le BRGM dans la couche 3 (couche alluvionnaire profonde) du modèle pour un maillage de 2 m par 2 m, montre que l'iso-concentration correspondant à la limite de qualité pour une eau de consommation humaine ne s'étend qu'à proximité immédiate des puits.	Faible, l'impact global sur la nappe d'Alsace sera du même ordre de grandeur.

Tableau 5 : Evaluation du bénéfice environnemental local sur la nappe d'Alsace (aspect hydrogéologique) de chaque scénario en comparaison avec le scénario S1

Synthèse 40 : pièce [B13] bibliographie du DDA

Etude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement

Scénario S5 (Rapport n°A106983/A)

Groupement ANTEA GROUP/TRACTEBEL ENGIE, 09 octobre 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B13]

Auteurs : Groupement Antea Group /Tractebel Engie – S. Dugenest

Contexte et objectif :

Pages 5

« Le Ministre de la Transition Écologique et Solidaire a alors annoncé en février 2019 “le lancement d’une étude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d’un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement”.

Les MDPA ont confié cette étude au groupement Antea Group – Tractebel Engie.

Trois scénarios, intitulés S2, S3 et S4, ont été analysés [...]. »

« Pour chacun de ces scénarios, ont été évalués les conditions de sécurité, le bénéfice environnemental et les coûts.

Aucun de ces trois scénarios ne permet de réaliser un déstockage partiel et le confinement au plus tard en 2027.

C'est pourquoi les MDPA ont demandé au groupement Antea Group – Tractebel Engie, d'étudier un nouveau scénario S5, permettant un déstockage partiel et la réalisation du confinement avant fin 2027.

Une fois élaboré, ce scénario sera évalué en termes de risques, bénéfice environnemental, et coûts à titre de comparaison à S1, S2, S3 et S4. »

Synthèse

Afin d'étudier ce scénario, la méthodologie a été la suivante (extrait page 7) :

« En considérant l'échéance de fin 2027, des délais administratifs de 22 mois et une durée des opérations de confinement d'environ 50 mois, nous avons estimé que le temps imparti aux opérations de déstockage est de l'ordre de 12 mois.

Sur la base des précédents scénarios étudiés S2, S3 et S4, nous avons considéré en priorité pour le déstockage :

- *Des zones à faible contrainte de convergence (zones vertes prioritairement et jaunes [4]) ;*
- *Des colis accessibles en déplaçant un minimum de colis de déchets amiantés, eu égard aux risques que ces manipulations représentent (interruption du chantier pour sécurisation en cas de rupture de confinement des déchets amiantés ([3] et [4]) ;*
- *Des colis impliqués dans le scénario S4, correspondant aux déchets pouvant potentiellement avoir un impact sur la nappe phréatique en cas de maintien en place et ennoyage de la mine ([10]).*

Seuls les colis de déchets amiantés et de déchets générés pendant la précédente opération de déstockage de 2015 à 2017 sont exclus du déstockage ; de par leur caractère inerte [1], leur déstockage ne représente aucun bénéfice environnemental potentiel. Par conséquent, tout colis déplacé correspondant aux autres catégories de déchets est retiré de la mine.

L'étude logistique du déstockage S5 a été menée selon les critères définis ci-avant. [...]

Ce scénario permet d'atteindre les capacités maximales logistiques du puits Joseph et de l'atelier de surface.

L'ensemble des contraintes techniques et logistiques ont été prises en compte dans l'analyse des risques et des impacts environnementaux ainsi que pour l'estimation des coûts.

Les aménagements préalables et les techniques mises en œuvre dans le scénario S5, concernant le déstockage, les opérations de sécurisation minière et le reconditionnement, sont similaires à celles développées dans les scénarios S2, S3 et S4 ([3] et [6]) ; c'est pourquoi ces éléments ne sont pas repris dans ce rapport.

Les filières d'élimination des déchets restent également inchangées ([1]). »

Il résulte de cette étude les points suivants (extrait des pages 32 et 33) :

« Le Tableau 8 récapitule l'ensemble des résultats de cotation des scénarios S2 à S5 comparativement à S1.

Les pourcentages de déstockage, exprimés en tonnes de déchets, en colis de déchets, ou encore en masses de mercure, chrome, cadmium et arsenic, décrivent chaque scénario et permettent de les comparer sur les critères quantité et qualité des déchets déstockés.

Les scénarios S2 à S5 font tous apparaître des niveaux de risques professionnels forts.

Le scénario S2 révèle un impact environnemental négatif fort et les scénarios S3 à S5 un effet négatif moyen à fort.

Le bénéfice environnemental local sur la nappe d'Alsace (aspect hydrogéologique) n'est pas démontré pour les 4 scénarios de déstockage S2 à S5.

Les risques accidentels en fond sont estimés forts pour le scénario S2, moyens pour les scénarios S3 et S4 et faibles pour le scénario S5.

Les risques accidentels en surface sont estimés de faible niveau pour les scénarios S2 à S5.

Pour le scénario S5, les quantités déstockées ont été réduites et seuls les blocs les plus accessibles ont été engagés afin de respecter l'échéance de 2027 ; le déstockage partiel et le confinement sont achevés en novembre 2027.

Les budgets des scénarios sont compris entre 205 M€ (S5) et 456 M€ (S2), comparativement à 128 M€ pour S1.

La cotation des niveaux de risques et d'impacts est la suivante :

Risques professionnels ou accidentels	Impacts environnementaux	
Risque fort	Effet négatif fort	
	Effet négatif moyen à fort	
Risque moyen	Effet négatif moyen	
Risque faible	Effet négatif faible	
Risque négligeable	Effet nul ou négligeable	

		Scénario S1 (1)	Scénario S2	Scénario S3	Scénario S4	Scénario S5
% Déstockage en tonnage hors B15		0	100	42	24	13
% Déstockage en colis hors B15		0	100	26	15	12
Tonnage		41 999	40 370	16 776	9 534	5 402
	% Déstockage / Total (avec B15)		96%	40%	23%	13%
Nombre de colis		66 256	63 429	16 335	9 277	7 736
	% Déstockage / Total (avec B15)		96%	25%	14%	12%
% Déstockage cumulé en	mercure	95,0%	100,0%	99,5%	99,5%	97,3%
	chrome	4,1%	97,9%	86,6%	78,1%	35,1%
	cadmium	0,9%	63,5%	59,3%	56,9%	4,9%
	arsenic	1,5%	100,0%	99,9%	99,0%	10,4%
Risques professionnels		ND				
Impacts environnementaux						
Risques accidentels en surface						
Risques accidentels en fond						
Durée du déstockage	Années		8,4	7,3	6,4	3,2
	Date		Jan 21 - Mai 29	Jan 21 - Avril 28	Jan 21 - Mai 27	Jan 21 - Fév 24
Date de fin du confinement		2024	Avril 34	Déc 31	Juin 31	Nov 27
Compatibilité avec le délai de 2027			NON	NON	NON	OUI
Budget (2)		128 M€	456 M€	374 M€	333 M€	205 M€

(1) Hors déstockage de 2015-2017

(2) Le budget n'intègre pas le désarmement ni la fermeture des puits, ni le démantèlement des installations des MDPAs

Tableau 8 : Tableau synthétique de cotation des scénarios

Synthèse 41 : pièce [B14] bibliographie du DDA

Etude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement

Scénario S6 (Rapport n°A107120/B)

Groupement ANTEA GROUP/TRACTEBEL ENGIE, 28 octobre 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B14] :

Auteurs : Groupement Antea Group /Tractebel Engie – S. Dugenest

Contexte et objectif :

Pages 5

« Le Ministre de la Transition Écologique et Solidaire a alors annoncé en février 2019 “le lancement d'une étude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement”.

Les MDPA ont confié cette étude au groupement Antea Group – Tractebel Engie.

Trois scénarios, intitulés S2, S3 et S4, ont été analysés [...]. »

« Pour chacun de ces scénarios, ont été évalués les conditions de sécurité, le bénéfice environnemental et les coûts.

Aucun de ces trois scénarios ne permet de réaliser un déstockage partiel et le confinement au plus tard en 2027.

Dans un premier temps, les MDPA ont confié au groupement Antea Group – Tractebel Engie l'étude d'un nouveau scénario S5, permettant un déstockage partiel puis la réalisation du confinement avant fin 2027 ([13]).

Dans un second temps, les MDPA ont demandé l'étude de faisabilité d'un scénario alternatif, S6, débutant par une partie du confinement, se poursuivant par le déstockage partiel de déchets puis s'achevant par la terminaison du confinement avant fin 2027.

Une fois ce scénario S6 élaboré, les conditions de sécurité, le bénéfice environnemental et les coûts associés seront également évalués.

Enfin, ce scénario S6 sera comparé aux scénarios précédemment étudiés S2, S3, S4 et S5. »

Synthèse

Afin d'étudier ce scénario, la méthodologie a été la suivante (extrait pages 8 et 9) :

« Le scénario S6 vise à déstocker le maximum de colis avec l'achèvement du confinement au plus tard fin 2027.

Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de réaliser un maximum de travaux de confinement en parallèle de la phase administrative (études et autorisations) préalable aux travaux de déstockage.

Deux options sont ouvertes :

- *Réalisation d'un maximum d'ouvrages de confinement mais limitation du nombre de fronts de déstockage à deux. Cette option permet de réaliser les barrages n°1, 2, 8 et 9 ainsi que le remblayage des galeries localisées au nord des blocs de stockage. Elle ne permet pas de déstocker à partir des galeries nord (limitation à deux ateliers – central et sud) ;*
- *Réalisation des ouvrages qui n'engendrent aucune contrainte sur le déstockage à suivre. Cette option permet de réaliser uniquement le barrage n°2 et peu d'activités de remblayage. Elle permettrait de déstocker sur trois ateliers mais avec une fenêtre de déstockage beaucoup plus courte. Avec cette option, six mois de mobilisation seraient nécessaires pour trois mois de travaux, ce qui ne semble pas pertinent (sans compter la durée de démobilisation).*

En complément, deux facteurs sont à prendre en compte : le principe de privilégier le déstockage dans les zones d'accès facile et la capacité logistique maximale du puits Joseph. L'analyse de la cartographie de récupérabilité montre que l'atelier nord ne permet pas d'accéder à des zones d'accès facile. Et deux ateliers localisés en zone facile engendrent une production de colis qui est très proche du maximum logistique autorisé par le puits Joseph (80 A/R par jour).

En conclusion de cette analyse multifactorielle, la première option est retenue. Elle permet de réaliser le maximum de travaux de confinement en parallèle de la phase administrative préalable aux travaux de déstockage. Elle offre la fenêtre la plus large pour le déstockage sans contrainte liée à la limitation du nombre d'ateliers de déstockage car la capacité logistique maximale du puits Joseph est déjà atteinte.

Avec les hypothèses retenues, le temps imparti aux opérations de déstockage est estimé à environ 26 mois.

Sur la base des précédents scénarios étudiés, S2 à S5, ont été considérés en priorité :

- *Des colis accessibles en déplaçant un minimum de colis de déchets amiantés, eu égard aux risques que ces manipulations représentent (interruption du chantier pour sécurisation en cas de rupture de confinement des déchets amiantés ([3] et [4]) ;*
- *Des colis impliqués dans le scénario S4, correspondant aux déchets ayant les facteurs de sécurité les moins élevés ([10]).*

Les colis de déchets amiantés et de déchets générés pendant le déstockage de 2015 à 2017 ont été exclus du déstockage ; de par leur caractère inerte ([1]), leur déstockage ne représente aucun bénéfice environnemental potentiel. Par conséquent, tout colis déplacé correspondant aux autres catégories de déchets est retiré de la mine.

L'étude logistique du déstockage S6 a été menée selon les critères définis ci-avant. Après une première approche, le scénario S6 a été finalisé, en précisant :

- *Les unités cartographiques déstockées (à titre d'exemple B11.125.5) ;*
- *Les qualités et quantités de déchets déstockés (en nombre de colis et en tonnage) ;*
- *Les proportions de déstockage équivalentes en masse de mercure, chrome, cadmium et arsenic.*

L'ensemble des contraintes techniques et logistiques ont été prises en compte dans l'analyse des risques et des impacts environnementaux ainsi que pour l'estimation des coûts.

Les aménagements préalables et les techniques mises en œuvre dans le scénario S6, concernant le déstockage, les opérations de sécurisation minière et le reconditionnement, sont similaires à celles développées dans les scénarios S2, S3 et S4 ([3] et [6]) ; c'est pourquoi ces éléments ne sont pas repris dans ce rapport.

Les filières d'élimination des déchets restent également inchangées ([1]). »

»

Il résulte de cette étude les points suivants (extrait des pages 32 et 33) :

« Le Tableau 8 récapitule l'ensemble des résultats de cotation des scénarios S2 à S6 comparativement à S1.

Les pourcentages de déstockage, exprimés en tonnes de déchets, en colis de déchets, ou encore en masses de mercure, chrome, cadmium et arsenic, décrivent chaque scénario et permettent de les comparer sur les critères quantité et qualité des déchets déstockés.

Les scénarios S2 à S6 font tous apparaître des niveaux de risques professionnels forts.

Le scénario S2 révèle un impact environnemental négatif fort et les scénarios S3 à S6 un effet négatif moyen à fort.

Le bénéfice environnemental local sur la nappe d'Alsace (aspect hydrogéologique) n'est pas démontré pour les 4 scénarios de déstockage S2 à S6.

Les risques accidentels en fond sont estimés forts pour le scénario S2, moyens pour les scénarios S3 et S4 et faibles pour les scénarios S5 et S6.

Les risques accidentels en surface sont estimés de faible niveau pour les scénarios S2 à S6.

Les budgets des scénarios sont compris entre 205 M€ (S5) et 456 M€ (S2), comparativement à 128 M€ pour S1.

