

Comité de pilotage Stocamine

Rapport d'expertise

juillet 2011



<u>AVANT-PROPOS</u>	<u>7</u>
<u>Rappel historique</u>	<u>7</u>
<u>Création du COPIL</u>	<u>7</u>
<u>Fonctionnement du COPIL</u>	<u>9</u>
<u>Remerciements</u>	<u>10</u>
<u>CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS</u>	<u>11</u>
<u>Critères retenus</u>	<u>11</u>
<u>Retrait</u>	<u>11</u>
Difficultés possibles du retrait	11
Devenir des déchets déstockés	12
Position de certains membres du COPIL	12
<u>Ennuyage</u>	<u>13</u>
Phénomènes à l'œuvre pendant l'ennuyage	13
Chronologie de l'évolution de la partie ouest du gisement	14
<u>Concept de stockage illimité envisagé à l'origine</u>	<u>14</u>
<u>Concept de stockage illimité avec scellements et surveillance, sans retrait sélectif</u>	<u>15</u>
Pose de scellements	15
Surveillance	15
<u>Concept de stockage illimité avec comblement des vides, surveillance et retrait sélectif</u>	<u>16</u>
<u>Conclusion</u>	<u>16</u>
Retrait	16
Stockage illimité	17
Conclusion générale	17
<u>OPTION DU RETRAIT : MISE EN ŒUVRE DE LA REVERSIBILITE</u>	<u>19</u>
<u>Notion de réversibilité</u>	<u>19</u>
<u>Le stockage est devenu moins réversible</u>	<u>20</u>
<u>Incertitudes sur la nature des déchets</u>	<u>22</u>
Doutes créés par l'incendie du bloc 15	22
Qualité du dispositif de réception des colis	23
Dispositions à prendre en cas de retrait	23
<u>Risques associés au retrait des déchets</u>	<u>24</u>
Mise en état des chantiers	24
Prise des colis	24
Nécessité du reconditionnement des colis	25
Conditionnement	25
Méthodes de conditionnement des déchets	25
Epanchage du contenu d'un colis	26
Moyens d'aspiration	26
Equipements individuels	27
Incendie	28

Dispersion des déchets—cas des colis amiantés.....	28
Cas du bloc 15.....	29
Mise en œuvre de la réversibilité : mode opératoire.....	30
Durée du retrait.....	31
Difficulté du retrait.....	32
Que faire des déchets déstockés ?.....	33
La sécurité à long terme et les critères d'acceptation des décharges souterraines (UTD, Untertagedeponie) en Allemagne.....	34
CONCLUSION RELATIVE AU RETRAIT	36
Références.....	36
<i>OPTION DU STOCKAGE ILLIMITE</i>	39
Principe du stockage en profondeur.....	39
Dilution et confinement.....	39
Principe du confinement de déchets en mine de sel.....	39
Comparaison des concepts « sec » et « ennoyé ».....	40
Mécanismes d'ennoyage des mines de sel	40
Scénario normal d'évolution de Stocamine après fermeture.....	42
Vitesse de fermeture des ouvrages réalisés dans le sel.....	42
Fermeture des vides miniers, galeries et tailles foudroyées.....	42
Fermeture des vides du stockage.....	43
Ennoyage de la mine dans le scénario normal	43
Risque d'évolution de l'ennoyage lent vers un ennoyage brutal.....	45
Durée de l'ennoyage.....	45
Stabilité de la masse de saumure contenue dans la mine après ennoyage.....	46
Facteurs de stabilité de la masse de saumure.....	46
Facteurs susceptibles de mettre la saumure en mouvement.....	47
Impact de l'émission de saumure sur la nappe alluviale.....	50
Concentration du terme source.....	50
Flux de polluant émis à partir du stockage.....	51
Dilution dans la nappe d'Alsace.....	51
Synthèse par le COPIL.....	52
CONCLUSION RELATIVE AU STOCKAGE ILLIMITE.....	53
La surveillance.....	54
Références.....	55
<i>ANNEXES</i>	57
<i>Annexe 1 : Lettre de mission du COPIL</i>	59
<i>Annexe 2 : Ordres du jour des réunions du COPIL</i>	64
<i>Annexe 3 : Composition du COPIL</i>	66
<i>Annexe 4 : Résumé de « Mise en œuvre de la réversibilité »</i>	68
<i>Annexe 5 : Contribution de M. Buser et W. Wildi</i>	72
<i>Annexe 6 : Situation juridique en Allemagne, Prof. Watzel</i>	93

	<u>100</u>
<u><i>Annexe 7 : Conditions de travail, M. Rolshoven</i></u>	<u>101</u>
<u><i>Annexe 8 : Contributions de S. Alt</i></u>	<u>107</u>
<u><i>Annexe 9 : Contributions de B. Maréchal</i></u>	<u>115</u>
<u><i>Annexe 10 : Géomécanique, G. Vouille</i></u>	<u>121</u>
<u><i>Annexe 11 : Résumé des entretiens avec les syndicats et les délégués mineurs</i></u>	<u>135</u>
<u><i>Annexe 12 : Problème du puits W1</i></u>	<u>139</u>
<u><i>Annexe 13 : Documentation fournie au COPIL en début d'expertise</i></u>	<u>143</u>

AVANT-PROPOS

Rappel historique

Le 3 février 1997, un arrêté préfectoral autorisait la société Stocamine à exploiter un stockage souterrain réversible de déchets industriels. L'enquête publique avait conclu à un avis favorable, assorti de la demande que le résultat de contrôles indépendants et inopinés soit présenté à la commission locale d'information et de surveillance (CLIS). L'arrêté prévoyait qu'à l'issue d'une période de trente ans l'exploitant pouvait demander de transformer l'ouvrage en stockage de durée illimitée. Ce projet semble avoir été assez bien accueilli localement à l'époque : il permettait de doter l'Alsace d'un centre d'enfouissement technique pour ses déchets de classe 1 et constituait le premier centre français d'enfouissement pour les déchets de classe 0, dont le potentiel de danger les fait réserver au stockage géologique profond ; il permettait aussi le maintien d'une certaine activité sur le bassin potassique, où l'arrêt de l'exploitation des MDPA était programmé pour 2004.

Le stockage était creusé à une profondeur de l'ordre de 500 m sous la surface dans des vides miniers réalisés spécialement à cet effet dans le sel gemme, à une vingtaine de mètres sous la couche de potasse de la mine Amélie. Il était constitué d'un ensemble de « blocs », desservis par les puits Joseph et Else. Il était conçu pour accueillir à terme un total de 320 000 tonnes de déchets. Dix blocs ont été effectivement creusés.

En 2001 il apparut que 173 colis contenant des PCB avaient été stockés bien qu'ils ne satisfassent pas aux prescriptions de l'arrêté d'autorisation et il fut décidé de les retirer. Les opérations de retrait se déroulèrent de 2001 à 2002 sans problème important.

Le 10 septembre 2002, alors que 44 000 tonnes de déchets avaient déjà été stockées, un incendie survenait dans le bloc 15, avec, en particulier, des conséquences pour la santé de membres du personnel exposés aux fumées. Tout indique que l'origine de cet incendie résidait dans des colis non conformes descendus quelques semaines plus tôt malgré diverses alertes, dont celles formulées par le personnel. En septembre 2003, Stocamine décidait de ne pas reprendre les activités de stockage. Un sentiment de défiance se répandait dans la population locale.

Un amendement au Code de l'environnement, daté du 3 février 2004, prévoit qu'en cas de cessation de l'apport de déchets pendant une durée d'un an, l'autorisation de stockage peut être prolongée pour une durée illimitée, levant ainsi la contrainte de la période d'attente de trente ans.

Pendant cette période d'attente et jusqu'à ce jour, Stocamine a fait réaliser un ensemble important d'études visant à analyser divers aspects des scénarios de fermeture.

Création du COPIL

Par note du 25 avril 2008, le ministre d'Etat, ministre de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire chargeait les vice-présidents du Conseil général de l'environnement et du développement durable et du Conseil général de l'industrie, de l'énergie et des technologies de diligenter une mission d'expertise conjointe afin de cerner les conditions dans lesquelles pourraient être mises en œuvre les deux options envisageables pour la fermeture du stockage de déchets ultimes exploité par Stocamine : le confinement au fond ou la mise en œuvre de la réversibilité. Cette mission était confiée à Monsieur Marc Caffet, Ingénieur général des Mines, avec

l'appui de Monsieur Bruno Sauvalle. Le 16 septembre 2010, Monsieur Marc Caffet présentait à la CLIS les conclusions de son rapport. Il mettait notamment en exergue :

- la perte de confiance de la population
- les enjeux majeurs locaux en termes de préservation de la qualité de la nappe phréatique, de la santé et de la sécurité du public et des travailleurs
- la nécessité de garantir des solutions de long terme
- le caractère secondaire des questions de coût
- l'importance du débat avec les acteurs locaux du bassin potassique.

Il rappelait que le Grenelle II de l'Environnement prévoit un débat public, dans lequel la CLIS avait vocation à jouer un rôle prépondérant.

A la suite de cet exposé, Monsieur Alby Schmitt, directeur adjoint de la DREAL rappelait la mission confiée par le ministre au préfet lors de la réunion qui s'était tenue le 24 juin 2010. Une concertation devait être conduite, en amont du dépôt de dossier de fermeture de Stocamine, axée sur l'étude détaillée des divers scénarios. Le choix du scénario de fermeture serait de la responsabilité de l'exploitant, le dossier serait instruit par les services administratifs, la décision appartenant à l'Etat après consultation du public et du CODERST. L'exploitant produirait les études sur les différents scénarios et les présenterait à un comité de pilotage (COPIL) qui rapporterait à la CLIS. Les quatre collègues¹ du Grenelle de l'Environnement, ainsi que les représentants du personnel, seraient représentés chacun par deux experts. Cette liste serait complétée par trois personnalités internationalement reconnues pour leurs compétences. La composition du COPIL est donnée en **Annexe 3**.