La cotation des niveaux de risques et d'impacts est la suivante :

Risques professionnels ou accidentels	Impacts environnementaux	
Risque fort	Effet négatif fort	
	Effet négatif moyen à fort	
Risque moyen	Effet négatif moyen	
Risque faible	Effet négatif faible	
Risque négligeable	Effet nul ou négligeable	

		Scénario S1	Scénario S2	Scénario S3	Scénario S4	Scénario S5	Scénario S6
Déstockage	en tonnage	-	40 370	16 776	9 534	5 402	10 634
	en nombre de colis	-	63 429	16 335	9 277	7 736	13 966
	hors B15 % en tonnage	-	100%	42%	24%	13%	26%
	% en nombre de colis	-	100%	26%	15%	12%	22%
	avec B15 % en tonnage	-	96%	40%	23%	13%	25%
	% en nombre de colis	-	96%	25%	14%	12%	21%
% Déstockage cumulé (1) en	mercure	95,0%	100,0%	99,5%	99,5%	97,3%	97,5%
	chrome	4,1%	97,9%	86,6%	78,1%	35,1%	53,0%
	cadmium	0,9%	63,5%	59,3%	56,9%	4,9%	29,0%
	arsenic	1,5%	100,0%	99,9%	99,0%	10,4%	54,1%
Risques professionnels	ND						
Impacts environnementaux							
Risques accidentels en surface							
Risques accidentels en fond							
Durée du déstockage	Années	-	8,4	7,3	6,4	3,2	4,1
	Date	-	Janv 21 - Mai 29	Janv 21 - Avril 28	Janv 21 - Mai 27	Janv 21 - Fév 24	Janv 21-Janv 25
Date de fin du confinement		2024	Avril 34	Déc 31	Juin 31	Nov 27	Déc 27
Budget (2)		128 M€	456 M€	374 M€	333 M€	205 M€	239 M€

Déchets stockés, B15 inclus : 41 999 T / 66 256 colis

(1) Déstockage de 2015-2017 inclus

(2) Le budget n'intègre pas le désarmement ni la fermeture des puits, ni le démantèlement des installations des MDPA

ND : non déterminé

Tableau 8 : Tableau synthétique de cotation des scénarios

Synthèse 42 : pièce [B15] bibliographie du DDA

Modèle de la nappe d'Alsace - Projet de développement (R-403353)

BRGM, 12 décembre 1998

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B15] :

Auteurs : BRGM – Noyer M.L., Menjot A., Elsass Ph., Thiéry D., Martin J.C. avec la collaboration de Sauty J.P., Vançon J.P.

Synthèse page 3 :

« Ce rapport décrit la méthodologie employée et les résultats obtenus en 1997 et 1998 dans le cadre du projet de développement PRID 312 de la Direction de la Recherche du BRGM, appliqué à la modélisation du secteur français de la nappe d'Alsace compris entre Mulhouse et Colmar.

L'objectif de ce projet de développement était essentiellement la réalisation d'une action de démonstration des capacités du BRGM en matière de modélisation d'un système aquifère complexe et de l'adaptation des fonctionnalités de ses outils numériques. Dans ce but, il était nécessaire d'intégrer les diverses études antérieures dans le même domaine (données de suivi périodique, approches numériques) et ceci a nécessité de valider et maîtriser les toutes dernières options de l'outil de modélisation, le code MARTHE du BRGM.

La présentation des travaux comprend l'ensemble des étapes nécessaires à l'approche d'un problème 3D complexe qui se situe dans la catégorie des modélisations de phénomènes interdépendants (hydrodynamique et transferts), en régime transitoire et en présence de diverses interactions (échanges nappe-rivière) ou couplages (effets densitaires) entre phénomènes élémentaires.

A l'issue d'une première phase d'analyse des nombreuses données expérimentales, le calage du régime hydrodynamique réalisé au sein d'une géométrie 2D, puis multicouche plus réaliste, permet une restitution très cohérente de la piézométrie régionale "observée". L'analyse par simulation de l'évolution de la distribution spatiale de la salure, induite par une quinzaine de sources de contamination (infiltration sous les terrils du Bassin Potassique) reproduit les principales caractéristiques de la phénoménologie expérimentale au cours des vingt dernières années. L'étude met en évidence l'incidence de la discrétisation géométrique au voisinage des sources de saumure, la forte sensibilité à la variabilité de la vitesse (langues salées relativement étroites) et les contraintes de calage associées à la cohérence simultanée de l'hydrodynamique et des transferts.

Le modèle multicouche issu de cette étude pourrait servir de base à la mise au point d'un véritable modèle de gestion du Bassin Potassique et du réseau élargi, en collaboration avec les principales parties prenantes. La finalisation d'un tel modèle de gestion nécessiterait l'acquisition d'un certain nombre de données complémentaires dont le besoin s'est fait sentir au cours de l'exécution du projet présenté ici. L'étude du comportement détaillé de l'aquifère

a nécessité l'approche d'un contexte complexe et largement documenté qui n'aurait pu être appréhendé sans l'appui efficace des diverses instances en charge des investigations expérimentales ou du suivi réglementaire (APRONA, AERM, DDA, DIREN/Sema, Mines Domaniales de Potasse d'Alsace, Service de la Navigation de Strasbourg) que nous remercions. »

Synthèse 43 : pièce [B16] bibliographie DDA

Modélisation des langues salées du Bassin potassique

Synthèse des études 2003-2006 (RP-55056-FR)

BRGM, novembre 2006

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B16]

Auteurs : BRGM – ELSASS P.

Synthèse pages 3 et 4 :

« La pollution saline issue principalement des terrils des Mines de potasse d'Alsace (MDPA) affecte encore aujourd'hui près d'une centaine de km² de la nappe d'Alsace dans le département du Haut-Rhin. Il existe notamment, en aval du bassin potassique, deux panaches d'eaux souterraines salées de plus de 20 kilomètres de longueur, connus sous les noms de "langue salée Est" et "langue salée Ouest", dont la propagation vers l'aval engendre des risques pour l'alimentation en eau potable.

Si la situation des tranches superficielles de l'aquifère montre une tendance générale à l'amélioration suite aux travaux de fixation et de dépollution des sources mises en œuvre par les MDPA avec le concours financier de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, des interrogations subsistent sur la salure des couches profondes de la nappe et sur son évolution future.

La réponse à de telles interrogations passe nécessairement par l'utilisation d'un modèle hydrodynamique permettant de simuler l'évolution de la salure tant en surface qu'en profondeur et d'évaluer l'impact de différents scénarios d'arrêt de pompages ou de mise en place de barrages de dépollution.

Un projet de modélisation a été lancé en 2003 par le BRGM avec le concours financier de la Région Alsace, de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse et des MDPA, en prolongation d'un modèle multicouche prototype construit en 1998. Ce projet de modélisation plus fine de l'hydrodynamique et du transport des chlorures, destiné à apporter une aide à la décision aux acteurs du domaine, a été achevé en juin 2006.

Le projet de modélisation s'est révélé complexe à mettre en œuvre en raison du grand nombre de données à prendre en compte et des nombreux phénomènes à simuler : caractère multicouche de l'aquifère, interactions nappe-rivières, mise en eau temporaire de canaux, soutien d'étiage, infiltrations des terrils salés, très nombreux pompages...

Malgré des imprécisions au voisinage immédiat des terrils où les effets densitaires sont très importants et où l'impact des opérations de dissolution accélérée n'a pu être pris en compte, la restitution en fin de calage du modèle des cartes historiques des chlorures et des chroniques de concentration observées est globalement satisfaisante. Le modèle semble optimiste sur la

rapidité du nettoyage des fortes teneurs observées sous certains terrils, et pessimiste en ce qui concerne l'impact en aval de ces mêmes terrils.

La comparaison entre le scénario dit tendanciel, bâti d'après les prévisions actuelles des MDPA sur le traitement des terrils et l'abandon progressif des pompages de dépollution et de fixation, et le scénario où l'on maintiendrait tous les pompages existant en 2006 en fonctionnement jusqu'en 2014, montre que les prévisions des MDPA sont très proches de l'optimum. »

Synthèse 44 : pièce [B17] bibliographie DDA

Modélisation de la salure profonde au droit et en aval du bassin potassique

Rapport final (RP-54389-FR)

BRGM, juin 2006

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B17]

Auteurs : BRGM – M.L. Noyer, P. Elsass

Synthèse page 3 :

« Cette étude a été réalisée sur crédits propres du BRGM (Direction de la Recherche) avec cofinancement de la Région Alsace, de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse et des Mines de Potasse d'Alsace (MDPA).

L'objectif de cette étude était la mise au point d'un modèle hydrodynamique de gestion de la pollution saline de la nappe d'Alsace, dans les couches superficielles comme en profondeur, au droit et en aval du Bassin Potassique. Ce modèle doit permettre de suivre l'évolution de la salure dans le temps et d'évaluer l'impact de différents scénarios d'arrêt des pompages de fixation ou de dépollution des MDPA, pour apporter une aide à la décision.

Un modèle multicouche prototype avait été construit en 1998 sur la base des connaissances de l'époque, avec un maillage uniforme à la maille de 500 m cohérent avec le maillage du modèle hydrodynamique régional (LfU 1996). Malgré les résultats novateurs qu'il apportait, la taille des mailles était trop grande pour qu'il puisse servir de modèle de gestion.

La construction du nouveau modèle affiné s'est appuyée d'une part sur la réutilisation d'une partie des données du modèle prototype quand c'était possible et d'autre part sur l'analyse et l'intégration des nouvelles connaissances acquises depuis 1998.

Les étapes de réalisation de ce nouveau modèle ont donc été les suivantes :

- la redéfinition complète de la géométrie des couches alluviales prenant en compte les nouvelles données issues en particulier de la géophysique et de l'analyse des coupes de nouveaux forages réalisés récemment dans le Bassin Potassique ; de plus, une topographie plus réaliste tenant compte des affaissements dans le Bassin Potassique a été fournie par les MDPA.
- une meilleure définition de l'historique des terrils et de leur impact en fonction des travaux de dépollution entrepris, en lien avec les MDPA ;
- une discrétisation horizontale affinée à un maillage de 125 m dans la zone du Bassin Potassique ; en conséquence toutes les données sont prises en compte de façon beaucoup plus précises dans cette zone ;

- la mise à jour de toutes les données nécessaires pour l'hydrodynamique (données hydro-climatiques, données piézométriques, données du réseau hydrographique, recensement des pompages et des drains superficiels et profonds) ainsi que pour le transport (cartes de concentrations, chroniques de salure, données d'infiltration sous les terrils) ; ces données ont été complétées, analysées, critiquées et discrétisées pour adaptation au nouveau maillage et à la nouvelle période de calage ;
- le calage de l'hydrodynamique sur la piézométrie sur 27 cycles hydrologiques (janvier 1978 à décembre 2004) au pas de temps mensuel, en prenant en compte les interactions dynamiques avec le réseau hydrographique (rivières, canaux, drains) ; environ 20 piézomètres et 5 stations de jaugeage ont servi de points de contrôle ;
- le calage du transport des chlorures sur les chroniques observées au pas mensuel de janvier 1992 à décembre 2004 avec contrôle sur les cartes de salure de 2004 et sur les évolutions en 19 piézomètres et 17 puits de fixation.

Malgré quelques imprécisions au voisinage immédiat des terrils où les effets densitaires sont très importants, notamment pour les terrils traités par dissolution accélérée, la restitution des cartes historiques des chlorures et des chroniques de concentrations observées est globalement satisfaisante.

Après finalisation du calage du modèle, différents scénarios d'exploitation ont été mis en œuvre pour prévoir l'évolution future de la salure dans la zone d'étude, en fonction de différentes hypothèses sur le maintien en fonctionnement des pompages de fixation et de dépollution.

Le scénario dit tendanciel était basé sur des prévisions de traitement des terrils et d'arrêt successif des pompages jusqu'en 2014 établies par les MDPA. Ce scénario prévoit notamment qu'en 2014 tous les terrils ont été traités et tous les ouvrages de pompage non utilisés pour l'AEP sont arrêtés.

Le scénario 1 reprenait les mêmes prévisions de traitement des terrils mais supposait que les pompages étaient maintenus au rythme de 2005 jusqu'en 2014, et qu'ensuite tous les pompages (hors AEP) dont la concentration était descendue en dessous de 200 mg/L étaient arrêtés.

La comparaison des simulations de ces deux scénarios aux échéances 2014 et 2027 montre que les prévisions des MDPA sont optimales sauf en ce qui concerne les barrières hydrauliques au Sud d'Ensisheim, qui devront probablement être maintenues en service plus longtemps que prévu, voire éventuellement au-delà de 2014.

Dans les deux cas les simulations indiquent que les langues salées aval seront largement nettoyées en surface en 2014 et en profondeur en 2027 ; dans le Bassin potassique il faudra attendre 2027 pour un nettoyage de la partie superficielle de la nappe, tandis que des concentrations jusqu'à 2 g/L pourront subsister en profondeur. »

Synthèse 45 : pièce [B18] bibliographie DDA

Les effondrements dus à l'exploitation du sel

BRGM, 2009

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B18] :

Auteurs : BRGM – B. FEUGA

Origine du document :

Ce document est un article issu du numéro 9 de la revue Géosciences du BRGM traitant des effondrements dus à l'exploitation du sel.

Synthèse (pages 2 et 11 du document (encart en anglais)) :

« Le sel gemme et les roches apparentées, comme les minerais de potasse, possèdent des propriétés remarquables : une densité en général très inférieure à celle des autres roches et une capacité à fluer hors du commun. »

« Du fait de sa capacité de fluage, le sel se déforme de manière souple sous des efforts variant lentement, sans qu'apparaissent de fractures et s'il peut se briser d'une manière soudaine sous l'effet d'une sollicitation rapide, il va le plus souvent jusqu'à « cicatriser » spontanément les fractures qui y apparaissent. C'est pourquoi les fractures ouvertes sont très rares dans les masses de sel tant qu'elles ne sont pas perturbées par l'homme.