Le décret du 10 mars 2006 précisait la procédure d'instruction d'une demande de prolongation de durée illimitée, comportant une tierce-expertise, une enquête publique et une instruction administrative conduisant à un arrêté préfectoral soumis à l'avis du Conseil Départemental de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques (CODERST) et du Conseil supérieur des installations classées (devenu depuis Conseil supérieur de la prévention des risques technologiques).

Ces propositions étaient acceptées à l'unanimité par la CLIS qui a validé le choix des experts le 4 avril 2011.

Les missions du COPIL sont précisées par la lettre adressée par Monsieur le Préfet du département du Haut-Rhin au président du COPIL, qui figure en **Annexe 1**, avec l'invitation à la première réunion du COPIL adressée à ses membres par la DREAL Alsace, qui a assuré le secrétariat du COPIL.

Selon proposition de la CLIS, le Comité de pilotage est chargé d'analyser les éléments du dossier élaboré par la société Stocamine, relatif au projet de fermeture. Ses missions sont précisées dans la lettre figurant en **Annexe 1** :

- « réaliser une analyse critique de la pertinence et de l'exhaustivité des scénarios et des variantes qui ont été envisagés,
- établir une méthodologie pour les évaluer et les comparer,
- identifier et exploiter le travail déjà réalisé par Stocamine et en particulier les études réalisées

¹ Etat, collectivités locales, industriels, associations et « sachants »

- par l'Ineris,
- rédiger le cahier des charges pour une expertise tiers des dossiers élaborés par Stocamine :
 - les travaux nouveaux à réaliser
 - les compléments par rapport aux études Ineris à réaliser
 - les études Ineris à tiers-expertiser,
- réaliser une synthèse du travail du comité qui présentera une récapitulation des scénarios envisagés et l'évaluation qu'en fait le comité»

Fonctionnement du COPIL

Le COPIL s'est réuni à neuf reprises entre novembre 2010 et juillet 2011, en général dans les locaux de la DREAL Alsace à Strasbourg mais aussi, à deux reprises, à Mulhouse dans les locaux de la CCI à l'aimable invitation de cette dernière et, à deux reprises, à Wittelsheim pour rendre compte de ses travaux à la CLIS. Les membres du COPIL ont visité Stocamine au cours du mois de décembre 2010. Ils ont bénéficié d'une documentation abondante rassemblant les études effectuées par Stocamine, dont la liste figure en **Annexe 13**. Ils ont été informés, au fur et à mesure de leur avancement, des études nouvelles conduites par l'Ineris pour Stocamine et qui portaient successivement sur la Géomécanique, l'Hydrogéologie et le Transfert, le Terme Source et les Risques Sanitaires et Environnementaux. Certains de ces travaux sont encore en cours d'achèvement, et il n'a été fourni au COPIL de rapports écrits que pour les deux premiers thèmes, « Géomécanique » et « Hydrogéologie et Transfert ».

Les ordres du jour des réunions du COPIL, qui figurent en **Annexe 2**, comportaient une réunion interne, un ou des exposés des membres du COPIL sur des sujets de leur compétence, un ou des exposés de l'Ineris relatif aux études que cet institut conduisait pour Stocamine ; Stocamine assistait à cette réunion. Le COPIL a également reçu à leur demande des représentants des syndicats de mineurs et les délégués mineurs de Stocamine, que le COPIL remercie pour leur contribution. Un résumé de leurs contributions figure en **Annexe 11**. A cette occasion a été soulevé le problème particulier du sondage W1, évoqué à l'**Annexe 12**.

La méthode de travail du COPIL a consisté en l'échange de documents de travail, rédigés par ses membres, dont certains sont reproduits en **Annexes 5, 6, 7, 8 et 9**.

Des textes de synthèse ont ensuite été progressivement élaborés. A l'invitation de la CLIS, le COPIL lui a présenté une version provisoire résumée de ses travaux sur l'option du retrait le 4 avril 2011 ; une version légèrement révisée de ce résumé figure à l'**Annexe 4**.

Le texte consacré à la Géomécanique est en **Annexe 10**.

Deux autres textes sont consacrés respectivement à la mise en œuvre de la réversibilité et au stockage illimité. Ils décrivent en assez grand détail la compréhension que le COPIL a acquise des divers phénomènes susceptibles de jouer un rôle si l'une de ces deux options étaient retenues. Ces deux textes constituent le **corps principal du rapport**.

Le COPIL a estimé que des lecteurs moins au fait de l'ensemble des problèmes techniques posés ou désireux d'en avoir seulement une vue d'ensemble souhaiteraient disposer d'une version courte des textes de synthèse. Elle est constituée des **conclusions et recommandations** du COPIL, qui figure immédiatement après cet avant propos.

Remerciements

Le COPIL remercie la CLIS qui l'a reçu le 4 avril et le 7 juillet dans des conditions propices à une présentation sereine et à une discussion approfondie.

La Presse a assuré une couverture complète et objective de la réunion du 4 avril.

Le COPIL remercie la DREAL d'Alsace en les personnes de Monsieur François Rousseau et de Monsieur Gilbert Wolf.

Stocamine et son expert Ineris lui ont fourni une information dense et se sont efforcés de répondre aux questions additionnelles que le COPIL leur a posées.

Les syndicats et les délégués mineurs ont apporté au COPIL un éclairage très précieux.

La Chambre de Commerce et d'Industrie de Mulhouse a permis au COPIL de tenir deux réunions à Mulhouse dans des conditions très confortables.

Les membres du COPIL remercient Madame Houy qui a pris en charge la difficile tâche de traduction simultanée ainsi que la société Handirect qui a assuré la transcription des réunions.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

(présentées à la CLIS le 7 juillet 2011)

Le COPIL a examiné les divers scénarios de fermeture de Stocamine. Les scénarios extrêmes sont le retrait complet et, à l'inverse, le stockage illimité de tous les déchets stockés. Le COPIL a aussi envisagé des scénarios intermédiaires de retrait sélectif.

Les débats du COPIL sont allés au delà de ces deux scénarios. Il a ainsi été pris en considération la notion de réversibilité, les problèmes posés par son application, la valeur d'exemplarité que représentera toute décision prise concernant Stocamine, quelle qu'elle soit. Il a été également évoqué la possibilité d'un scénario de réouverture ultérieure de l'accès aux déchets dans un siècle par exemple qui serait motivé par une évolution des technologies. Cette discussion n'a pas été reprise dans le rapport.

Le COPIL n'a pas envisagé non plus le cas de la poursuite de l'exploitation du stockage.

Critères retenus

Au cours de cet examen, le COPIL a pris en compte trois critères :

- la sécurité et la santé des travailleurs
- la sécurité et la santé du public
- la protection de l'environnement et en particulier la ressource en eau

Le COPIL a retenu le principe de l'équité entre générations et entre territoires : une attention égale doit être portée à une pollution survenant aujourd'hui ou dans plusieurs siècles ; de même, la santé et la sécurité de personnes vivant, par exemple, en Alsace, en Franche Comté ou en Hesse méritent une attention égale.

Retrait.

A propos du retrait, le COPIL a entendu les représentants des syndicats CGT-CFTC-CFDT et CGC et les délégués mineurs, qui ont exprimé sur ce sujet des avis qui figurent en annexe. Le retrait a fait l'objet d'une note séparée dont on rappelle les éléments principaux.

Difficultés possibles du retrait

- Le travail au fond s'accompagne pour les travailleurs de risques liés à la manipulation de substances toxiques et à l'instabilité prévisible du toit et des parements des galeries. Le COPIL estime que les dangers associés au retrait sont importants mais que les risques encourus sont gérables. Les membres du COPIL, à l'exception de l'un d'entre eux, jugent que, si un retrait sélectif est possible sans inconvénients, il vaut mieux laisser au fond les déchets amiantés, qui ne seront plus dangereux après ennoyage.
- Une majorité des membres pense que les risques sont très importants pour le bloc 15 endommagé par l'incendie et, qu'en conséquence, il faut proscrire son déstockage. Plus

généralement, on ne peut exclure, en cas de retrait, des difficultés telles qu'elles conduisent à arrêter définitivement les travaux de déstockage au fond avec retour à la situation présente.

- Quelques membres estiment que, si le chantier est préparé et conduit dans les meilleures conditions, les risques sont acceptables, et ceci d'autant plus que des opérations similaires sont conduites de façon routinière depuis des années en Allemagne (site de Herfa-Neurode) et que des équipes de mineurs descendent dans les galeries de Stocamine depuis une dizaine d'années pour les besoins de l'entretien et de la sécurisation, sans incident majeur.