Sans discontinuités permettant les circulations d'eau, les formations salines sont très imperméables, d'où la possibilité d'y stocker des déchets. »

Ces formations géologiques « peuvent subir une dissolution naturelle dans le sous-sol qui induit souvent un affaissement progressif mais rarement un effondrement soudain.

Il n'en va pas de même lorsque l'exploitation des gisements de sel ou de potasse a perturbé le sous-sol, produisant ou favorisant la formation de cavités susceptibles d'effondrement.

Les deux techniques auxquelles sont fait appel dans l'exploitation du sel (mines traditionnelles ou dissolution) peuvent provoquer des événements d'effondrement qui impliquent une grande variété de mécanismes. Bien que les mines de sel ou de potasse puissent s'effondrer en raison de piliers sous-dimensionnés piliers sous-dimensionnés sans influence significative de l'eau, le plus souvent cet élément joue un rôle déterminant dans l'effondrement. Parmi plusieurs types de scénario d'accident, l'inondation d'une mine par de l'eau non saturée produit des perturbations géotechniques via la dissolution, qui provoquent finalement l'effondrement. Inversement, les perturbations géotechniques peuvent se produire avant l'inondation et la provoquer. Le processus déclenché par l'inondation progresse de manière exponentielle, pour finalement pour finalement devenir incontrôlable. Il peut entraîner la formation de cavités très

hautes qui produisent des cratères profonds lorsqu'ils atteignent la surface du sol. Les méthodes d'exploitation minière qui impliquent la dissolution et qui créent également de vastes cavités souterraines donnent parfois des résultats comparables. »

Synthèse 46 : pièce [B19] bibliographie DDA

Travaux de remblayage du sondage W3

MDPA, janvier 2016

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B19] :

Auteurs : MDPA – R. CHALLAMEL

Synthèse :

Le forage d'exploration W3 réalisé en 1905, de 554 m de profondeur a été recoupé par l'exploitation des couches supérieure et inférieure de potasse.

Afin d'accéder au débouché du forage dans le stockage, des travaux de havage du toit au niveau -25 vers le niveau -23 ont été réalisés depuis la voie RAS2 dans l'allée 2 et la recoupe 3 du bloc 25 courant 2012 jusqu'au 15 avril 2013, date de découvert du forage au toit de la galerie.

Le forage a alors été rebouché par la société THYSSEN SCHACHTBAU le 11 décembre 2013 avec un ciment magnésien sur 15 m de hauteur et permet de garantir une étanchéité entre le stockage et l'exploitation.

Synthèse 47 : pièce [B20] bibliographie DDA

Rapport de fin de chantier « Déstockage de déchets mercuriels du site StocaMine »

CURIUM, juin 2018

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B20]

Auteurs : CURIUM / BG Ingénieurs Conseils – Benjamin BAUER / Benoit THEPAUT

Extraits du chapitre Contexte/Introduction du rapport :

Extraits page 6

« Le ministre de l'environnement en place fin 2012 demande aux MDPA de mettre en œuvre le scénario de déstockage partiel de 56% du mercure et de déposer un dossier de confinement illimité portant sur le reste.

Soumis à la réglementation des marchés publics, les MDPA, maître d'ouvrage MOA, ont alors passé un appel d'offre européen pour les différents marchés identifiés :

- *Marché déstockage : confié à l'entreprise minière allemande SAARMontan*
- *Marché restockage (expédition des déchets déstockés vers des centres agréés) : confié à Lingenheld Environnement*
- *Marché prévention des risques liés à la coactivité (Assistance à maîtrise d'ouvrage AMO) : confié à l'APAVE*
- *Marché maîtrise d'œuvre réalisation (MOER) : confié au groupement d'entreprises BG/CURIUM*

Quant à l'entretien de la mine et la maintenance de ses installations, ils sont confiés par les MDPA à l'entreprise polonaise KOPEX depuis 2007. »

« Les scénarii de déstockage de 56% et 93% du mercure ont été alors établis à l'aide de ces données [suivant analyses Stocamine à la réception des déchets] et en fonction de la répartition des déchets concernés dans les blocs de stockage. Des cheminements cohérents ont été définis pour extraire un maximum de ces déchets avec un trajet minimum et en évitant le plus possible de manipuler des déchets amiantés (législation complexe). »

Extraits pages 14 à 16

« Le cheminement présenté au chapitre précédent était un cheminement théorique. Dans la pratique, il a été amené à évoluer pour plusieurs raisons.

Premièrement, les conditions minières ont perturbé l'avancement. [...]

Deuxièmement, le cheminement a été fortement modifié suite aux constats de l'entreprise de traitement des déchets retenue pour le restockage des déchets. [...] Il est alors apparu que les déchets arséniés contenaient très peu de mercure voire pas de mercure détectable conformément à ce qu'indiquait le centre de traitement de déchets allemand.

[...]

L'objectif du déstockage étant d'extraire le mercure à hauteur de 93%, le cheminement a donc été revu intégralement en décembre 2015 pour atteindre cet objectif.

[...]

Troisièmement, l'étude par le tiers expert des déchets présents au fond a amené la DREAL à demander le déstockage d'une catégorie de déchets supplémentaire non mercurielle : des produits phytosanitaires contenant du zirame. [...]»

Conclusion intégrale du rapport pages 82 à 84

« Au final, cette opération complexe avait été largement sous-estimée au départ. Comme les conditions de travail ne pouvaient être connues, des essais à blanc en surface avaient été conduits. Grâce à ces essais, une productivité escomptée a été établie et compte tenu du cheminement initial envisagé, cette productivité amenait à une durée du déstockage de 12,38 mois. Mais avec les conditions minières qui ont souvent ralenti le chantier, les différentes problématiques chimiques qui ont été rencontrées, l'ajout de nouvelles tâches pour sécuriser les opérations, la modification du cheminement de déstockage à réception des nouvelles analyses, le chantier aura finalement duré trois ans et 7 mois, de l'installation du chantier jusqu'à sa démobilisation (cf. 2.1).

On notera qu'au fil des problématiques rencontrées, les équipes mises en place pour réaliser cette opération ont fait preuve d'une grande adaptabilité, et d'une bonne créativité. En face de chaque difficulté, des solutions ont pu être conçues et mises en place, parfois plusieurs fois jusqu'à remplir l'objectif visé.

Pour chacun des intervenants du déstockage, cette opération complexe pour le moment à priori unique au monde aura été très instructive et aura apporté de nombreuses compétences et connaissances.

Le suivi des stocks aurait pu être optimisé. En effet, sur ce chantier de déstockage, les stocks étaient initialement très peu suivis et ont engendré des arrêts de chantier pour rupture des consommables nécessaires à l'avancement. Un suivi a alors été lentement mis en place pour gérer les approvisionnements mais le suivi des stocks en général aurait pu encore être largement amélioré s'il avait été conçu dès le démarrage notamment pour rendre les discussions d'ordre financier beaucoup plus simples à gérer.

Initialement chiffré à 4 M€ sur 12,38 mois, l'opération de déstockage aura coûté 15,6 M€ et 3 ans et 7 mois de chantier. Le stockage agréé aura coûté plus de 2 M€ pour un bilan de l'opération de déstockage/restockage de 17,6M€ pour un volume de 1825 colis/2381 tonnes

de déchets stockées en filière agréée en Allemagne. En sus, on notera ici que les coûts de Maîtrise d'oeuvre s'élèvent à environ 1,43 M€, soit un taux de 8% du montant global des travaux.

Dans un contexte si peu prévisible, une marge de sécurité importante aurait pu être anticipée autant sur les délais que sur les moyens financiers qui ont été employés pour mener l'opération à terme. L'opération était ici en régie sur le personnel et dépenses contrôlées sur le matériel ce qui a permis un financement jusqu'à terme, mais si un forfait avait été convenu au démarrage sur la base d'un budget prévisionnel, il n'aurait largement pas suffi. Un mode de facturation au forfait ou en fonction d'un pendulage aurait pu être envisagé, mais pas dès le démarrage. Une première phase du chantier devait obligatoirement se dérouler en dépenses contrôlées, le temps de saisir les différentes problématiques principales et de mettre en place les méthodes adaptées. Une fois cette première phase passée, les opérations auraient pu être réalisées au colis traité, avec un tarif dépendant des conditions minières rencontrées

L'aspect maintenance a apporté son lot de difficultés également. Une grande partie des engins étaient adaptés aux travaux à effectuer mais pas à l'ambiance saline (principalement la rabasseneuse Volvo et les chariots télescopiques AUSA). L'ambiance saline de cette mine a causé de nombreux dégâts sur les différentes machines employées et une maintenance lourde a dû être mise en place.

On retiendra de ce chantier son achèvement complet malgré des situations à très fort risque. Ces risques ont pu heureusement être réduits par la mise en place permanente de nouvelles méthodes et de nouveaux moyens, conduisant cependant à une très forte réduction du rythme d'avancement. Le turn-over important des équipes de SAARMontan s'explique d'ailleurs grandement par ce chantier à forts risques, les mesures contraignantes associées et le contrôle poussé mis en place. Comme l'objectif du déstockage portait sur une fraction très limitée des déchets présents dans les blocs de stockage, cela a permis également de limiter les risques de l'opération. Malgré ces risques, aucun accident grave nuisant irrémédiablement à la santé d'un intervenant n'a eu lieu. »

Synthèse 48 : pièce [B27] bibliographie DDA

Concept technique confinement

ERCOSPLAN, 2019

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B27]

Auteurs : ERCOSPLAN

Origine et objectif du rapport

Extrait du chapitre « Origine de la mission » en page 5 du rapport :

« À l'initiative de MDPA, un certain nombre d'études ont été réalisées, concernant le comportement géomécanique et hydrogéologique du site, concernant les aspects chimiques du stockage souterrain de déchets, mais également concernant la problématique du déstockage de déchets, les mesures de scellement d'ordre général, et le scellement de galeries d'accès. Les résultats de ces études ont permis de définir les conditions de base du scellement du site de stockage souterrain de déchets.

En 2011, MDPA a chargé ERCOSPLAN d'exploiter les études, et en priorité l'étude de l'INERIS, pour actualiser la base de données en vue de l'évaluation de la mesure de scellement du site souterrain, et du développement d'un concept technique de confinement du site de stockage souterrain de déchets, grâce à un remblayage partiel des vides miniers et grâce au scellement des galeries d'accès à la zone de stockage au moyen de barrages. À cette occasion, un Avant-Projet de conception pour l'essai d'éléments d'étanchéité et pour le futur confinement du site de stockage a été établi en 2013 (ERCOSPLAN, 2013, /9/). Ce rapport a été versé au dossier de demande de stockage illimité de déchets, déposé par MDPA, désigné "LA DEMANDE" (MDPA, 2015,/28/).

Entre-temps, les conditions de base définies à l'époque ont fait l'objet d'actualisations au vu d'autres investigations et d'études supplémentaires. Sur cette base, le concept de confinement a été révisé. À la place du scellement des galeries d'accès au moyen de barrages comportant un élément d'étanchéité en bentonite, il est désormais prévu de procéder à un déstockage partiel des déchets, et au scellement des galeries d'accès à la zone de stockage au moyen de barrages avec un élément d'étanchéité confectionné en béton de saumure.

En juin 2017, ERCOSPLAN a été mandatée pour établir une version actualisée de "Concept technique de scellement des galeries d'accès du site de stockage souterrain de déchets StocaMine et de mise en place de matériau de remblayage dans des parties du site de stockage". Cette actualisation a été effectuée en premier lieu sur la base du MÉMOIRE COMPLÉMENTAIRE (MDPA, 2016c, /31/) de juin 2016, y compris les rapports Tierce expertise:

Rapport Geomecanique - (ARTELIA et al., 2016b, /4/) et A8 - Evaluation des flux potentiels de saumure contaminée - (ITASCA, 2016, /24/) des références y afférentes.

Dans le cadre d'une discussion de l'avant-projet présenté le 28/02/2019 à Wittelsheim (ERCOSPLAN, 2019, /12/), divers aspects de l'exécution des travaux de construction ont été étudiés, sur la base de l'avancement de l'état de la technique et des planifications. Il a été décidé de formuler les précisions mises au point et les compléments d'explication convenus au cours de la réunion sous forme d'ajout au document d'étude présenté. L'insertion des ajouts devant ici cadrer avec le concept présenté, les chapitres pertinents reprennent la structure in et la numérotation initiales du rapport. »

Synthèse du document

Ce rapport présente dans un premier temps le concept technique de réalisation des barrières géotechniques dans les galeries d'accès à la zone du site de stockage puis dans un second temps le concept technique de mise en œuvre de remblai dans certaines zones du site de stockage.