Devenir des déchets déstockés

- Quand les déchets de Stocamine ont été stockés, ils étaient considérés comme ultimes : compte tenu des conditions techniques et économiques de l'époque ; ils n'ont pas été traités avant stockage pour en diminuer la dangerosité. Depuis les techniques industrielles ont évolué et permettent dans certains cas d'envisager un retraitement et une valorisation. Le déstockage des déchets qui ne peuvent être retraités avec les techniques actuelles devra donc être suivi d'un re-stockage. Dans le cas des déchets C0, les plus dangereux, qui représentent un peu plus de la moitié du total, un nouveau stockage n'est possible que dans une mine de sel en Allemagne. Mais reporter en Allemagne un risque de pollution jugé excessif en France n'est pas en soi une solution. Le principe d'équité demande qu'on vérifie que le nouveau stockage serait meilleur que ne l'eût été Stocamine. Une vérification approfondie était hors de portée des experts.
- L'administration allemande a autorisé ces stockages ; c'est une garantie à prendre en compte, mais elle ne prouve pas que Stocamine serait inférieur ; cette même administration y autoriserait peut être aussi aujourd'hui un stockage illimité.
- Le COPIL n'a pas pu rassembler une documentation complète sur les stockages allemands ; il est apparu qu'une partie de l'information était difficile à acquérir dans les délais de la mission du COPIL. Il ne semble pas qu'on ait réalisé, en tout cas pas dans chaque cas, une étude de risque à long terme analogue à celle que l'Ineris a effectuée pour Stocamine, les stockages allemands reposant sur le concept d'une mine sèche. Des éléments que le COPIL a pu rassembler se dégagent l'impression que, du point de vue de la barrière géologique, Stocamine se placerait au niveau des meilleurs sites allemands mais qu'en revanche, du point de vue des barrières ouvragées (scelllements, bouchon, remplissage des vides ...), les techniques à l'étude en Allemagne seraient supérieures à celles initialement envisagées pour Stocamine.

Position de certains membres du COPIL

Quelques membres du COPIL ont une appréciation différente. Ils estiment que la mise en œuvre des principes adoptés à l'échelle européenne en matière de gestion des déchets dangereux n'est pas satisfaisante. De leur point de vue, la recherche et l'innovation en matière de solutions durables, tri, recyclage, valorisation, traitement et inertage ont été inhibées par une offre de stockage à bas coût en mine de sel, comme à Stocamine, mais surtout en Allemagne où des tonnages considérables sont déjà stockés de cette manière. Pour eux, les modèles établissant la sûreté à long terme de ces stockages comportent trop d'incertitudes ; la démonstration de l'étanchéité du scellement des accès n'a jamais été effectuée ; les analyses de sécurité à long-terme exigée par la législation dans le cadre des déchets nucléaires ne sont pas appliquées aux déchets spéciaux chimiques ; enfin des conflits d'utilisation des ressources du sous-sol peuvent apparaître. Ils préconisent le retrait complet, sauf peut être pour les déchets amiantés et pour le bloc 15 si l'expérience établissait que son retrait était trop risqué. De leur

point de vue, une analyse plus pertinente de tous les scénarios de traitement de déchets devrait être réalisée, en respectant les principes établis pour la gestion durable de déchets et en intégrant les techniques de traitement et de valorisation des déchets spéciaux. Dans l'intermédiaire, un regroupement des déchets spéciaux de Stocamine sur un ou plusieurs sites de stockage profond en Allemagne devrait être effectué, dans l'attente de leur traitement définitif. Des conditions de sécurité et de surveillance satisfaisantes sont attestées sur certains de ces sites (par exemple Herfa-Neurode).

Il faut toutefois noter que le stockage de déchets dangereux de Herfa-Neurode, comme tous les stockages en mine de sel allemands, n'est pas conçu pour être un entreposage ; même si on peut encore de fait en retirer des déchets, la réglementation prévoit qu'il doit être fermé un jour.

Ennoyage

Les eaux de la nappe phréatique ont commencé à remplir les vides miniers par les puits qui sont remblayés mais pas totalement imperméables. Le niveau de remplissage des vides miniers n'est actuellement pas surveillé, ni les débits d'ennoyage. Les niveaux plus profonds que 1000 m sont vraisemblablement déjà ennoyés. Quand les eaux atteindront le niveau de stockage, vers 500 m de profondeur, puis rempliront les puits jusqu'à la surface, une pollution de la nappe phréatique par remontée de la saumure éventuellement contaminée par les déchets deviendra possible.

Phénomènes à l'œuvre pendant l'ennoyage

L'évolution de la partie ouest du gisement de potasse, qui contient Stocamine, est marquée par trois phénomènes qui ont déjà commencé et qui se poursuivront chacun avec une vitesse qui lui est propre :

- *la fermeture des vides miniers exploités : galeries et chantiers foudroyés.* L'Ineris estime que les vides actuels résultant de l'exploitation de la potasse sont vraisemblablement plus grands que ce qui avait été estimé jusqu'ici, de l'ordre de 20 millions de m³ environ, mais certainement compris entre 10 et 40 millions de m³. Ils se ferment avec des vitesses inégales, plus rapides quand la profondeur est plus grande. L'ordre de grandeur est de 0,1% par an (fermeture complète en 1000 ans si l'ennoyage complet n'est pas achevé avant). Quand la mine et les puits seront complètement ennoyés, cette vitesse se réduira par un facteur de l'ordre de 10 (la fermeture complète s'effectuerait en approximativement 10 000 ans) sous l'effet de la contre-pression exercée par la saumure.

- *la fermeture des galeries et alvéoles de Stocamine* se fait aujourd'hui avec une vitesse moyenne de l'ordre de 1% par an soit 3 cm par an de réduction de la hauteur des galeries. Cette fermeture englobe un mouvement d'ensemble du massif salifère vers les vides et un décollement de bancs peu épais au toit et au mur, ainsi qu'un rétrécissement latéral par fluage, accompagné d'une fissuration des piliers.

- *l'ennoyage de la mine* se fait et se poursuivra avec un débit mal connu mais vraisemblablement lent. Si la situation observée en 2008-2009 se maintient dans le temps, l'ennoyage se fera principalement par les puits et prendra plusieurs siècles. Une accélération de l'ennoyage par les puits ou, moins vraisemblablement, par d'autres voies, ne peut toutefois être exclue ; elle est plutôt moins probable dans le quartier ouest des MDPAs que dans beaucoup d'autres mines de sel et de potasse car le stockage est surmonté d'une épaisse couche de sel et d'argiles très peu perméables.

Toutes ces valeurs chiffrées ne sont qu'indicatives ; des évolutions imprévues ne sont pas exclues. Le COPIL pense que tant que les résultats d'une surveillance ne sont pas disponibles de nouvelles études ne réduiraient pas sensiblement ces incertitudes.

Chronologie de l'évolution de la partie ouest du gisement

Il ne peut pas y avoir de pollution de la nappe phréatique tant que la saumure n'a pas atteint les galeries de Stocamine et n'est pas remontée vers la surface. Soit l'ennoyage se poursuit à la vitesse actuelle, soit il s'accélère progressivement sous l'effet de la dégradation des puits, soit encore il s'accélère brutalement ; toutefois l'expérience de cent ans d'exploitation minière rend peu probable cette dernière hypothèse. Sauf accélération de l'ennoyage, peu probable mais non exclue, la fin du processus ne surviendrait sans doute pas avant quelques siècles. Une date exacte est difficile à préciser car son calcul nécessite de prendre en compte les trois phénomènes cités plus haut, dont les vitesses ne sont pas connues de façon certaine.

Quand l'ennoyage de la mine sera complet, des circulations rapides de liquides au sein de la mine sont peu vraisemblables, l'eau plus légère provenant de la surface tendant à flotter au dessus de la saumure lourde formée au fond. Un certain flux de saumure vers la nappe d'Alsace est toutefois probable, lié au gradient hydraulique pouvant exister entre des puits distants.

Toutefois, à terme, la quasi-totalité de l'eau entrée dans la mine sera expulsée vers la surface par fermeture des vides. La durée de cette expulsion dépendra de la vitesse de convergence.

Selon l'hypothèse généralement adoptée, tout ce qui aura été abandonné dans la mine sera encapsulé dans le sel. Mais ce phénomène, et le moment où ses effets seront complets, sont trop mal connus pour qu'on puisse en tirer l'assurance d'un confinement parfait de toutes les substances contenues dans les déchets.

Cependant sur le très long terme, la quasi-totalité de l'eau entrée dans la mine sera expulsée vers la surface par fermeture des vides. La durée de cette expulsion pourrait être de l'ordre de la dizaine de milliers d'années mais cette estimation doit être considérée avec prudence.

Concept de stockage illimité envisagé à l'origine

Le décret 2006-283 exige entre autres pour une demande de stockage illimité une « étude de sûreté du confinement à long terme de la matière réceptrice compte tenu de ses caractéristiques géotechniques » (article 2, II, 6). Le confinement à long terme des déchets est en général réalisé par une combinaison de barrières géologiques et techniques (dites aussi « ouvrages »).

Le stockage illimité, avec la méthode de fermeture envisagée initialement (comblement des galeries d'accès avec du sel broyé), conduira à l'arrivée de polluants dans la nappe alluviale d'Alsace, vraisemblablement dans quelques siècles. Certaines substances sont susceptibles de se dissoudre complètement dans la saumure contenue dans le stockage, d'autres ne se dissolvent que partiellement suivant les lois de l'équilibre chimique. L'Ineris a calculé que le mercure aurait un impact préoccupant sur la nappe. Les études préliminaires de l'Ineris dont le COPIL a eu connaissance montrent sans ambiguïté qu'avec des hypothèses raisonnablement pessimistes, on peut calculer que la concentration en mercure devrait dépasser le seuil de potabilité actuellement en vigueur dans la nappe.

Ce pronostic, conséquence des évaluations de l'Ineris, est très défavorable. Une telle pollution serait inacceptable. Pour être précis, il faut mentionner qu'il s'agirait d'une pollution localisée qui ne concernerait pas, comme on a pu le dire, « la nappe phréatique d'Alsace, de Mulhouse à Francfort », mais un panache d'une longueur de l'ordre de quelques kilomètres en aval des puits par lesquels sortiraient les polluants.

Le devenir d'autres polluants, tels que l'antimoine et peut-être d'autres métaux lourds toxiques, doit aussi être évalué.

Concept de stockage illimité avec scellements et surveillance, sans retrait sélectif

Des dispositions techniques sont susceptibles de corriger le pronostic précédent.

Pose de scellements

Une première disposition technique doit être mise en œuvre si on décide du stockage illimité de la totalité ou d'une partie des déchets. Elle consiste, après avoir purgé les parois de leurs bancs décollés, à poser des scellements dans toutes les galeries qui relient le stockage aux puits, pour que les débits susceptibles de rentrer ou sortir du stockage deviennent très faibles. L'Ineris a proposé une solution de cette nature, consistant à poser dans les galeries vingt et un scellements de plusieurs dizaines de mètres de long à base de bentonite (cette argile gonflerait au contact de l'eau et appliquerait une pression sur les parois). Le dispositif serait complété par le creusement de deux galeries formant « court-circuit » hydraulique. Ces techniques sont inspirées de celles envisagées pour le stockage des déchets radioactifs. Leur efficacité dépend de la perméabilité et de la longueur du scellement, dont un choix judicieux permettrait de retarder l'arrivée de polluant puis de limiter sa concentration dans la nappe d'Alsace. L'Ineris a proposé des calculs de migration des polluants qui permettent de préciser ce choix.

Ces calculs ne prennent pas en compte des facteurs favorables (rétention des polluants par l'argile des scellements, sous réserve que la présence de saumure n'affaiblisse pas significativement cette propriété). La distance à la couche de potasse exploitée qui sera envoyée à l'avenir est de l'ordre de 23 à 25 m ; il faudra s'assurer que la couche de sel comprise entre la potasse et le stockage ne comporte pas de discontinuités pouvant livrer passage à la saumure.

Par ailleurs ces calculs comportent des incertitudes, inévitables quand on décrit des phénomènes étalés sur plusieurs siècles, de sorte qu'il faudrait en tout état de cause prendre des marges de conception significatives. Une difficulté est que les essais de validation de cette solution n'ont pas été définis à ce jour. Une étude de risque spécifique devrait être conduite pour estimer l'efficacité à long terme de ces techniques. On dispose pour cela d'un outil : la comparaison avec les techniques de scellement et les calculs de concentration retenus dans les mines allemandes où l'on envisage de re-stocker les déchets de Stocamine en cas de retrait. L'Ineris a amorcé une telle comparaison, mais sans disposer de toutes les données souhaitables.

Surveillance

La seconde disposition comporte plusieurs solutions basées sur le maintien d'une surveillance à long terme. Celle-ci doit s'exercer bien au-delà de quelques décennies.

Il a été proposé de laisser un puits ouvert. C'est une solution qui n'est pas réaliste car elle serait coûteuse et sa pérennité serait difficile à assurer.

La surveillance doit porter sur le niveau atteint par la saumure dans les vides miniers et sur la qualité chimique de la saumure. La remontée de la saumure dans la mine peut être surveillée en mesurant le niveau de l'interface air/saumure dans des sondages. Le dispositif de surveillance pourrait comporter trois forages tubés et cimentés au terrain, l'un sera implanté dans une zone déjà envoyée qui apportera de l'information immédiatement utilisable, l'autre près du stockage et un troisième en position intermédiaire. Cette solution a plusieurs avantages. Elle permet de mieux connaître la vitesse

d'ennoyage et de vérifier les modèles de calcul. Elle permet de détecter une anomalie telle qu'une accélération de l'évolution, peu probable mais non exclue.

Un programme de surveillance est indispensable quel que soit le devenir de Stocamine.

Les résultats du programme de surveillance devraient être périodiquement portés à la connaissance du public.

Enfin, lorsque le niveau de la saumure s'approchera de celui du stockage, ou du toit du sel, les sondages permettraient par pompage d'empêcher ce niveau de continuer à monter. Les estimations des vitesses données plus haut laissent présager que le débit à pomper pour maintenir la saumure à un niveau bas ne serait pas considérable. Un avantage serait d'éviter le ralentissement de la fermeture des vides miniers sous l'effet de la contre-pression de saumure. L'inconvénient majeur de cette solution est que la saumure ne sera vraisemblablement proche du stockage que dans un à quelques siècles. On doit donc supposer que la surveillance pourra être assurée au-delà de notre génération sans pouvoir prévoir sa durée. On peut noter cependant que des forêts ou des digues sont surveillées et entretenues en France, sans hiatus important, depuis plus de cinq siècles.

Concept de stockage illimité avec comblement des vides, surveillance et retrait sélectif

Ce concept consiste à compléter les dispositifs précédents en éliminant l'essentiel des produits jugés les plus critiques, notamment les déchets mercuriels, et peut être aussi d'autres déchets, tels que ceux contenant de l'antimoine. Pour beaucoup de membres du COPIL, cette solution constitue le meilleur compromis. Elle suppose qu'il existe une solution de re-stockage ou de traitement de la fraction des produits qui seraient retirés et, d'abord, qu'un retrait sélectif soit possible. Il semble que les déchets mercuriels soient relativement peu dispersés de sorte que le retrait sélectif de la plus grande partie d'entre eux serait possible. Il serait judicieux que les produits retirés soient recyclés si cela est possible (cas des déchets mercuriels par exemple) et non pas enfouis dans une autre mine de sel. ■

Conclusion

Les conclusions et recommandations du COPIL sont les suivantes :

Dans tous les cas il faut mettre au point dès que possible un système de surveillance de l'ennoyage. .

Retrait

Si on envisage la mise en œuvre du retrait, il faut examiner si on peut sélectivement laisser les déchets amiantés au fond, car cela améliorerait significativement la sécurité des personnels. Il faut s'assurer que des entreprises et des techniques sont disponibles pour conduire le retrait dans de bonnes conditions de sécurité et d'efficacité. Beaucoup de membres du COPIL estiment que le retrait des déchets du bloc 15 doit être proscrit ; quelques autres pensent qu'il faut commencer le retrait des autres blocs avant de juger si le retrait du bloc 15 est trop risqué. Il faut préparer une solution de repli (retrait incomplet, par exemple) au cas où l'on rencontrerait de trop grandes difficultés pendant les travaux et en étudier les conséquences, notamment dans le cas du bloc 15. On doit s'assurer que les progrès effectués dans le traitement des déchets permettent de réduire ou d'éviter le re-stockage. Sinon, il faut pouvoir garantir que les solutions de re-stockage sont supérieures à la solution de stockage illimité à Stocamine du point de vue de la sécurité et de la santé des travailleurs, de la sécurité et de la santé du public et de la protection de l'environnement. Pour cela il faudra s'assurer de la coopération complète des entreprises sollicitées, en matière d'analyse de la sécurité à long terme de

leur stockage. Pour cette évaluation, les autorités françaises en charge du problème pourraient utilement se rapprocher de leurs homologues allemands.

Stockage illimité

Au vu des analyses récentes, le stockage illimité tel que prévu à l'origine n'est pas acceptable. Il conduirait vraisemblablement à dépasser dans quelques siècles la concentration actuellement admissible dans la nappe au moins pour le mercure.

On peut améliorer le pronostic sur les concentrations atteintes à long terme en posant des scellements efficaces dans les galeries d'accès et en comblant les vides résiduels entre les colis de déchets et les parois. Selon les calculs effectués par l'Ineris, de tels dispositifs seraient susceptibles de ramener les concentrations de polluants à un niveau conforme à la réglementation. Le COPIL n'était pas en mesure, dans le temps imparti, de vérifier en détail ces résultats. Leur importance justifie que les calculs, les hypothèses et l'interprétation des résultats soient validés par un autre organisme. La pérennité à long terme de tels dispositifs n'est pas facile à démontrer, mais on pourra tirer profit de ce que c'est précisément sur ce type de démonstration que repose déjà la sécurité des mines allemandes où l'on re-stockerait les déchets. Il faut vérifier si cette solution ne peut être encore améliorée par un retrait sélectif de certaines substances, notamment le mercure.

Enfin il faut explorer l'éventualité que le système de surveillance, indispensable dans tous les cas, puisse être efficacement transformé, le cas échéant, en système de contrôle par pompage du niveau de la saumure dans les puits. Toutefois la mise en œuvre effective de cette mesure de réduction des risques sera repoussée dans un futur assez lointain.

En tout état de cause une réflexion sur la conservation de la mémoire devrait être conduite. Elle devra notamment permettre de se prémunir contre l'impact potentiel de la présence d'un stockage illimité à Stocamine sur la disponibilité des ressources naturelles de la région (eaux souterraines et de surface, géothermie, hydrocarbures, matériaux de construction et ressources minières).

Conclusion générale

Pour dix membres du COPIL, la pose de scellements efficaces après retrait sélectif du mercure (et peut-être d'autres polluants, après études complémentaires) et après mise en place d'une surveillance constitue le meilleur compromis pour la mise en œuvre de la fermeture de Stocamine.

Deux membres du COPIL estiment qu'un retrait partiel n'apporte pas d'avantages par rapport au déstockage intégral. Ils estiment que le retrait le plus complet possible est la bonne solution et pensent qu'un stockage intermédiaire, par exemple à Herfa-Neurode, de la fraction qui ne pourrait pas encore être retraitée constitue une bonne solution d'attente dans la perspective d'une modification de la politique européenne de gestion des déchets qui conduirait à retirer les déchets stockés en mine de sel.

Dans tous les cas il faudra donner une très haute priorité à toutes les études et à leur mise en œuvre, et il faudra les conduire simultanément, pour éviter un délai supplémentaire pendant lequel les terrains continueront d'évoluer. On remarque que le stockage illimité partiel est une solution de repli probablement inévitable en cas de difficulté pendant le retrait, et que le problème du devenir des déchets retirés se pose aussi en cas de stockage illimité avec retrait sélectif. Il y a donc un tronc commun d'études urgentes et indispensables pour les deux options ; elles doivent être commencées immédiatement.