Extrait des pages 6 à 12

« Le concept technique des barrières géotechniques de type "ouvrage de scellement de galerie" est mis au point sur la base des étapes de traitement ci-après :

- description de l'état de la science et de la technique en matière de construction d'ouvrages de scellement de galerie dans des sites de stockage souterrain de déchets ;*
- récapitulation des bases de conception (avant-projet), y compris la description du plan d'utilisation des ouvrages de scellement de galerie ;*
- avant-projet des ouvrages de scellement de galerie ;*
- pré-dimensionnement des différents éléments ; description de la méthode et de la technologie de construction. »*

« L'avant-projet des ouvrages de scellement de galerie doit tenir compte des conditions environnementales visées aux chap. 3 et 4, mais avant tout, il devra satisfaire aux contraintes imposées par le dossier déposé tenant en particulier compte des études de l'INERIS (2010, /19/; 2011a, /20/) et aux actualisations apportées à ces contraintes par l'ITASCA (2016, /24/), par ARTELIA et al. (2016b, /4/) [...] »

« Pour la mise en pression des ouvrages de scellement de galerie, l'hypothèse retenue pour le déroulement chronologique du processus est représentée au Tableau 4 »

Tableau 4 Evolution dans le temps du site de stockage souterrain de déchets StocaMine (INERIS, 2011a, /20/, 2011b, /21/; ITASCA, 2016, /24/; (date de début actualisée)

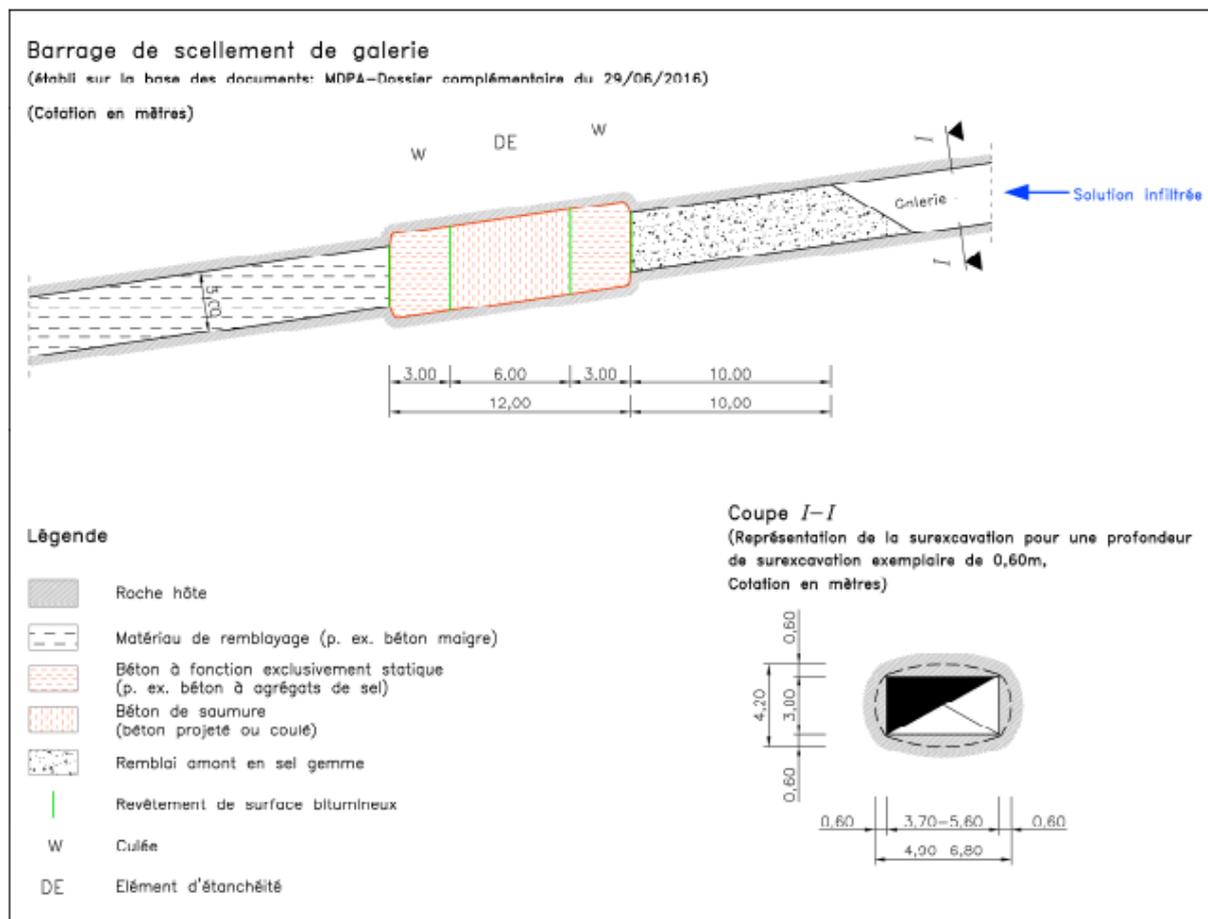
Repères chronologiques		Evénements pronostiqués dans le site de stockage souterrain de déchets StocaMine de MDPA
Derzeit	2018	Conditions ambiantes sèches, 21 ans après le creusement du site de stockage souterrain
1 ^{ème} étape	dans env. 1 à 5 ans	Construction des barrières géotechniques
2 ^{ème} étape	dans env. 100 ans	Réduction des vides miniers à 20 % de leur volume initial dans le site de stockage de déchets et dans les galeries adjacentes par l'action de la convergence
3 ^{ème} étape	dans env. 240 ans	Premier contact des barrières géotechniques avec la saumure. La durée estimée jusqu'à la remontée de la saumure au niveau de la couche inférieure de la nappe phréatique est d'env. 300 ans.
4 ^{ème} étape	dans env. 1 700 ans	Ennoyage du site de stockage probablement achevé
5 ^{ème} étape	dans env. 2 000 ans	Possibilité d'infiltration de saumures éventuellement polluées dans l'aquifère
6 ^{ème} étape	après 10 000 ans	Processus de transport dus à la diffusion et à la convection

»

« Les futurs ouvrages de scellement de galerie devront comporter les éléments fonctionnels ci-après :

- un élément d'étanchéité en béton spécial, d'une très faible perméabilité intégrale de $K \leq 10^{-18} m^2$, susceptible de créer un scellement étanche de la section de galerie sur une longueur de 6 m ;
- de chaque côté de l'élément d'étanchéité, un élément de culée d'une longueur respective de 3 m, réalisé dans un matériau de construction cohésif, garantissant une reprise homogène des charges[...].

Aussi longtemps que les fonctions de l'élément d'étanchéité et des culées sont garanties, il n'est pas indispensable de procéder à la réalisation séparée des différents éléments fonctionnels.



Côté solution d'infiltration, un serrement en sel gemme d'une longueur respective de 10 m/20 m (cf. Tableau 5), avec mise en place resserrée jusqu'au toit, vient se juxtaposer immédiatement à l'ouvrage de scellement de galerie, à titre d'élément fonctionnel supplémentaire, permettant de réduire la convergence totale dans les galeries d'accès, et de diminuer en outre le pouvoir de dissolution de solutions non complètement saturées en NaCl qui se présenteraient devant l'ouvrage, Considéré à long terme, ce serrement en sel gemme retrouvera des caractéristiques similaires à celui du sel gemme du terrain environnant, par suite de la compaction sous l'action de la convergence et de processus de cristallisation. [...]

Le matériau de remblayage jouxtant l'ouvrage côté site de stockage quant à lui sera lui stabilisé à l'aide d'un liant, permettant de réduire la convergence totale dans les galeries d'accès. Ce matériau de remblayage ne fait pas partie des éléments fonctionnels l'ouvrage de scellement de galerie, mais il contribuera, avec ces ouvrages de scellement, à homogénéiser l'évolution de la convergence [...]. »

« Les ouvrages de scellement dans les galeries d'accès au site de stockage souterrain de déchets sont à concevoir pour une durée de vie opérationnelle de >1 000 ans. »

« [Les] matériaux [...] ne développeront leur effet d'étanchéité complet qu'après un laps de temps, quand la pression excédentaire aura renforcé le contact entre l'ouvrage et le terrain par suite d'une convergence accrue [...].

Au vu des conditions de base du site de StocaMine, nous avons retenu la famille de matériaux de construction "bétons de saumure". Cela veut dire qu'un béton sera gâché avec de la saumure saturée en NaCl, afin d'éviter tout potentiel de dissolution du terrain adjacent dans l'horizon d'implantation, et pour assurer une bonne cohésion du matériau de construction avec ce dernier. »

Schéma page 23

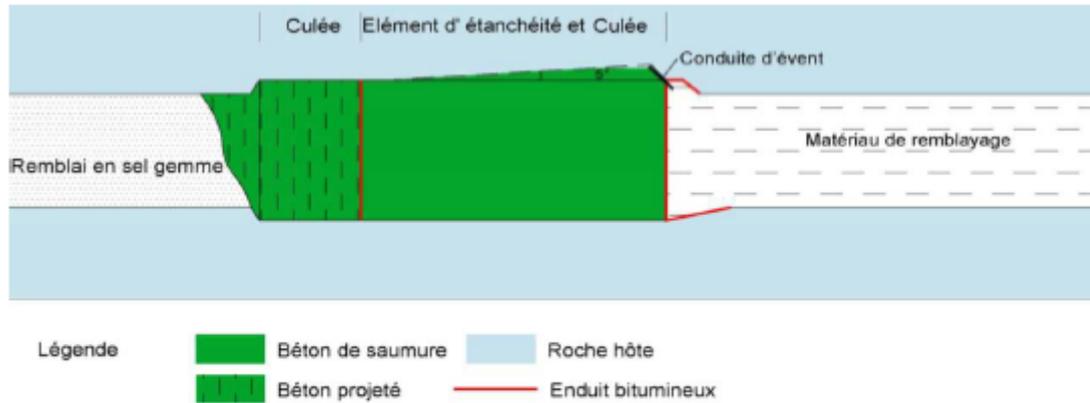


Figure 11 Représentation schématique, en coupe longitudinale, d'un ouvrage de scellement de galerie implanté dans une galerie simple (cf. MDPa, 2019a, /35/)

Schéma page 26

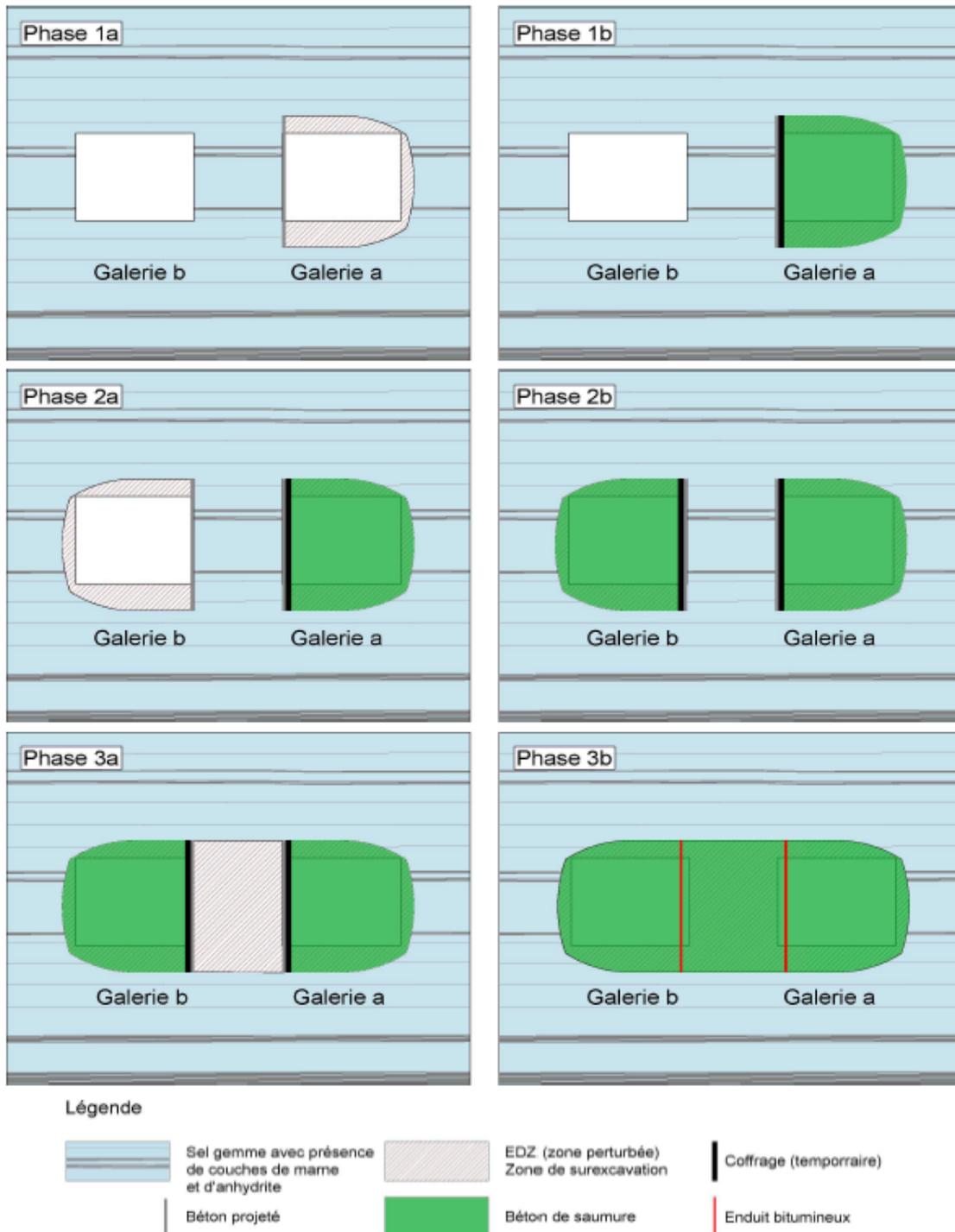


Figure 12 Vue en coupe schématique de la construction en plusieurs phases d'ouvrages de scellement de galerie dans les galeries doubles

Extraits page 27 à 31

« Outre le scellement à long terme de la galerie d'accès vers la zone de stockage de déchets par l'implantation d'ouvrages de scellement de galerie, il est également prévu de remblayer une grande partie des vides miniers encore présents au sein de la zone de stockage. Cette

mesure devra permettre de stabiliser les éléments portants de la zone de stockage de déchets, afin de prévenir les processus de déformation à long terme susceptibles de dégrader l'intégrité des barrières géologiques du complexe de barrières intérieur. »

« Le volume de vides miniers à combler dans les galeries principales et les blocs de stockage s'élève ainsi à une fourchette comprise entre env. 87 000 m³ et 123 000 m³. »

« le coulis de ciment est le plus apte, du fait de ses propriétés spécifiques (aptitude au pompage, liaison complète de l'eau, sans ressuage) à obtenir un remplissage de vides résiduels et zones difficilement ou non accessibles (blocs 16 et 26). [...] Le volume de remblais devra combler au minimum 80 % des vides miniers existants. [...] En utilisant une solution saturée en NaCl pour gâcher le coulis de ciment, aucun phénomène de dissolution n'est à craindre au contact de la roche hôte ; dans le cas contraire, le coulis doit présenter un ressuage nul ou très faible. »

Synthèse 49 : pièce [B28] bibliographie DDA

Etude préliminaire forage de décompression VJPB1

EG DRILL CONSEIL, 7 février 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B28] :

Auteurs : EG DRILL

Objectif de l'ouvrage, page 3 :

« Dans le cadre de la fermeture du site Stocamine, les MDPA (Mines de Potasse d'Alsace) se sont vues prescrire dans l'arrêté préfectoral du 23 mars 2017 : un sondage de décompression partant de la surface et aboutissant dans une zone drainante située à l'intérieur du stockage confiné. Ce sondage sera réalisé en cas de constat d'une augmentation des teneurs en polluants venant du stockage au niveau des piézomètres de surveillance. Ce sondage permet de délester la pression au sein du stockage et annuler cette augmentation.

Cet ouvrage devra permettre à minima :

- délestage du stockage
- mesure du niveau statique
- prélèvement d'échantillons d'eau pour analyses
- pompage du fluide pour traitement en surface

*Pour réaliser ce forage et afin d'éviter le maximum de courbure dans le profil du forage, MDPA acquière un terrain de 50m*50m à l'aplomb de la galerie à atteindre. »*

Conclusion, page 36 :

« Le géo-référencement des galeries du fond dans le système Lambert 93 CC48 a permis d'implanter le secteur cible du forage avec une précision de l'ordre de 20cm. Un levé définitif de la cible est à prévoir juste après son creusement en 2021. L'acquisition, par les MDPA, de la parcelle communale située à l'aplomb de la cible facilite considérablement l'opération de forage.

Les opérations de forage ne comportent pas de difficultés majeures, elles sont fortement comparables à celles des ouvrages de surveillance profonds VA et VLPB2, à la différence qu'il n'y a pas de vieux travaux à traverser, la cible se trouvant en un secteur où les couches sont vierges. »

Le rapport décrit la mise en place d'une plateforme temporaire, les opérations de forage proprement dites, la méthode, le système de pompage, et l'élimination des fluides.

Synthèse 50 : pièce [B29] bibliographie DDA

Suivi des niveaux de surface et des niveaux d'ennoyage

CESAME, 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B29]

Auteurs : CESAME – A. Blachère et D. Lefort

Origine et objectif du rapport

Extrait du chapitre « Contexte » en page 4 du rapport :

« Le 23 mars 2017, par arrêté, le préfet du Haut Rhin a autorisé la prolongation pour une durée illimitée du stockage souterrain de déchets non dangereux, situé sous le territoire de la commune de Wittelsheim (Haut Rhin - 68). Il a assorti cette autorisation de plusieurs obligations faites aux Mines de Potasse d'Alsace (MDPA), dont :

- la prolongation de la surveillance du forage profond VAPB2 (article 10.2.1) ;*
- une étude pour la réalisation d'un second forage profond (article 10.2.1) ; le forage VLPB2 a ensuite été réalisé fin 2018 et fait depuis, l'objet d'une surveillance par les MDPA ;*
- la réalisation d'un suivi régulier du niveau du sol en surface (article 10.2.2).*

Les MDPA ont de plus financé une thèse de l'EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre de l'Université de Strasbourg et du CNRS) traitant du suivi des niveaux de surface, à partir de données satellitaires.

L'acquisition de ces différentes données a pour objectif de répondre à la prescription fixée dans l'article 10.2.2 de l'arrêté préfectoral de 2017, à savoir la rédaction d'un « rapport d'analyse des données de suivi des niveaux en surface en les corrélant avec les volumes de vides miniers résiduels et les niveaux d'ennoyage ».

Le présent document constitue le rapport de synthèse, croisant les informations apportées par les nouveaux documents disponibles et les hypothèses présentées dans le dossier de demande d'autorisation de 2015 traitant de l'ennoyage et de l'évolution des vides miniers résiduels. »

Synthèse du document

Le document, dans un premier temps, analyse les données des forages et du suivi des niveaux des sols puis, dans un deuxième temps, croise ces analyses avec les hypothèses présentées dans le dossier de demande d'autorisation de 2015.

La conclusion sur les analyses des données issues des forages, page 23 du document, est la suivante :

« Les forages VAPB2 et VLPB2 ont atteint les travaux miniers souterrains dans les points bas des mines « Amélie » au Sud (secteur Wittelsheim) et « Marie-Louise » au Nord (secteur Pulversheim).

Depuis leur foration, ces ouvrages sont surveillés par MDPA car leur vocation est de suivre l'évolution du remplissage de la mine de potasse au fil du temps. Les éléments recueillis nous ont permis de :

- *décrire les deux forages ;*
- *vérifier leur représentativité du fait de leur implantation, de leur profondeur, des vides effectivement recoupés ;*
- *présenter l'évolution constatée au niveau du remplissage depuis la création des ouvrages et constater l'absence de montée du niveau d'eau (de saumure) depuis septembre 2015 pour VAPB2 et décembre 2018 pour VLPB2.*

Les vides recoupés dans le fond des deux forages sont de l'ordre de 10 % des vides créés par l'exploitation minière et ceci malgré des profondeurs importantes (≥ 900 m par rapport à la surface) et des âges d'exploitation assez importants (30 à 40 ans). Les terrains déstructurés par l'exploitation minière peuvent représenter une épaisseur 2 à 4 fois supérieure à celle des couches exploitées.

Dans les deux forages, un liquide est présent au niveau de la couche inférieure de potasse exploitée. Ce liquide imprègne les terrains déstructurés par l'exploitation minière qui présentent une perméabilité faible mais non nulle.

La différence de niveau de liquide entre VAPB2 (- 655 NGF) et VLPB2 (- 754 NGF) signifie que, pour l'instant les réservoirs recoupés par les deux forages sont indépendants hydrauliquement l'un de l'autre (il pourrait existe un seuil entre les deux réservoirs et tant que les niveaux d'ennoyage n'auront pas atteint ce seuil, l'évolution dans les deux réservoirs sera indépendante).

La différence de pression de gaz pourrait cependant indiquer qu'ils sont totalement séparés l'un de l'autre, ce qui pourrait signifier que le stot séparant les mines Marie-Louise (au nord) et Amélie (au sud) serait étanche car il empêcherait les deux pressions atmosphériques de se mettre en équilibre (Il est peu probable qu'une zone totalement étanche puisse exister ailleurs qu'au niveau du stot).

MDPA pourrait mener des investigations complémentaires pour tenter de valider cette hypothèse. L'idée serait d'enregistrer simultanément sur les deux forage des variations de pression, afin de mesurer sur VAPB2 l'effet d'une mise en pression longue durée (1 à plusieurs mois) sur VLPB2 par exemple ; et inversement. Si une variation de pression importante sur un réservoir se traduit sur l'autre alors la relation entre les deux sera établie. »

La conclusion concernant les mouvements de surface et les mouvements résiduels au fond, pages 45 et 46 du document, est la suivante :

« Les éléments concernant l'évolution de la topographie à l'aplomb des travaux miniers visaient à :

- comparer qualitativement les résultats des mesures réalisées par rapport aux hypothèses d'évolution des vides miniers retenues dans le dossier initial de demande de stockage illimité produit par StocaMine en 2015 ;
- traduire les affaissements mesurés en volumes perdus par rapport au volume initial de vide (approche quantitative).

Les données disponibles mettent en évidence un affaissement à l'aplomb des travaux miniers souterrains pouvant se décomposer en 2 phases successives d'ampleur différente répondant au total à une somme de deux fonctions exponentielles de temporalités différentes :

- un affaissement initial dynamique important se produisant dès la période d'exploitation souterraine et durant quelques années (3 à 5 au maximum) ;
- un affaissement résiduel se poursuivant pendant plusieurs dizaines d'années après la fin de l'exploitation (mouvement très faible mais encore actif en 2020 à l'aplomb de travaux plus que cinquantenaires).

Les mesures entreprises semblent indiquer que l'affaissement dynamique initial est plus faible que celui historiquement retenu ($\approx 85\%$ de la hauteur exploitée) par les MDPA (affaissement dynamique initial correspondant à 95% de l'affaissement total qui représente 90% de la hauteur exploitée).

En effet, les mesures réalisées sur les derniers panneaux exploités (à Raedersheim, Bollwiller, Staffelfelden et Reiningue) ont plutôt mis en évidence des hauteurs d'affaissement dynamique de l'ordre de 75% de la hauteur exploitée).

Actuellement, des mouvements résiduels persistent à l'aplomb des travaux miniers souterrains. Les vitesses de déplacement mesurables représentent $0,1\text{ cm/an}$ à $1,5\text{ cm/an}$.

Les mouvements mesurés en surface sont clairement reliés à l'ancienne exploitation minière et à la création de vides souterrains dans l'exploitation minière et à la fermeture progressive de ces vides. Les mouvements résiduels les plus marqués mesurés par satellite sont d'ailleurs clairement concentrés sur les zones d'exploitation les plus récentes (qui sont également souvent en position profonde et à proximité des anciens puits de mine).

La modélisation mécanique du milieu a permis de simuler la fermeture de vides miniers situés à 900 m de profondeur dans les secteurs de Bollwiller ou Pulversheim. Elle conforte les mesures réalisées au jour en montrant une convergence cumulée correspondant en 2020 à moins de 80% de la hauteur exploitée, pour des panneaux exploités entre 1993 et 1994. »

La conclusion concernant par rapport au temps de remplissage retenu dans l'étude INERIS de 2011 et repris dans le dossier de demande d'autorisation de 2015, pages 64 et 68 du document, est la suivante :

« Le paragraphe suivant reprend et commente les éléments du paragraphe 3.1.

- « **En 2010**, il avait été considéré que (compte tenu des dates de remblayage des puits de mine – donc d'arrêt de l'exhaure dans les différents quartiers) l'ennoyage avait commencé en moyenne depuis 19 ans et que en conséquence, le **volume de liquide dans les travaux miniers** souterrains était de **2,06 Mm³**. ».

En tenant compte de porosités comprises entre 10 et 20 %, la somme des volumes occupant les zones ennoyées en 2020 au niveau de VAPB2 et VLPB2 (points les plus bas des mines Amélie et Marie-Louise) ne s'élèverait actuellement qu'entre 55 200 et 110 400 m³. Soit 2,5 à 5 % du volume envisagé par INERIS en 2010.

Cette valeur est très faible, il est toutefois possible qu'elle ne reflète pas la totalité de l'ennoyage de la mine. On peut en effet envisager que chacun des points bas de la mine soit en train de se remplir indépendamment des autres en recevant les eaux s'infiltrant au niveau des puits de mine.

Au regard de la morphologie de l'exploitation minière, on pourrait individualiser 8 points bas et leur attribuer un (ou plusieurs) puits source d'alimentation [...].

À chaque zone basse on peut attribuer pour chaque puits susceptible de l'alimenter, un débit d'alimentation correspondant soit à l'hypothèse moyenne soit à l'hypothèse mini de l'INERIS. En connaissant la date de remblayage des puits, donc d'arrêt de l'exhaure, on peut calculer le volume qui a pénétré dans la mine jusqu'en 2020, puis le traduire en surface en posant comme hypothèse que l'épaisseur cumulée d'exploitation est de 5,5 m au cœur du bassin minier et que la porosité résiduelle est de 10%.

[...] le tableau 10 présentent ces éléments avec une couleur pour chaque zone basse et chaque puits qui l'alimente.

Au total en 2020 l'hypothèse la plus probable est que le volume total d'ennoyage de l'exploitation ouest de la mine de potasse d'Alsace soit <500 000 m³.

L'emprise des zones ennoyées serait <100 ha et représenterait environ 2% de la surface de la zone exploitée.

Situation 2020	Nb d'années depuis remblayage	Débit mini retenu INERIS	Débit moyen retenu INERIS	Volume introduit dans la mine en 2020		Surface noyée équivalente pour une épaisseur cumulée des couches de 5,5 m et une porosité de 10%		En % de la surface totale de la mine (≈4000 ha)
				Volume mini selon INERIS	Volume moyen selon INERIS	Si Volume mini selon INERIS	Si Volume moyen selon INERIS	
		m ³ /an	m ³	m ³		ha	ha	%
Ungersheim1	22	2 383	6 411	52 426	141 042	9,5	25,6	0,54
Ungersheim2	22	3 038	8 173	66 836	179 806	12,2	32,7	
Alex	26	420	1 142	10 920	29 692	2,0	5,4	0,58
Rodolphe2	25	2 873	7 727	71 825	193 175	13,1	35,1	
Rodolphe1	25	1 799	4 827	44 975	120 675	8,2	21,9	0,26
Marie-Louise	21	1 395	3 746	29 295	78 666	5,3	14,3	
Marie	21	1 306	3 508	27 426	73 668	5,0	13,4	
Shoenensteinbach	22	2 663	6 261	58 586	137 742	10,7	25,0	0,27
Staffelfelden	18	1 418	3 810	25 524	68 580	4,6	12,5	0,12
Berwiller	18	2 677	7 298	48 186	131 364	8,8	23,9	0,22
Max	16	330	894	5 280	14 304	1,0	2,6	0,02
Amélie1	13	547	1 466	7 111	19 058	1,3	3,5	0,05
Amélie2	9	366	989	3 294	8 901	0,6	1,6	
Totaux		21 215	56 252	451 684	1 196 673	82,1	217,6	2,05

En caractères rouges : hypothèse la plus probable au regard des données actuellement disponibles

Tableau 10 : Points bas de la mine, puits susceptibles de les alimenter et surfaces potentiellement concernées par le remplissage (les couleurs se rapportent à celle de l'illustration 34)

- « **En 2010**, il avait été considéré que l'introduction d'eau douce dans la mine entraîne des **phénomènes de dissolution** qui vont augmenter le volume des vides.