En conclusion, il n'y a pas de solution idéale immédiatement applicable au problème posé par Stocamine. Le COPIL s'est efforcé de poser ce problème de façon suffisamment claire et complète

pour que les citoyens et les autorités disposent des éléments techniques et scientifiques qui permettent de choisir une solution raisonnée.

OPTION DU RETRAIT : MISE EN ŒUVRE DE LA REVERSIBILITE

Notion de réversibilité

La notion de réversibilité d'un stockage de déchets dans le sous-sol a été introduite dans les lois françaises pour les déchets industriels ultimes et pour les déchets radioactifs. Un stockage reste réversible pendant des durées de 30 ans et 100 ans, respectivement. Dans le cas des déchets industriels, depuis l'amendement du 3 février 2004, le code de l'environnement prévoit que le stockage illimité peut être autorisé après 25 ans ou en cas d'inactivité depuis un an.

Pour les déchets industriels, les textes ne définissent pas de manière très précise la notion de réversibilité. En fait, les notions de réversibilité ou d'irréversibilité n'ont pas de signification absolue. Même si la mine était abandonnée aujourd'hui et ses puits remblayés, il ne serait pas techniquement inconcevable d'aller retirer les colis de stockage dans une cinquantaine d'années. Il est manifeste néanmoins que le coût et les risques pour le personnel concerné seraient considérables.

Il vaut mieux donc parler, par exemple, de stockage « facilement réversible », « peu réversible », « très difficilement réversible ». Un stockage facilement réversible peut être défini comme un stockage pour lequel le coût et les risques du retrait sont comparables à ceux acceptés pendant le dépôt des déchets. Lors du déstockage de 173 colis de déchets du bloc 11 contenant des PCB, en 2001-2002, la réversibilité était « facile », même si le retrait a duré 7 mois. Plusieurs conditions sont nécessaires pour qu'un stockage reste facilement réversible. L'étiquetage et la localisation des déchets ne doivent laisser aucun doute. Les voies d'accès doivent conserver un état satisfaisant. On doit avoir ménagé entre les parois, le toit et les colis (on suit la définition de BMG, un colis est un conteneur ou ce qui est posé sur une palette) un jeu suffisant pour permettre une prise facile des colis par les engins de manutention. Ce jeu doit avoir été calculé avec une marge, pour qu'il soit conservé malgré les mouvements inévitables des terrains pendant la période de réversibilité. L'emballage des déchets, big-bags ou fûts, doit avoir, pendant cette même période, gardé les qualités nécessaires à une manutention facile et sûre. Si on doit déstocker un grand nombre de colis, il faut autant que possible que les colis de déchets de même nature aient été placés au même endroit ; sinon, il faut disposer au fond ou au jour d'une capacité d'entreposage provisoire suffisante pour y opérer le tri des colis avant expédition. Enfin, lorsqu'il s'agit de retirer un grand nombre de colis sans intention de les re-stocker sur place, une autre solution de stockage doit exister pour les colis retirés.

Notamment pour les déchets de classe C0 (près de la moitié du total stocké à Stocamine), qui, en France, doivent être stockés en mine, *l'alternative de fait n'est pas entre le retrait et le stockage illimité à Stocamine, mais entre le stockage illimité à Stocamine et le stockage illimité dans une mine allemande (Untertagedeponie UTD)*. Pour décider d'un retrait suivi d'un stockage dans un autre centre, il faut vérifier que le bilan environnemental global est favorable.

Il faut aussi noter que dans le cas de Stocamine, le choix n'est pas non plus nécessairement entre un déstockage complet ou un stockage illimité de tous les déchets. Il n'est pas exclu que l'on parvienne à faire une distinction entre certains déchets (les déchets amiantés, par exemple) pouvant rester dans le sous-sol après ennoyage de la mine sans risque pour les générations futures et d'autres déchets dont l'analyse de risque montrerait qu'ils doivent être retirés du sous-sol.

Le stockage est devenu moins réversible

L'impression générale du COPIL est que Stocamine a été géré dans la perspective d'un stockage illimité. Le COPIL ne peut que constater que, même hors du cas particulier du bloc 15, le stockage est devenu au cours du temps de moins en moins facilement réversible en raison, notamment, des mouvements de terrain mais aussi de la dégradation du conditionnement des déchets, légèrement visible sur le front des galeries du stockage, mais dont l'ampleur reste à évaluer.

- L'étiquetage et la cartographie des colis paraissent avoir été faits de manière correcte. Lors du déstockage partiel de 2001-2002 (bloc 11), la banque de données a permis de retrouver facilement les colis à déstocker.
- Le massif a travaillé dans les voies doubles de desserte ; le pilier laissé entre les deux voies a dû être renforcé par des boulons accompagnés de feuillards. Stocamine a mis en évidence par endoscopie des décollements locaux à 50 cm dans le toit de certaines galeries d'accès. Mais l'accès au stockage pour les engins de manutention est conservé, éventuellement au prix de travaux miniers classiques.
- La section des galeries où sont entreposés les déchets a diminué, quoiqu'assez inégalement, et les parois ou le toit des galeries sont, par endroits, venus en contact avec les colis. Les mesures mettent d'ailleurs en évidence une convergence horizontale (réduction de largeur) des galeries de près de 8% depuis leur creusement.

Les piliers carrés encore visibles aux entrées des galeries sont écaillés sur une profondeur au moins métrique, notamment aux coins.

La hauteur des galeries s'est dans certains cas considérablement réduite sous l'effet conjoint du soulèvement du mur (la surface du sol, en termes miniers) et de la flexion du toit. Le soulèvement du mur (en termes miniers, le soulèvement de la surface du sol) est important à plusieurs endroits. Dans les blocs 15, 25 et 26 il peut atteindre 30 cm. Dans les blocs 15 et 25 les mesures présentées par l'Ineris montrent qu'il contribue pour 2/3 environ au rapprochement du mur et du toit. Il s'accompagne localement d'une fracturation du sel. Il est vraisemblablement associé au décollement des premiers bancs de sel constituant le mur. Le soulèvement du mur est en général maximal au milieu de la galerie ; dans certaines galeries c'est probablement ce soulèvement qui a incliné les big-bags qui touchent maintenant les parois.

Un mouvement analogue affecte le toit. Les mesures dépouillées par l'Ineris montrent qu'il est d'ampleur comparable au soulèvement du mur dans les blocs autres que les blocs 15 et 25 ; les bancs du toit travaillent à la flexion mais, comme le tassement des piliers s'accompagne d'un gonflement, ce gonflement accentue la flexion en imposant aux extrémités des premiers bancs du toit une sollicitation horizontale et un mouvement horizontal vers le centre de la galerie. Dans plusieurs galeries contenant des déchets, le contact est déjà établi localement entre le toit et les colis. Les mouvements du toit sont très visibles dans les galeries qui ne contiennent pas de déchets, et surtout dans celles creusées à -25 m (au lieu de -23 m) sous l'exploitation de potasse, en raison d'un toit plus feuilleté (blocs 15, 16, 25, 26, dont seul le bloc 15 contient des déchets) et de la présence d'un stot (zone non exploitée de la mine) dans l'exploitation de potasse sus-jacente, qui doit concentrer les contraintes verticales (le stot porte et transmet plus que sa part du poids des terrains). Du fait du léger pendage des terrains, et de la méthode de

creusement avec machine à attaque ponctuelle, le toit des galeries n'est pas constitué du même banc sur toute sa longueur et, à l'interface entre deux bancs successifs, il se forme un « coin » qui peut être instable. Certaines galeries (vides) sont interdites d'accès en raison des risques manifestes de chute du toit. Quatre bancs superposés au toit de ces galeries ont fléchi, ils sont au moins partiellement décollés et des fractures y sont bien visibles. Le cas du bloc 15, qui combine un toit feuilleté à -25 m et les effets thermomécaniques de l'incendie, est discuté en détail plus loin.

Dans toutes les galeries, les deux parois verticales (« parements ») se sont rapprochées avec des vitesses de déplacements horizontaux d'ampleur comparable à celle des déplacements du toit et du mur. Les galeries contiennent en général deux couches superposées de big-bags et dans certaines galeries le contact est établi entre les parements et les colis de la couche supérieure de big-bags. De ce fait, ces colis subissent une pression sans doute encore faible, mais qui croîtra avec le temps et rendra plus difficile, voire impossible, la prise des colis sans travaux miniers importants de purge et de soutènement des galeries au fur et à mesure de l'avancement du retrait.