En se basant sur l'hypothèse d'une création de vides correspondant à **24% du volume d'eau introduit**. »

Cette hypothèse reste évidemment valable. Elle ne concerne pas les zones basses observées par VAPB2 et VLPB2 au niveau desquelles les fluides arrivent sous forme de saumure saturée, mais les zones proches des puits de mine au niveau desquels l'eau arrive non saturée en sels puis se sature rapidement et se transforme en saumure en circulant dans les premières centaines de mètres autour du puits.

On pourrait d'ailleurs envisager que ce soit ce phénomène qui entretienne une convergence résiduelle un peu plus élevée à proximité de tous les puits de mine et en particulier du puits Staffelfelden et des galeries les plus proches.

L'introduction d'eau douce dans la mine entraîne des phénomènes de dissolution qui vont augmenter le volume des vides de 24% du volume d'eau introduit. Ce phénomène concerne essentiellement les galeries et panneaux exploités proches des puits de mine.

- « **En 2010**, il avait été considéré que « En se basant sur l'ensemble des hypothèses précitées, l'INERIS a calculé une durée d'ennoyage prévisionnelle de **300 ans pour remplir la totalité de l'exploitation minière souterraine dont 240 ans avant d'atteindre le niveau de Stocamine**. » (voir tableaux 4 et 5).

Au regard des éléments développés dans le présent document, il apparaît que :

- Les débits pénétrant dans la mine correspondent très probablement aux hypothèses les plus basses envisagées dans les études antérieures ;
- Les volumes de vides résiduels sont non négligeables dans les zones les plus profondes de la mine alors qu'ils étaient sensés avoir disparu par convergence.
- Les affaissements initiaux sont < 85 % , ils semblent plutôt se situer entre 70 et 80 %.... on serait donc plutôt sur un volume de vides élevé par rapport aux hypothèses INERIS immédiatement après affaissement dynamique. La convergence des vides miniers serait légèrement plus élevée que la valeur de 0,1% par an retenue par INERIS, mais elle mènerait à un vide résiduel s'élevant encore à 5 à 15 % du vide initial 100 ans après l'exploitation.

Au total, si l'on reprend les tableaux 5 et 6 du présent document, les hypothèses à privilégier au regard des éléments actuellement disponibles seraient celles qui sont colorées.

- **L'hypothèse la plus probable est donc celle d'un remplissage complet de l'exploitation en plus de 600 ans dont 550 ans pour arriver au niveau de Stocamine.**

Hypothèse d'affaissement→		Haute	Moyenne	Basse
Hypothèse de débit ↓		20%	10%	5%
Haute	105 000 m³/an	304	195	123
Moyenne	58 000 m ³ /an	425	286	182
Basse	22 000 m ³ /an	644	490	341

Hypothèse d'affaissement→		Haute	Moyenne	Basse
Hypothèse de débit ↓		20%	10%	5%
Haute	105 000 m³/an	240	150	100
Moyenne	58 000 m ³ /an	340	220	140
Basse	22 000 m ³ /an	560	400	270

Tableau 11 : Hypothèse la plus probable en 2020 concernant le remplissage de la mine au regard du dossier de 2015 complété par les nouvelles mesures

NB : dans ces deux tableaux, l'hypothèse d'affaissement est représentée par la valeur du vide résiduel dans la mine après affaissement initial.

N.B. : Dans l'hypothèse où la mine Amélie serait isolée du reste de l'exploitation ouest le temps de remplissage passerait à plus de 3000 ans. »

La conclusion générale de l'étude est la suivante :

« L'ensemble des observations réalisées par MDPA :

- forages de reconnaissance profonds équipés en piézomètres,
- mesures du niveau de saumure, analyses de gaz et mesures de pression en deux points de la mine,
- mesure des vides par imagerie,

- *mesures topographiques in situ et par interprétation de données satellites,*
- *modélisations des affaissements et des vides résiduels.*

Conduisent à retenir un temps de remplissage pour le secteur ouest de la mine de potasse d'Alsace supérieur à 600 ans soit au minimum 2 fois plus long que l'hypothèse privilégiée dans l'étude hydrogéologique réalisée par INERIS en 2011 et reprise dans le dossier de demande de transformation de Stocamine en stockage de durée illimitée en 2015.

Ces éléments sont favorables puisque plus la durée d'ennoyage est longue, plus les phénomènes de cicatrisation du massif autour des bouchons de Stocamine seront aboutis et donneront aux barrages toutes leur efficacité.

Les deux forages vont permettre de poursuivre l'observation du niveau de saumure qui, après la phase de stabilisation, commence à s'élever lentement en VLPB2 (ce qui semble confirmer que des débits arrivent à s'infiltrer dans la mine comme prévu par l'Ineris, mais qui indique de faibles valeurs de débits).

Les mouvements de surface devraient également s'atténuer mais être encore mesurables dans les secteurs récents ou dans les secteurs potentiellement soumis à des circulations d'eau à proximité des points de pénétration de l'eau que sont les puits (phénomènes de dissolution localisés). Les mesures topographiques de terrain pourraient être accentuées dans ces secteurs.

Par ailleurs, les mesures de pression de gaz actuellement disponibles semblent plaider pour une indépendance des réservoirs miniers des mines Amélie au sud et Marie-Louise au nord. De nouvelles mesures pourraient être entreprises pour vérifier cette hypothèse (mise en pression de l'un des réservoirs et suivi de la pression dans l'autre pour voir s'il y a une influence). Si l'hypothèse d'un isolement des deux réservoirs se confirme, alors la durée d'ennoyage de la mine Amélie serait encore plus longue donc encore plus favorable à une cicatrisation des massifs autour des bouchons de StocaMine (et dans l'ensemble du système). »

Synthèse 51 : pièce [B30] bibliographie DDA

Suivi des niveaux de surface et des niveaux d'ennoyage

CESAME, 2021

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B30]

Auteurs : CESAME – A. Blachère et D. Lefort

Origine et objectif du rapport

Extrait du chapitre « Contexte » en page 4 du rapport :

« En 2020, conformément à l'article 10.2.2 de l'arrêté, un rapport détaillé [Pièce [B29] du dossier] a été rédigé, présentant les données acquises par :

- deux forages profonds (ouvrages VAPB2 et VLPB2 : données de foration, manipulations, tests, échantillons, suivis piézométriques),
- des suivis de niveaux de surface : suivis de points par un géomètre,
- une thèse menée par l'EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre de l'Université de Strasbourg et du CNRS) traitant du suivi des niveaux de surface, à partir de données satellitaires.

Ces données ont alors été croisées avec les hypothèses présentées dans le dossier de demande d'autorisation de 2015 traitant de l'ennoyage et de l'évolution des vides miniers résiduels.

[...]

Le présent document constitue la mise à jour commentée du suivi 2021 »

Synthèse du document

Le document analyse d'une part le suivi des niveaux de fluides des deux forages profonds de suivi d'ennoyage et d'autre part le suivi des niveau du sol.

Pour ce qui concerne le suivi piézométrique des forages :

Extrait page 3

« Au niveau de VAPB2 (mine Amélie), les mesures montrent une stabilité du niveau hydrostatique (légère tendance à la hausse du niveau mais seulement de l'ordre de 32 cm/an sur cette période de suivi).

Dans le piézomètre VLPB2 (mine Marie-Louise), le niveau hydrostatique montre, sur ces 16 derniers mois, une tendance à la hausse, de l'ordre de 90 cm/an.

Pour fixer quelques ordres de grandeur, si la montée de niveau se poursuivait sur le rythme constaté actuellement, d'après VAPB2 le niveau hydrostatique monterait de 100 m en 300 ans (profondeur alors atteinte 805 m) et d'après VLPB2 en 110 ans (profondeur 880 m). Bien sûr, il ne s'agit pas du tout d'une prévision mais d'une extrapolation permettant de se rendre compte de la lenteur de la tendance constatée (en réalité la vitesse de remontée va se moduler dans le temps en fonction de la géométrie de la mine). »

Extraits page 7

« Les deux suivis révèlent un niveau très bas de la saumure, ce qui est conforme avec l'hypothèse de débits d'apports très faibles. Les anciennes couches exploitées concernées par l'envoyage ne représenteraient donc actuellement qu'une très faible proportion de la mine. »

« une estimation de débit d'alimentation [...]mène à des ordres de grandeur de quelques centaines de m³/an pour le point bas de la mine suivi par VAPB2 (150 à 1200 m³/an), quelques milliers pour le point bas de la mine suivi par VLPB2 (500 à 6500 m³/an). Ces valeurs sont dans la gamme basse des hypothèses INERIS (et même plutôt encore plus basses). »

Pour ce qui concerne le suivi du niveau des sols :

Extrait page 5

« Les mesures de 2021 montrent un écart de quelques mm à quelques cm par rapport à la mesure 2019, ordre de grandeur de variation qui correspond aux mesures de ces dernières années. »

Extrait page 9

« Les suivis de niveau du sol montrent de faibles mouvements verticaux (globalement descendants) qui sont attribués au phénomène de lente fermeture des vides résiduels souterrains du fait du fluage des terrains. »

Conclusion générale page 10

« Les résultats du suivi récent sont dans la continuité des mesures antérieures, avec des phénomènes lents et de faible ampleur.

Les niveaux de saumure sont à grande profondeur. Une montée progressive du niveau est constatée, avec des valeurs qui tendent à confirmer des apports très faibles (dans la gamme basse des hypothèses INERIS, voire inférieures).

Le suivi récent des niveaux du sol montre une atténuation des affaissements résiduels qui tendent vers un amortissement (hormis secteur suivi de Raedersheim). »

Synthèse 52 : pièce [B32] bibliographie DDA

Etat initial sonore

BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS, Septembre 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B32]

Auteurs : VENATHEC – J. DONIAS

Objectif du rapport

Extrait du chapitre « Objet de l'étude » en page 4 du rapport :

« La société VENATHEC a été mandatée par la société BOUYGUES, pour la réalisation d'une campagne de mesure des niveaux sonores actuels sur le site de MDPA STOCAMINE à WITTELSHEIM et ce dans le cadre des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE).

Les mesures ont été réalisées du 04 au 08 septembre 2020 avant l'installation des nouvelles centrales à béton.

La prestation s'est déroulée comme suit :

- *Etape 1 : Réunion de démarrage et définition des zones d'étude ;*
- *Etape 2 : Mesure des niveaux sonores en 4 points de mesure sur le site et dans le voisinage ;*
- *Etape 3 : Analyse des résultats ;*
- *Etape 4 : Résultats des mesures.*

Ce rapport comporte les éléments suivants :

- *Présentation de la mission et l'identification des zones étudiées ;*
- *Contexte réglementaire ;*
- *Résultats de la campagne de mesure.*

[...]

A noter que le site MDPA est soumis à un arrêté préfectoral du 23/03/2017 limitant les niveaux de bruit. »

Synthèse du document

Extrait page 6

« Cette installation industrielle [site des MDPA] doit satisfaire aux exigences réglementaires spécifiques aux ICPE (Installations Classées pour la Protection de L'Environnement), fixées dans l'arrêté du 23 janvier 1997, en termes :

- De niveaux sonores maximum en limite de propriété ;
- D'émergence en Zones à Emergence réglementée (ZER) ;
- De tonalités marquées en ZER.

Des exigences sont fixées pour chaque période réglementaire diurne [7h-22h] et nocturne [22h-7h]. »

« De manière générale, les valeurs fixées par cet arrêté d'autorisation [AP du 23/03/3017] ne peuvent excéder 70 dBA pour la période de jour et 60 dBA pour la période de nuit, sauf si le bruit résiduel pour la période considérée est supérieur à cette limite. »

En ZER, les valeurs limites d'émergence sont les suivantes :

Niveau de bruit ambiant existant dans les zones à émergence réglementée, incluant le bruit de l'établissement	Emergence admissible pour la période diurne allant de 07h00 à 22h00 (sauf dimanches et jours fériés)	Emergence admissible pour la période nocturne allant de 22h00 à 07h00 ainsi que les dimanches et jours fériés
Supérieur à 35 dBA et inférieur ou égal à 45 dBA	6 dBA	4 dBA
Supérieur à 45 dBA	5 dBA	3 dBA

Extrait page 8

« Le plan ci-dessous indique la localisation des points de mesure dans l'environnement proche du futur projet.



»

Extrait de la conclusion pages 17 et 18

« Les mesures de bruit réalisées sur le site montrent les résultats suivants :

En limite de propriété

Mesure en période diurne :

Emplacement des mesures		Niveau de bruit en dBA sur l'heure la plus calme de la période (21h à 22h)	Niveau de bruit en dBA sur la demi-heure la plus calme de la période (21h30 à 22h00 et de 21h00 à 21h30)	Niveau de bruit en dBA sur la période globale de 24h (du 7 au 8 septembre)	Niveau de bruit maximal autorisé en dBA (LAeq) par l'arrêté du 23/01/1997
PT 2	L _{Aeq}	45,0	43,5	50,0	70
PT 4	L _{Aeq}	40,5	38,0	52,5	70

Mesure en période nocturne :

Emplacement des mesures		Niveau de bruit en dBA sur l'heure la plus calme de la période (1h à 2h)	Niveau de bruit en dBA sur la demi-heure la plus calme de la période (23h30/0h00 et 1h30 à 2h00)	Niveau de bruit en dBA sur la période globale de 24h (du 7 au 8 septembre)	Niveau de bruit maximal autorisé en dBA (LAeq) par l'arrêté du 23/01/1997
PT 2	L _{Aeq}	33,0	32,5	45,5	60
PT 4	L _{Aeq}	33,5	33,0	44,0	60

En zone à émergence réglementée

Mesure en période diurne :

Emplacement des mesures		Niveau de bruit en dBA sur l'heure la plus calme de la période (21h/22h, 19h/20h et 21h/22h)	Niveau de bruit en dBA sur la demi-heure la plus calme de la période (21h30/22h00, 19h30/20h00 et 21h00/21h30)	Niveau de bruit en dBA sur la période globale de 24h (du 7 au 8 septembre)	Critère d'émergence maximale autorisé en dBA par l'arrêté du 23/01/1997
PT 1	L ₅₀	35,5	34,5	42,5	5 dB
PT 2	L ₅₀	36,5	35,0	43,0	(si non dépassement des émergences actuelles)
PT 3	L ₅₀	38,5	38,0	46,0	

Mesure en période nocturne :

Emplacement des mesures		Niveau de bruit en dBA sur l'heure la plus calme de la période (1h à 2h)	Niveau de bruit en dBA sur la demi-heure la plus calme de la période (1h30/2h00)	Niveau de bruit en dBA sur la période globale de 24h (du 7 au 8 septembre)	Critère d'émergence maximale autorisé en dBA (LAeq) par l'arrêté du 23/01/1997
PT 1	L ₉₀	26,0	26,0	28,0	3
PT 2	L ₉₀	27,0	26,5	29,0	(si non dépassement des émergences actuelles)
PT 3	L ₉₀	30,5	30,5	31,0	

Aucune tonalité marquée n'est relevée.