L'ensemble de ces mouvements, verticaux et horizontaux, se poursuivront dans le futur, assurant progressivement un contact généralisé entre la galerie et les colis. Les vitesses de convergence horizontale (rapprochement des deux parois verticales) et de convergence verticale (rapprochement du mur et du toit) ont été mesurées aux extrémités de chacune des trois allées qui divisent chaque bloc, ces vitesses sont du même ordre de grandeur, horizontalement et verticalement, et significativement plus importantes à l'extrémité proche de la voie double centrale qu'à l'extrémité proche du massif vierge dont le voisinage soulage les piliers. Aux extrémités de galerie proches du massif vierge, la vitesse de convergence moyenne est de l'ordre de 1,5 cm par an. Les valeurs les plus fortes sont observées au sud du stockage, à proximité des blocs 15 et 25 avec des vitesses voisines de 4,5 cm par an contre des vitesses de l'ordre de 3 cm par an mesurées pour les autres blocs à proximité de la voie double centrale. Ces valeurs, à rapporter à une hauteur de 2,8 m et une largeur de 5,5 m, mesurées près des coins de piliers, surestiment peut-être un peu les vitesses moyennes au milieu des allées. Des valeurs plus élevées sont mentionnées dans le rapport de Mica Environnement daté d'avril 2004 mais elles correspondent au démarrage des mesures à proximité des blocs 15 et 25 alors que l'état stationnaire à vitesse constante n'est pas encore établi. Toutes les valeurs indiquées ci dessus correspondent à l'état actuel des mesures tel qu'il est exposé dans le rapport de l'Ineris de décembre 2010. Dans le même rapport l'Ineris indique les valeurs extrêmes des vitesses de convergence verticale mesurées (0,21% par an pour une station du bloc 11 proche du massif vierge et 1,93% par an pour une station du bloc 15 proche de la voie double centrale) et évalue à 0,92% par an la vitesse moyenne de fermeture du stockage; cette vitesse moyenne est analogue à la vitesse de convergence calculée pour les voies doubles à la profondeur du stockage (550 m) et l'Ineris en déduit une estimation du temps de fermeture complète des voies doubles de l'ordre du siècle. La même évaluation s'appliquerait au stockage dans l'hypothèse fictive où toutes les galeries seraient vides.

- Tous les colis n'ont pas conservé leurs qualités initiales. Ils comprennent des palettes en bois portant chacune un big-bag, pour un total de 53 900 big-bags; 8 800 palettes portant en général 4 fûts, parfois 3 ; 1 300 palettes filmées pour les déchets amiantés ; et 200 conteneurs. Le contenu des colis est en principe solide mais « *on ne peut exclure qu'un lot indiqué comme solide comprenne également une partie pulvérulente* » (Ids). Il n'est pas impossible qu'avec le temps, dans les conditions sèches et salines du stockage, la matière composant les big-bags

soit devenue cassante (BMG) ; Stocamine (note de H. Haegelin) indique que lors du déstockage du bloc 11 « on note une détérioration du big-bag [...] ce qui entraîne des déchirures ». Par inspection visuelle directe, depuis les fronts de section initiale 5,5 m x 2,8 m, on ne peut que juger de l'état d'une première couche de 10 big-bags disposés sur deux niveaux superposés : La majeure partie de ces big-bags visibles est en bon état, néanmoins plusieurs d'entre eux présentent des trous et quelques-uns sont déchirés. Toutefois cette première couche ne constitue qu'une très faible proportion de la totalité des colis stockés dans une allée, dont la longueur totale est de 225 m. Il est donc très difficile de faire une estimation statistique fiable de la proportion de colis endommagés. On voit aussi un fût au front d'une allée qui présente des coulures, signe manifeste de la sortie d'un mélange de produits stockés avec le plâtre placé dans le fût.

Même si l'estimation de la proportion de colis endommagés n'est pas possible, l'expérience du déstockage partiel de 2001-2002, a montré que 30% des palettes reprises étaient détériorées et que 10% des big-bags se sont déchirés pendant leur prise par les fourches des engins de manutention (note de Haegelin). Même si ces constatations doivent inciter à améliorer autant qu'il est possible les méthodes de manutention dans l'hypothèse d'un retrait des colis, il n'en reste pas moins qu'un certain nombre de colis, difficile à préciser pour l'instant, sont endommagés ou susceptibles d'être endommagés pendant leur retrait.

- La question de l'exutoire pour les colis retirés est abordée plus loin.

Incertitudes sur la nature des déchets

Doutes créés par l'incendie du bloc 15

Après l'incendie du bloc 15, détecté le 10 septembre 2002, on a rapidement incriminé des colis qui y avaient été descendus quelques semaines plus tôt. Ces colis provenaient de l'incendie d'un entrepôt de produits phytosanitaires. Les gravats, placés dans des big-bags, contenaient de l'amiante provenant du toit de l'entrepôt qui s'était effondré pendant l'incendie. A leur arrivée à Stocamine aucun de ces colis amiantés n'a été ouvert pour vérification, Stocamine ne disposant pas de l'équipement nécessaire. Quelques-uns de ces colis ont été ouverts après l'incendie. Ils étaient non conformes aux prescriptions de l'arrêté d'autorisation de stockage (présence de papier, de cartons et d'une phase liquide). Il en est résulté une suspicion générale, aisément compréhensible, portant sur la totalité du dispositif de réception des colis depuis l'origine ; d'autant que le stockage contient une assez grande quantité de colis de déchets amiantés (4000 tonnes, 9% du total) qui, pour les mêmes raisons que dans le cas du bloc 15, n'ont pas été ouverts pour vérification.

Cette suspicion, si elle se maintenait, pourrait peser lourdement sur les deux solutions envisagées, stockage illimité ou retrait de déchets. Dans la première option, il faudrait prendre des hypothèses suffisamment majorantes dans les calculs d'impact à long terme. Dans la seconde option, les colis retirés devraient être acceptés par un nouveau centre d'accueil, CET1 en France ou mine de sel en Allemagne. Ces centres ont défini des normes d'acceptation strictes qui ne peuvent s'accommoder d'incertitudes sur la nature exacte des déchets à stocker. De plus, en présence d'incertitudes sur le contenu des colis, le chantier serait plus difficile puisqu'il faudrait plus souvent prendre les précautions maximales.

Le COPIL s'est donc attaché à établir l'étendue de ces incertitudes.

Qualité du dispositif de réception des colis

L'entreprise Séché, devenue actionnaire de Stocamine après le rachat de l'entreprise Tredi, envoyait des colis de déchets à Stocamine. Avant l'incendie du bloc 15, certains des colis envoyés par Séché avaient été refusés par Stocamine après leur contrôle à la réception. Puis Séché a adressé à Stocamine des big-bags estampillés amiante résultant de l'incendie de l'entrepôt. Ces colis n'ont pas été ouverts, comme c'était le cas pour tous les big-bags contenant des déchets amiantés reçus à Stocamine. Il est rapidement apparu toutefois que ces colis particuliers ne pouvaient être comparés aux colis amiantés couramment reçus, dont le conditionnement est réalisé par des entreprises certifiées. La fiche d'acceptation préalable ne mentionnait pas la nature des déchets. A l'arrivée des déchets sur le site, le personnel a immédiatement réagi à l'odeur nauséabonde et aux suintements de liquide émanant de ces big-bags et a alerté le directeur et la DRIRE (dénomination de la DREAL à l'époque). Une association alertée par les riverains est également intervenue. Le Comité d'Hygiène de Sécurité et des Conditions de Travail a été réuni et a pointé les anomalies constatées, qui auraient dû conduire au refus des déchets. L'ingénieur chimiste avait alerté sur la non-conformité des produits mais n'a pu se rendre chez l'entreprise d'origine des déchets en raison de l'opposition du directeur de Stocamine, qui a finalement décidé de descendre les colis.

Le COPIL a tiré de ces constatations que, dans ces circonstances, le dispositif de réception des déchets avait en fait correctement fonctionné et que la descente des colis incriminés résultait directement d'une décision prise en contradiction avec les conclusions tirées des observations faites lors de la réception des colis.

Le COPIL estime que les colis non conformes stockés dans le bloc 15 constituent manifestement un cas particulier qui, dès l'origine, avait été repéré par le dispositif de réception et que les incertitudes sur la nature des autres déchets stockés sont réduites. L'arrêté préfectoral prévoyait plusieurs niveaux de contrôle susceptibles d'assurer un haut niveau de confiance dans la conformité des colis acceptés. Chaque colis faisait l'objet d'un examen visuel et d'une vérification des documents l'accompagnant. La non radioactivité était vérifiée. Un contrôle du contenu (explosimètre, caractéristiques physiques, conditionnement intérieur) était effectué à raison d'un échantillon par lot. Des analyses et tests physico-chimiques complets étaient réalisés également à raison d'un échantillon par lot. De plus un échantillon par lot était placé dans l'échantillonnaire au fond. Plusieurs constatations, dont le cas du bloc 15, incitent le COPIL à ne douter en aucune manière ni de l'attachement du personnel chargé de la réception des déchets au respect des procédures ni de sa conscience professionnelle. L'étiquetage et la cartographie ont été correctement faits, comme en témoigne le déstockage du bloc 11, au cours duquel le retrait partiel de 173 colis a été effectué. Ce retrait faisait suite à une observation du personnel qui avait relevé la présence de PCB en quantité supérieure à la norme. Plus généralement, tous les colis ont été échantillonnés, et certains ont été refusés après échantillonnage. Entre juin 1999 et août 2002, on note 20 refus de lots, représentant 250 tonnes environ, réexpédiés suite à la constatation d'une non-conformité (dégazage, radioactivité, taille et conditionnement des colis).

Dispositions à prendre en cas de retrait

Stocamine est devenu responsable des déchets qu'il a stockés. Si l'on décidait un retrait partiel ou total en direction d'un autre centre de stockage en France, un certificat d'acceptation préalable devrait être sollicité par Stocamine auprès du centre d'accueil (la procédure est vraisemblablement analogue dans le cas de l'Allemagne). Celui-ci est accordé après analyse de la conformité de la nature et de la composition des colis à la liste des déchets acceptés par le centre. Cette analyse est effectuée, suivant les cas, par le centre d'accueil ou par le producteur (Stocamine dans le cas présent). Dans ce dernier cas, Stocamine pourra tirer parti des analyses déjà faites par les producteurs d'origine ou à la réception

des colis à Wittelsheim. Toutefois l'utilisation de ces données déjà disponibles ne suffira peut être pas à lever la suspicion créée par l'incendie du bloc 15, même si l'on a de fortes raisons de penser qu'elle ne concerne pas le reste du stockage.