Aucune tonalité marquée n'est recensée.

Après l'installation des nouvelles centrales à béton, les niveaux sonores maximums admissibles en limite de propriété devront être inférieurs à 70 dBA en période diurne et 60 dBA en période nocturne.

Afin de respecter les exigences réglementaires en limite de propriété du site et en zone à émergence réglementée avant l'implantation des nouvelles centrales, il serait judicieux de procéder à l'étude de simulation acoustique permettant de déterminer les conformités et/ou les non-conformités acoustiques en fonction des nouvelles installations et si besoin de prévoir l'insonorisation des éléments portant préjudice au respect de la réglementation. »

Synthèse 53 : pièce [B34] bibliographie DDA

Etude de synthèse du comportement à long terme du stockage avec évaluation des flux potentiels de saumure contaminée et de l'efficacité des barrages de confinement (19R-017B1)

ITASCA 7 septembre 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B34]

Auteurs : CAMUSSO Marco

Vérificateur : BILLAUX Daniel

Approbateur : BILLAUX Daniel

Introduction, page 13 :

« Dans le cadre des études pour la fermeture définitive du stockage de Wittelsheim, la société MDPA a chargé ITASCA Consultants SAS (ITASCA) de la réalisation d'une étude de synthèse visant à vérifier l'absence d'un impact significatif sur la nappe d'Alsace du stockage après son confinement. »

« En s'appuyant sur les études antérieures déjà réalisées par ITASCA pour le stockage de Wittelsheim, de nouveaux calculs de modélisation numérique ont été réalisés en prenant en compte de nouvelles données et hypothèses de confinement, notamment le type et les propriétés mécaniques des matériaux de remblayage ainsi que la géométrie et les propriétés hydrauliques des barrages. »

« Les calculs de la date d'envoyage du stockage ont été réalisés pour deux configurations de barrage, avec un serrement interne en havrits de sel d'une longueur de 20 et 50m respectivement, cette deuxième longueur étant l'une des solutions proposées par MDPA pour retarder la date de sortie des contaminants dans la nappe alsacienne. »

« En parallèle aux calculs d'envoyage, deux autres types d'étude ont été réalisés :

- Evaluation de l'efficacité du rôle de confinement de barrage, en étudiant l'évolution de la perméabilité du massif entourant les bouchons étanches afin de valider l'hypothèse d'un flux de saumure en entrée dans le stockage limité uniquement aux barrages et aux minces couches de marnes

- Vérification de la stabilité des galeries aux emplacements des barrages 3 et 12 lors de la phase de construction des barrages. »

Conclusion, page 148 :

« L'étude de synthèse exposée dans ce document vise à vérifier l'absence d'impact significatif du stockage sur la nappe d'Alsace selon le critère indiqué dans la demande d'autorisation de fermeture. Celui-ci spécifie qu'aucune sortie du fluide ne doit avoir lieu pendant une période de sûreté fixée à 1000 ans.

Le « chargement » qui produit le fluage et donc in fine les flux sortants est la contrainte due au poids des terrains sus-jacents. Cette contrainte est perturbée par l'existence de deux niveaux d'exploitation datant du 20ème siècle dans le toit immédiat du stockage. La modélisation rigoureuse de la compaction des galeries du stockage sous l'effet du fluage nécessite alors non seulement la prise en compte du stockage et son remplissage, mais également de ces travaux miniers. Ceci est réalisé en découpant le travail en deux étapes :

- D'abord, étude d'un modèle global du site comprenant les exploitations minières et les galeries du stockage, visant à obtenir la variation de la contrainte verticale dans le massif au-dessus du stockage ; puis,

- Etude de modèles locaux des galeries ou les excavations sont finement reproduites avec application à la limite supérieure d'une contrainte variant dans le temps tirée des résultats du modèle global.

Le transfert de la saumure au travers des barrages est étudié en considérant l'hypothèse centrale de l'INERIS, en termes de vitesse de remontée de la saumure dans les travaux. Il faut 240 ans pour que la saumure atteigne le niveau du stockage et une soixantaine d'années supplémentaires pour que l'écoulement de la saumure vers le stockage atteigne son débit permanent (et maximum) de l'ordre de **9,5m³/an**.

Une première étape de simulation à l'aide des modèles locaux permet d'obtenir l'évolution du volume de vide disponible dans le stockage avant la mise en pression de la saumure, pour une première solution de confinement considérant des serrements internes des barrages d'une longueur de 20m. Il faut un peu plus de **1 700 ans** pour que les vides du stockage se remplissent. L'étude d'une deuxième solution comportant des serrements en havrits de 50m de long amène aux mêmes résultats. En effet, la longueur plus importante des serrements résulte en à une compaction plus poussée des havrits, ce qui contrecarre l'effet bénéfique d'un volume initial de vides plus important.

La montée en pression de la saumure dans le stockage, après la fin de l'envahissement, est due au flux entrant, qui s'accompagne de la réduction du volume des vides dans le stockage. Le flux entrant va peu à peu s'annuler (lorsqu'il y aura équilibre des pressions entre le stockage et le reste des travaux miniers). Cette montée en pression, conditionnée par le module volumique de la saumure, est relativement rapide (une cinquantaine d'années), le taux de fermeture du stockage étant encore relativement rapide à la date d'ennoyage. Une fois la saumure montée en pression, l'écoulement « vers l'extérieur » à travers les barrages est amorcé. Les résultats des calculs indiquent pour la solution de confinement avec des serrements de 20m un flux sortant d'environ **1 m³/an**, environ 200 ans après la date d'ennoyage. Compte tenu de la quantité de mercure encore présente dans le stockage (1 400 kg) et en considérant une dissolution complète de ce polluant dans la saumure, il vient un flux massique d'environ **34 g/an**. Avec des serrements plus longs, le flux maximal sortant reste du même ordre, avec un flux massique maximal de **36 g/an**, valeur légèrement plus forte du fait d'une concentration en g/m³ de mercure légèrement plus importante.

Ces résultats permettent donc de valider la méthode de confinement choisie par MDPA et d'écarter l'hypothèse d'un confinement avec des serrements plus longs, plus onéreux à mettre en place et n'améliorant pas la sécurité du confinement vis-à-vis des débits de saumure sortant du stockage.

Les simulations réalisées pour les calculs des flux potentiels supposent que le flux de saumure entrant et sortant du stockage ne peut avoir lieu qu'à travers les barrages de confinement. Autrement dit, le sel autour des barrages est considéré comme imperméable. Cette hypothèse est validée par des études complémentaires sur l'évolution de la perméabilité à la fois dans le temps et dans l'espace autour des barrages. Les études, réalisées tant pour un barrage simple que pour un double, montrent un

reconfinement rapide du sel contre les barrages avec le temps, permettant à la perméabilité de redescendre vers des valeurs faibles et inférieures à celles du béton de l'élément étanche bien avant la date d'arrivée de la saumure à la profondeur du stockage.

Nous avons également réalisé une étude de la stabilité mécanique des galeries lors de la construction des barrages 3 et 12. L'étude, menée sur des modèles 2D de sections perpendiculaires à l'axe des barrages, considère l'ensemble des fines couches de marnes présentes au niveau du stockage et pouvant amener à une instabilité des bancs de sel en toit des galeries, suite aux opérations de surcreusement préalables à la réalisation des ouvrages de confinement. Plusieurs analyses ont été réalisées en considérant différentes valeurs de la résistance en traction des marnes. Les résultats ont montré des augmentations limitées des déplacements lors des phases de surcreusement, tout comme un faible développement de la plasticité dans la roche autour des barrages, ce qui semble donc écarter le danger d'instabilités potentielles lors des travaux. Une campagne de reconnaissance des propriétés de résistance des marnes avant le démarrage des travaux reste cependant fortement conseillée afin de permettre la validation (ou éventuellement la reprise) des hypothèses de modélisation prises en compte et donc des résultats obtenus sur ce point.

Une dernière analyse prend en compte les résultats de la récente étude hydrogéologique conduite par le bureau d'étude CESAME quant au scénario d'ennoyage du secteur minier dans lequel se situe le stockage. Cette étude a permis une réévaluation de la date d'arrivée de la saumure devant les barrages, grâce à l'analyse des différentes données aujourd'hui disponibles : les mesures piézométriques dans deux sondages profonds et les mesures topographiques donnant une indication de l'évolution des vides miniers résiduels. La date d'arrivée de la saumure est ainsi repoussée d'environ 300 ans. Au vu des données analysées, ce scénario apparaît plus réaliste que celui établi par l'INERIS en 2010, d'où la demande de MDPa de réaliser une étude de sensibilité permettant d'évaluer les conséquences de ce changement sur la date d'ennoyage du stockage, puis sur la date de sortie de la saumure polluée à l'extérieur du site, avec les nouvelles données hydrogéologiques. Les résultats obtenus mettent en évidence un flux maximal en sortie d'environ **0,75 m³/an**, presque 300 ans après la date d'ennoyage (200 dans le cas de l'hypothèse de l'INERIS). Ce résultat apparaît logique : un décalage dans le temps de l'ennoyage du site permet de tirer avantage de la réduction de la vitesse de fluage et ainsi de repousser encore plus loin la sortie de la saumure polluée et son débit (**-25%**). Le flux massique maximal de mercure correspondant est ainsi réduit de 34 g/an (hypothèse INERIS) à **26 g/an.**»

Synthèse 54 : pièce [B35] bibliographie DDA

Etude d'expertise sur les sels cyanurés présents dans le stockage souterrain

CURIUM, 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B35]

Auteurs : CURIUM – B. BAUER et T. BARRAS

Objectif du rapport

Extrait du chapitre « Objet de l'étude » en page 4 du rapport :

« Comme le remblaiement du bloc B15 et des galeries d'accès aux autres blocs se fait par voie mouillée, il ne peut être totalement exclu que de l'eau, au sein du remblai, ou en excès, se retrouve au contact des déchets présents dans les blocs. Les MDPAs demandent d'étudier le risque du mélange de l'eau avec des sels cyanurés (classe A1 – sels de trempe) et les REFIOM (classe E9 – Résidus d'incinération). Il est craint la production de gaz toxique et donc une mise en danger éventuelle du personnel présent lors de la confection de ces barrages lors du remblayage.

Afin de répondre à cette question, la présente étude consiste à :

- *Examiner si de tels sels pourraient être en présence, parmi les catégories de déchets cyanurés présentes dans les zones concernées par l'étude ;*
- *Si oui,*
 - *Décrire d'un point de vue théorique les principales réactions dangereuses à craindre, et les conditions qui pourraient les permettre, réalistement par rapport au contexte du stockage ;*
 - *Etudier dans quelles mesures ces conditions défavorables seraient en mesure de se réaliser : libérations d'eau par les chantiers, possibles présences de déchets à caractéristiques acides à proximité immédiate des sels concernés... ;*
 - *Décrire le cas échéant les mesures de protection envisageables pour éviter l'émanation de liquides ou gaz susceptibles de nuire à la santé des opérateurs à leurs postes de travail. »*

Conclusion et Proposition de mesures de prévention, pages 25 et 26

« La présente étude et les résultats théoriques associés ne permettent pas à ce stade d'exclure complètement le risque d'émanations de gaz toxique lors des opérations de remblaiement du B15 ainsi qu'en périphérie du B12.

Cependant, l'étude et les calculs associés ont démontré que la génération de cyanure dans l'air resterait très faible et en-dessous des seuils d'exposition des travailleurs.

La composition réelle des déchets n'étant pas parfaitement connue, des produits présents non référencés (dans les FID) pourraient avoir une incidence et engendrer potentiellement une brève hausse de la concentration en cyanure.

Quant à la génération de gaz irritant, celle-ci n'est pas à exclure non plus avec notamment l'hydratation des REFIOM par le coulis.

C'est pourquoi nous préconisons les mesures de préventions/protections qui suivent.

a. Protection des intervenants

Dès lors, il sera justifié de mettre en place des mesures de protections collectives et individuelles qui pourront permettre de s'assurer de la sécurité des intervenants. Ces dispositifs pourront être :

- *Des capteurs fixes de cyanure d'hydrogène (HCN), de chlorure d'hydrogène (HCl) qui réagissent également en présence de fluorure d'hydrogène (HF) et de dioxyde de soufre (SO₂) au plus proche des zones d'émissions potentielles ou au niveau des zones de travail des opérateurs concernant le B12 (car il n'y aura personne au niveau de la source d'émission potentielle dans la chambre en cours d'injection).*
- *Des détecteurs portatifs d'HCN, HCl et SO₂ sur les opérateurs occupés au remblayage dans les zones concernées (1 détecteur par groupe de personnes suffisant).*
- *Un système de filtration aval de l'air servant à ventiler le B15. Les vapeurs d'HCN et autres vapeurs irritantes peuvent être piégées sur des charbons actifs adaptés (voir document joint en Annexe III).*
- *Des masques de fuite respiratoires (à la ceinture) pour chaque intervenant prêts à être enfilés - cartouche de protection respiratoire de type B&E à minima. L'auto-sauveteur déjà utilisé in-situ peut être utilisé pour éviter de surcharger les opérateurs.*
- *Des consignes (écrites, testées, affichées) d'urgences en cas de déclenchement des capteurs (ex : enfiler votre masque de protection respiratoire, évacuer en air frais, ...).*

Avec l'application de l'ensemble de ces mesures, les éventuels risques sur le personnel intervenant seront maîtrisés et limités.

b. Protection de l'environnement

En tout état de cause, compte tenu des calculs de concentration et des débits d'air en jeu, aucune émission significative de cyanure d'hydrogène et de gaz irritant au niveau du puits de retour d'air en surface ne sera à craindre.