Il sera vraisemblablement souhaitable de remonter l'échantillothèque à la surface. Pour les déchets non amiantés, une analyse par échantillonnage doit permettre de garantir la conformité du contenu des colis telle qu'elle a été déjà vérifiée lors de leur réception. Cet échantillonnage doit être suffisamment important et aléatoire, mais il pourra tenir compte de la localisation géographique des colis dans le stockage.

Les déchets amiantés (environ 4000 tonnes) posent un problème particulier car ils n'ont pas été ouverts lors de leur réception. Il faudra ouvrir les colis par échantillonnage pour en vérifier la composition. Un classement des colis par origine permettra peut être d'améliorer l'efficacité de l'échantillonnage (la présence d'agents chimiques dangereux est moins probable pour les déchets provenant du secteur du bâtiment) mais une ouverture au moins par lot semble indispensable. En l'état actuel, Stocamine n'est pas équipé, ni autorisé, pour procéder à une telle vérification.

Risques associés au retrait des déchets

Les risques principaux du chantier de retrait sont la chute de blocs ou d'écaillles et l'épandage du contenu d'un colis

Mise en état des chantiers

Lors du retrait des déchets, les premières préoccupations seraient la mise en état des chantiers, pour assurer le déplacement des engins et du personnel, et la mise en sécurité, vis-à-vis du risque de chutes de blocs du toit et d'écaillles des parements. Elles comportent le rabassenage (remise à l'horizontale) du mur, qui sera souvent nécessaire (il l'a été lors du retrait de colis du bloc 11), le purgeage du toit et des parements et la pose de boulons pour assurer leur tenue. Les travaux nécessaires devraient vraisemblablement être plus importants vers le sud et dans la partie centrale du stockage. C'est un travail minier classique, dont des mineurs expérimentés ont l'habitude, mais il sera rendu plus difficile par la protection individuelle vis-à-vis des risques chimiques que devront porter les mineurs dès que la zone est ou risque d'être contaminée. Le bloc 15, qui a connu des perturbations mécaniques difficiles à préciser, mais vraisemblablement intenses, posera un problème très difficile, d'autant que le port d'une protection lourde y est *a priori* indispensable.

Prise des colis

La prise des colis pourra s'effectuer par engin chargeur pour les fûts, conteneurs et palettes filmées. Toutefois, des difficultés sont prévisibles notamment dans les quelques cas où les galeries ont déjà beaucoup convergé et, évidemment, s'il y a des colis endommagés. Lors du déstockage du bloc 11, en raison de la faible hauteur de toit, il avait fallu utiliser un chariot de petit gabarit, dont le contenu était ensuite repris et chargé sur un camion de transport vers la recette (chambre de réception et entreposage des matériels au pied du puits) ou vers une recoupe pour entreposage. Les big-bags de la couche inférieure, posés sur leur palette, pourraient en principe être déplacés par engin à fourche, mais l'expérience du retrait du bloc 11 n'encourage pas à choisir cette solution. Pour la couche supérieure, la nécessité de caler les palettes de la rangée supérieure pour les mettre en position horizontale avant manutention a été un facteur important de pénibilité selon H. Haegelin (note Stocamine). La saisie par les oreilles paraît délicate en raison des déchirures possibles et du manque d'espace, au moins au toit de certaines galeries. La meilleure méthode semble être la prise par pince, utilisée à Herfa-Neurode ou dans le cas de l'assainissement du stockage de déchets spéciaux de Saint-Ursanne, dans le Jura suisse.

Nécessité du reconditionnement des colis

Un examen visuel immédiat des colis sera nécessaire pour décider de la nécessité d'un reconditionnement. L'emploi d'un sur-big-bag pour le colis entier est la solution proposée. Il est préférable (notamment dans le cas des déchets amiantés) de reconditionner immédiatement sur place. H. Haegelin indique (en 2004) que « la dépose des colis superposés [du bloc 11] entraîne parfois un reconditionnement partiel (mise en place d'un 2^{ème} big-bag) ou total lors de l'épandage des déchets par renversement du big-bag (pelleter le produit dans un autre big-bag) ... Ces opérations [...] sont principalement dues à la chute et à la déchirure de big-bags et occasionnées par un manque de hauteur ou des conditions de reprise très défavorables». Selon BMG, le reconditionnement ne serait pas toujours souhaitable car il entraînerait un risque supplémentaire. Dans tous les cas le ré-emballage immédiatement après prise est nécessaire pour les déchets C0, les déchets amiantés et tous les colis endommagés (BMG), et suivant la demande du futur stockeur. Le reconditionnement concernerait *a priori* au moins 35 000 big-bags. Stocamine s'oriente toutefois vers la solution du reconditionnement systématique, qui présente le gros avantage d'éviter d'avoir un choix à effectuer au cas par cas dans les conditions déjà compliquées du chantier.

Conditionnement

Les déchets doivent en principe être conditionnés. Le type de conditionnement doit être adapté au type du déchet et aux demandes du stockage qui les accueillera. Normalement, on peut utiliser des big-bags, des fûts en tôle d'acier ou des conteneurs en tôle d'acier, dont les dimensions doivent avoir été fixées à l'avance. Un film plastique est quelquefois aussi utilisé pour le reconditionnement. Dans le cas d'une UTD (Untertagedeponie) allemande, le type de conditionnement est fixé obligatoirement dans le cadre de la procédure d'autorisation.

Le conditionnement lors de la livraison au stockage d'accueil doit être dans un état intact et propre à l'extérieur. Il doit porter des inscriptions univoques et durables. Pour les déchets qui ont été classés comme substances dangereuses, les conditions concernant le transport des substances dangereuses doivent être de plus respectées.

Les déchets dont le conditionnement est endommagé doivent être reconditionnés sur place, si possible au fond de la mine, avant qu'on puisse les transporter au stockage d'accueil ou à l'installation de prétraitement. Dans le cas de Stocamine, on s'attend à ce que la plupart des conteneurs de déchets doivent être reconditionnés. Déjà lors de la récupération des différents conteneurs de déchets, il faudrait réaliser systématiquement un conditionnement provisoire des conteneurs ou des palettes, par exemple avec un film approprié.

Ce conditionnement provisoire aide à éviter une libération de polluants dans le futur traitement. Ainsi il sert également de mesure technique pour la protection des travailleurs (voir le paragraphe « Epanchage du contenu d'un colis »).

Pour les déchets qui sont déjà sortis de leur conditionnement, ainsi que pour le sel contaminé, un conditionnement approprié (big-bags, fûts) est à prévoir afin de garantir au moins une récupération sécurisée et le transport jusqu'au point de conditionnement définitif.

Méthodes de conditionnement des déchets

Dans le cas d'un retrait des déchets de Stocamine, il faut vérifier si les critères d'acceptation du centre de stockage qui les accueillera (centre de stockage français de classe C1, UTD allemande de classe C0) sont respectés. Pour ce faire, tout d'abord, la documentation existante des déchets peut être consultée, si les conteneurs individuels peuvent toujours être identifiés et les étiquettes facilement

lisibles. Des analyses pourront être nécessaires. Le programme analytique devra alors être défini en concertation avec le centre de stockage destinataire.

Certains déchets pourraient nécessiter un traitement préalable avant acceptation par le centre de stockage destinataire. La nécessité et la nature du traitement seront alors définies par le centre destinataire. Le traitement devra être effectué par un site autorisé en France ou en Allemagne. A titre indicatif, on rappelle que les déchets qui ne respectent pas les critères d'acceptation des centres de stockage allemands doivent être préparés avant le transport en employant les méthodes décrites ci-dessous, dont certaines (celles relatives aux liquides et aux produits inflammables, hors peut-être cas du bloc 15) ne concernent *a priori* pas le cas de Stocamine :

Les déchets inflammables ou les déchets dans lesquels l'on soupçonne la présence d'agents organiques toxiques peuvent subir un traitement thermique dans une centrale d'incinération appropriée. En Allemagne par exemple, il y a de telles installations qui traitent également des déchets d'autres pays membres de l'UE. Les résidus de l'incinération doivent donc être de nouveau évalués et éliminés compte tenu de leur teneur en polluants.

Dans le cas présent, un traitement thermique serait possible pour les déchets contenant une part élevée de polluants organiques, et probablement également pour les déchets concernés par l'incendie dans le bloc 15, pour lesquels il faut partir de l'hypothèse qu'ils sont inflammables. Un transport direct des déchets issus du bloc 15 vers une UTD allemande ne sera probablement pas possible.

Les déchets liquides non inflammables peuvent, selon la nature des substances toxiques qu'ils contiennent, être consolidés dans une centrale de traitement physico-chimique appropriée (par exemple avec du ciment) ou être concentrés, séchés, précipités ou nettoyés à l'aide de filtre à charbon actif ou membrane échangeuse d'ions.

Le mercure pourrait être récupéré par distillation puis, soit recyclé, soit évacué via une filière durable. L'amiante peut être vitrifiée à des coûts de l'ordre de 1200 à 1500 € par tonne.

Epandage du contenu d'un colis

Le risque majeur pendant ces opérations (et à un moindre degré pendant le transport ultérieur des colis) est l'épandage des produits contenus, soit du fait d'un défaut important préexistant, soit du fait d'une chute de colis lors de la prise et de la manutention. Les chutes de colis ne semblent pas avoir été très nombreuses pendant le stockage, mais le risque est sans doute *a priori* supérieur pendant le retrait, car les conditions de travail seront plus difficiles. Il y a eu des chutes pendant le déstockage du bloc 11, mais on ne dispose pas de statistique. L'aspiration pneumatique du contenu d'un colis en cas d'épandage a été envisagée mais il n'existe pas d'équipement adapté. Le transvasement à la pelle n'est pas exclu dans certains cas. Il est inévitable qu'une ou des personnes se trouvent alors dans le nuage de poussières (Ids, 2006, p10). Il paraît difficile de prévoir quelles seraient les concentrations dans l'air des composés toxiques lors d'un épandage (Ids) et des marges de sécurité doivent être prévues.