Pas de nécessité d'aménagement particulier au sortir du puits de retour d'air. »

Synthèse 55 pièce [B41] bibliographie DDA :

Etude écotoxicologique des composants des déchets susceptibles de polluer la nappe ou les sols– Ineris - 216503 - 2759285 - v2.0

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B41] :

Auteurs : P. GOMBERT ; S. ANDRES ; S. LAFORTUNE ; P. PANDARD, F. QUIOT

Vérification : C. BOUDET ; N. VELLY ; F. POULARD ; A. CHARMOILLE

Approbation : H. BAROUDI

Contexte de l'étude page 4 du rapport :

« ...les MDPA ont été mises en demeure par arrêté préfectoral en janvier 2022 de présenter un nouveau dossier de transformation de l'autorisation initiale de stockage souterrain réversible en autorisation de stockage en couches géologiques profondes pour une durée illimitée.

L'Autorité environnementale (Ae) a été saisie de ce dossier sur décision de la ministre chargée de l'écologie. L'Ae considère que l'enjeu environnemental principal de ce projet réside dans la protection à long terme de la nappe phréatique d'Alsace. De ce fait, il s'avère essentiel de fournir, dans l'étude d'impact, les éléments nécessaires pour renforcer la confiance dans les informations et les choix présentés, en démontrant que l'option qui sera retenue est la meilleure pour l'environnement. Dans son avis n°2022-E-01, émis le 24 novembre 2022, l'Ae recommande notamment de rappeler les tonnages extraits du site souterrain, de mieux expliciter les calculs qui ont conduit aux résultats produits, et de réaliser une étude écotoxicologique englobant l'ensemble des substances éventuellement toxiques dans la nappe, en individualisant précisément celles qui sont solubles dans l'eau. »

Conclusion générale, pages 18 et 20/21 de l'étude :

« Le scénario d'évolution du site de stockage de déchets de StocaMine et de la mine au sein de laquelle il se trouve, prévoit – à l'échelle du millénaire – la possibilité d'un faible épanchement de saumure potentiellement polluée à partir de certains puits de la mine Amélie. Du fait de sa densité, cette saumure s'épanchera préférentiellement à la base de la nappe alluviale, au droit de la couche profonde formée de paléochenaux. La structuration de la nappe en plusieurs couches superposées de perméabilités différentes, localement séparées par des intercalaires argileux, limitera très fortement la propagation vers la surface des panaches de saumure potentiellement polluée. Dans la zone étudiée, la nappe alluviale d'Alsace est globalement homogène sur le plan physicochimique avec notamment une eau moyennement minéralisée et la présence de panaches salés issus de la lixiviation des terrils miniers.

Toutefois, cette salure artificielle finira par disparaître et ne doit donc pas être prise en compte pour étudier l'impact écotoxicologique des épanchements de saumure potentiellement polluée qui pourraient se produire à plus long terme.

En ce qui concerne le terme source, qui représente la saumure qui pourrait s'épancher à la base des puits de mine et venir contaminer la nappe d'Alsace, la modélisation géochimique précédemment réalisée, basée sur l'hypothèse fortement majorante d'une dissolution totale des déchets dans la saumure, a été conservée. Le mercure étant apparu comme le seul composé dont le critère de qualité d'origine réglementaire dans les eaux souterraines pouvait être localement dépassé, cela a conduit au déstockage de 95 % de sa masse initiale, ce qui correspond au scénario dit « 93 % ». Il en résulte un

excès de cyanures qui seront disponibles pour aller complexer d'autres métaux (cadmium, cobalt et nickel) et augmenter leur concentration dans le terme source. Toutefois, les marges de sécurité résultantes resteront très significatives puisque supérieures à 300 dans l'eau de la couche profonde de la nappe alluviale d'Alsace, à proximité des puits de mine, par rapport aux limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine. En outre, du fait de la structuration verticale de cette nappe, et bien que ce scénario conduise à une augmentation de la concentration en certains autres éléments traces métalliques dans l'eau de sa couche profonde, cela n'induera pas d'impact au regard des limites de qualité prises en compte, ni dans les eaux souterraines, ni dans les eaux superficielles.

En ce qui concerne la stygofaune, malgré la pertinence de considérer les effets des activités humaines sur les écosystèmes des eaux souterraines, les études disponibles dans la littérature sur ces espèces restent encore très limitées. Ces études confirment l'absence de protocoles d'essais d'écotoxicité robustes et standardisés sur des espèces représentatives. À l'heure actuelle, il n'apparaît donc pas possible de mettre en œuvre des évaluations des risques pour ces écosystèmes sur la base de données expérimentales générées sur ce compartiment.

En l'absence de données sur la sensibilité des espèces stygobies, l'approche suivie pour les eaux de surface dans le contexte de la directive cadre sur l'eau a été retenue. Les valeurs seuils utilisées pour les écosystèmes aquatiques lato sensu sont ici en général inférieures aux valeurs pour la santé humaine, en cohérence avec les modalités d'exposition des organismes aquatiques. Le peu d'information disponible ne permet pas de présumer d'une sensibilité plus importante ou moins importante pour les milieux aquatiques souterrains. La prise en compte du manque de données sur la sensibilité de ces écosystèmes aux éléments traces métalliques a été réalisée par la recommandation d'atteindre une marge de sécurité au moins supérieure à 10, valeur par défaut adaptée des pratiques appliquées pour les eaux marines et de transition. Dans ce contexte, il apparaît que les marges de sécurité calculées pour les substances présentes sont supérieures ou largement supérieures à 10 relativement aux NQE retenues, reflétant la préservation de la stygofaune.

Ainsi, dans l'état actuel des connaissances, des épanchements de saumure potentiellement polluée pourraient se produire dans environ un millénaire au niveau des puits de la mine Amélie, dans la couche profonde de la nappe alluviale d'Alsace mais, dans l'état actuel des connaissances, aucun dépassement des seuils réglementaires visant la protection des écosystèmes et donc aucun impact écotoxicologique ne sont attendus sur la stygofaune. »

Synthèse 56 pièce [B42] bibliographie DDA :

Etude d'impact des séismes sur les puits de StocaMine– Ineris -217537 - 2759347

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B42] :

Auteurs : C. BALLAND ; R. VINCENT ; P. GOMBERT

Vérification : C. FRANCK ; E. KLEIN

Approbation : H. BAROUDI

Résumé de l'étude page 4 du rapport :

« Le site de stockage souterrain de déchets ultimes StocaMine (Wittelsheim, Haut-Rhin) est en cours de fermeture, l'ennoyage des vides miniers devrait se poursuivre sur une durée de l'ordre de 300 ans et envahir le site de stockage, induisant une remontée de saumure potentiellement polluée qui atteindrait la nappe d'Alsace à partir de 1000 ans environ. La question est de savoir si les séismes qui se produiraient pendant cette période pourraient avoir un impact sur les puits de mine et donc sur les débits d'ennoyage ou d'épanchement de saumure.

Cette étude s'est appuyée sur les précédents travaux réalisés pour les intégrer aux nouvelles connaissances sur l'activité sismique autour du site de StocaMine. La distribution spatiale magnitudefréquence des séismes déduite des derniers catalogues donne un temps de retour du séisme de Bâle ($M=6.9 \pm 0,2$) de l'ordre de 3400 ans. La probabilité qu'un tel séisme se produise pendant la période d'ennoyage ou d'épanchement de saumure est de 8%.

Nous pouvons aussi exclure raisonnablement l'existence d'un effet de site majeur en surface conduisant à l'amplification des ondes en surface ou au fond même s'il n'existe pas d'étude spécifique pour l'environnement du site de StocaMine. En effet, les isosismiques de plusieurs séismes ne montrent pas d'anomalie de l'intensité ou de la magnitude dans cette zone.

Les surcontraintes dynamiques subies par les revêtements des puits ont été calculées suivant la norme Eurocode 8. Elles ont logiquement un poids plus élevé dans la contrainte totale (statique + dynamique) à proximité de la surface, le poids des terrains y étant le plus faible mais l'état de contrainte total reste très éloigné du seuil de rupture. Elles sont plus faibles en profondeur là où les contraintes statiques sont plus fortes et plus proches du seuil de rupture. Les contraintes dynamiques ne représentent alors que 3 % des contraintes totales. Elles ne sont donc pas de nature à modifier significativement l'équilibre mécanique des revêtements des puits.

Les sollicitations sismiques agissent aussi sur les fluides comme la saumure emprisonnée dans les vides résiduels. La surpression est environ égale au cinquième de celle régnant dans le massif de sel.

L'amplitude maximale de variation de la pression de saumure est égale à 0,22 MPa ou 2,2 bars. Cette surpression n'est pas de nature à fragiliser les ouvrages de scellement en place dans les galeries (barrages) et les puits (bouchons).

Compte tenu de ces données et des scénarios prévisibles d'ennoyage de la mine et du site de stockage de déchets, et d'épanchement de saumure par les puits de mine, la survenue d'un séisme majeur au cours de cette période n'aura pas d'impact significatif supérieur à ce qui a déjà été intégré.»

Extraits :

Page 27/41 :

« La surpression dynamique transmise à la saumure est environ égale au cinquième de celle régnant dans le massif de sel. L'amplitude maximale de variation de la pression de saumure est égale à 0,22 MPa ou 2,2 bars. Cette surpression n'est pas de nature à fragiliser les ouvrages de scellement en place dans les galeries (barrages) et à la base des puits (bouchons) d'autant plus que la longueur d'onde dominante des séismes les plus importants est largement supérieure aux dimensions des unités géologiques locales et encore plus aux dimensions des ouvrages souterrains. Il n'y a donc pas de phénomènes différentiels attendus, c'est-à-dire que tous les éléments du massif encaissant subiront au même moment les sollicitations d'un séisme de magnitude importante.

Page 28/41 :

« Compte tenu de ces données et des scénarios prévisibles d'ennoyage de la mine et du site de stockage de déchets, et d'épanchement de saumure par les puits de mine, ainsi que des approches considérées par l'Ineris sur la dégradation des revêtements, la survenue d'un séisme majeur au cours de cette période n'aura pas d'impact significatif sur le débit d'ennoyage. »

Conclusion :

Page 29/41 :

« L'ennoyage des vides miniers devrait se poursuivre sur une durée de l'ordre de 300 ans et envahir le site de stockage de déchets de StocaMine, induisant une remontée de saumure potentiellement polluée qui atteindrait la nappe d'Alsace à partir de 1000 ans environ. La question est de savoir si les séismes qui se produiraient pendant cette période de 300 ans pourraient avoir un impact sur les puits de mine et donc sur les débits d'ennoyage ou d'épanchement de saumure. Cette étude s'est appuyée sur les précédents travaux réalisés, notamment ceux de Cara et Bour (1990), pour les intégrer aux nouvelles connaissances sur l'activité sismique autour du site de StocaMine. La magnitude du plus grand séisme historique de la région a récemment été réactualisée à $M=6.9 \pm 0.2$ (Fäh et coll., 2009) soit 0.6 à 1.1 de plus que ce qui était admis en 1990. En même temps, la distribution spatiale magnitude-fréquence des séismes déduite des derniers catalogues donne un temps de retour du séisme de Bâle plus important, de l'ordre de 3400 ans plutôt que les 1000 ans précédemment calculés.

La probabilité qu'un tel séisme se produise pendant la période d'ennoyage ou d'épanchement de saumure est de 8%. Pour un séisme de magnitude plus faible (5.5) et situé dans la zone de StocaMine (même latitude), le temps de retour est estimé à 11 700 ans avec une probabilité de 2%. Nous pouvons aussi exclure raisonnablement l'existence d'un effet de site majeur en surface conduisant à l'amplification des ondes en surface ou au fond. Même s'il n'existe pas d'étude spécifique à l'environnement du site de StocaMine, les isosismiques de plusieurs séismes ne montrent pas d'anomalie de l'intensité ou de la magnitude dans cette zone.

Suivant la norme Eurocode 8, le secteur de StocaMine est classé en zone de sismicité 3 avec des accélérations horizontale et verticale au rocher et en surface évaluées dans le présent rapport.

Sur la base de ces niveaux de sollicitation sismique, les surcontraintes dynamiques subies par les revêtements des puits ont été calculées. Elles ont logiquement un poids plus élevé dans la contrainte totale (statique + dynamique) à proximité de la surface, le poids des terrains y étant le plus faible, mais l'état de contrainte total reste très éloigné du seuil de rupture. Elles sont plus faibles en profondeur là où les contraintes statiques sont plus fortes. Les contraintes dynamiques ne représentent alors que 3% des contraintes totales. Elles ne sont donc pas de nature à modifier significativement l'équilibre mécanique des revêtements des puits.

Les sollicitations sismiques agissent aussi sur les fluides comme la saumure emprisonnée dans les vides résiduels. La surpression est environ égale au cinquième de celle régnant dans le massif de sel.

L'amplitude maximale de variation de la pression de saumure est égale à 0,22 MPa ou 2,2 bars. Cette surpression n'est pas de nature à fragiliser les ouvrages de scellement en place dans les galeries (barrages) et les puits (bouchons).

Compte tenu de ces données et des scénarios prévisibles d'engorgement de la mine et du site de stockage de déchets, et d'épanchement de saumure par les puits de mine, la survenue d'un séisme majeur au cours de cette période n'aura pas d'impact significatif supérieur à ce qui a déjà été intégré. »