Hormis une conception correcte des opérations de manutention, la protection contre le risque d'épandage repose sur des moyens d'aspiration et le port d'équipements individuels.

Moyens d'aspiration

Selon BMG, le débit de ventilation existant (28 m³/s) sera dirigé vers la zone à déstocker mais il doit être complété par un système local d'aspiration (de l'ordre de 10 m³/s) des effluents des moteurs et, le cas échéant, des fibres d'amiante et des poussières résultant d'un épandage. Le bureau d'étude BMG a

envisagé deux hypothèses, système d'aspiration/filtration en bout de bloc en cours de déstockage, du côté opposé à celui où le travail a commencé, ou au contraire au plus près du point de déstockage.

L'aérage en bout de bloc est plus simple, comporte des opérations moins nombreuses et assure des conditions de travail plus faciles du point de vue de la chaleur et du bruit. Mais il présente plusieurs inconvénients. Dans le cas des blocs 11, 12, 13 et 14, il faudra placer le système d'aérage en zone rouge (voir paragraphe « cas du bloc 15 »), où des précautions particulières sont nécessaires. Le flux d'air du point de déstockage vers le bout de bloc peut être difficile à contrôler, notamment vers les culs de sac et dans les galeries où la réduction de section est importante. Surtout, en cas d'épandage, il y a un risque de dispersion de particules jusqu'au bout du bloc (par l'amiante, notamment) et possibilité de contacts entre produits incompatibles, ce qui exigera des opérations supplémentaires de nettoyage et de contrôle et le port d'équipements plus lourds pendant plus longtemps.

L'aérage local au front de travail évite plusieurs de ces inconvénients et assure une protection plus grande car le nombre de colis contaminés est inférieur en cas d'épandage. Toutefois, hormis la réduction du volume disponible, la chaleur et le bruit accrus, le système d'aspiration/filtration est lourd (dimensions 9 m x 2,6 x 2,4 m) ; son déplacement périodique et l'ajout régulier de longueurs de canars (tuyaux souples dans lesquels l'air circule) compliqueront la tâche en comparaison de ce qu'elle était pendant le stockage.

Il est possible toutefois (BMG) d'utiliser successivement les deux méthodes en privilégiant l'aspiration locale lorsque les risques d'épandage sont plus importants et en conservant dans les autres cas l'aspiration en bout de bloc.

Equipements individuels

Les travailleurs seront au minimum équipés d'un équipement de protection individuelle adapté aux produits, combinaison et masque à poussière (Le masque P2 est conseillé par IdS pour les risques faibles ; la protection mais aussi l'effort respiratoire sont plus grands avec le P3). Cet équipement de base léger (masque à poussière, bottes de sécurité et combinaison jetable) ne constitue pas une protection absolue vis-à-vis de tous les produits et, en suspicion d'épandage ou en cas d'épandage avéré, un changement d'équipement est impératif, toute la surface de la peau doit être couverte et un masque adapté à chaque risque doit être porté. IdS suggère : masque complet avec filtre combiné BNOP pour les sels de trempe (cyanures, Cd, Ba) ; pour les sels de trempe non cyanurés, une version allégée de BNOP ; masque BP pour les déchets arséniés, masques P pour les déchets chromiques, masque HgP pour les déchets mercuriels, masque ABP pour les terres polluées, pour lesquelles l'information disponible est incomplète, masque P pour les résidus de l'industrie et les déchets amiantés. Cette variabilité peut être difficile à gérer pour les opérateurs lors des travaux et pose un problème en opération et on pourra préférer une option plus lourde, combinaison étanche et appareil respiratoire autonome, qui présente l'avantage d'offrir la protection la plus élevée et évite d'avoir à faire trop fréquemment des choix délicats, mais qui a l'inconvénient de compliquer significativement les tâches : les conditions de température risquent d'engendrer un stress thermique, la visibilité est moins bonne, l'audition aussi et la gêne et la fatigue supplémentaire limitent la durée possible de travail par poste. Le choix d'un bon compromis entre sécurité et conditions de travail dans des situations variées avec des aléas possibles et peut-être en présence d'incertitudes est une difficulté potentielle du chantier de retrait. Des membres du COPIL estiment toutefois que l'analyse d'IdS est inutilement compliquée, que le système lourd de type ARI n'est pas adapté et que les systèmes à adduction d'air sont les moins pénibles à porter et les plus efficaces.

Incendie

Du point de vue du risque d'incendie, le risque d'auto-inflammation est *a priori* faible (IdS) ; on a déjà eu de mauvaises surprises mais on dispose maintenant du recul permettant de dire que les colis sont stables. Les sources potentielles sont les installations techniques et électriques. Les moyens de transport et manutention sont souvent à l'origine des incendies en mine ; ils ne doivent pas se propager aux palettes puis aux déchets. La formation des personnels et l'équipement devront faire l'objet d'une attention particulière.

Dispersion des déchets—cas des colis amiantés

Les déchets stockés dans Stocamine appartiennent à 13 catégories différentes. Si ces différentes catégories sont très dispersées au sein du stockage, le retrait pourrait être rendu sensiblement plus compliqué. D'une part, il serait pratiquement obligatoire de prévoir dans tous les cas pour le personnel la protection individuelle la plus lourde. D'autre part il est vraisemblable que le centre qui accueillerait les déchets déstockés demandera que ceux-ci soient regroupés par lots homogènes, de sorte qu'un tri devrait être opéré à Stocamine. Ce tri exigerait la mise en place d'un entreposage tampon au fond et au jour avec l'inconvénient de manipulations supplémentaires. Si les colis sont très dispersés, il faudra en déplacer beaucoup avant de pouvoir constituer un lot homogène, et la capacité d'entreposage devra être importante. Le COPIL a examiné plus particulièrement le cas des déchets amiantés.

Les déchets amiantés posent un problème très particulier. Ils représentent environ 4 000 tonnes, soit 9% du total. Le risque associé à ces déchets est l'entrée dans le système respiratoire de fibres d'amiante. En cas de stockage illimité, après ennoyage, les déchets amiantés ne présenteraient donc plus de danger.

En revanche, en cas de retrait, ils présentent un risque sévère pour les travailleurs si des fibres d'amiante sont mises en suspension dans l'atmosphère. Il faut envisager de les laisser au fond, s'il apparaît qu'on peut ainsi diminuer les risques pour les travailleurs sans engendrer de complication supplémentaire pour le chantier.

Dans les zones qui contiennent des déchets amiantés, que ceux-ci soient remontés ou qu'on les abandonne au fond, des précautions particulières devront être prises. Il est difficile d'anticiper si l'inspection du travail considérera qu'il s'agit de « travaux de retrait et de confinement » ou « d'activités et interventions sur des matériaux ou appareils susceptibles de libérer des fibres d'amiante », situations qui relèvent respectivement des articles 4412-114 et 4412-139 du Code du travail. Dans le premier cas (article 4412-114), le plus difficile, un plan de retrait spécifique, soumis à l'inspection du travail, devrait alors être établi. La zone devrait être confinée et le travail devra faire appel à des entreprises et des personnels habilités à intervenir sur ce type de déchets, dont il faudra coordonner le travail avec les personnels possédant la compétence minière, ce qui pourra requérir une dérogation. Le plan de retrait comporterait vraisemblablement, pour ces zones particulières, le port d'équipements de protection individuelle lourds (pour les salariés équipés d'appareil à adduction d'air le travail est limité à 6 heures par jour, dont moins de 2,5 heures en continu), un système de captage spécifique, et typiquement un travail un jour sur deux pour permettre le dépôt des fibres suivi d'une aspiration des parements et des colis, avec des postes limités au plus à deux fois deux heures par personne. La teneur en fibres serait vérifiée sur le chantier et les valeurs mesurées communiquées au médecin du travail et au CHSCT (Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail) et tenues à disposition de l'inspection du travail et de la Caisse Régionale d'Assurance Maladie. Le dépassement de la valeur limite d'exposition (0,1 fibre/cm³/heure) entraîne l'arrêt du travail. Dans le second cas (article 4412-139) on ne serait pas contraint de passer par une entreprise certifiée, mais en

tout état de cause le mode opératoire devrait être soumis à la CRAM, à l'inspection du travail et au médecin du travail.

La question de la dispersion, c'est à dire du nombre de zones contenant des colis amiantés, est donc spécialement importante pour ces déchets. Stocamine a fourni au COPIL un plan de la couche inférieure de colis qui fait apparaître 137 localisations de colis amiantés, d'importance variable. Il existe donc d'assez nombreuses zones de plusieurs dizaines de mètres de long sans colis de déchets amiantés, qui pourraient laisser la possibilité de fractionner initialement le chantier par zones avec et sans amiante.

Toutefois le maintien d'un tel fractionnement pendant le chantier suppose une excellente efficacité du système de captage-aspiration. En effet en cas de chute et épandage d'un colis, il existe un risque qu'une fraction des fibres d'amiante ne soit pas aspirée et se répande en amont de la ventilation générale ; si ce risque ne pouvait être écarté il entraînerait, par prudence, le maintien des précautions maximales dans la totalité de la zone qui pourrait être affectée par la mise en suspension de fibres.

Une étude de la faisabilité d'un déstockage en présence de déchets amiantés est un élément important de la tierce expertise prévue mais on doit garder à l'esprit que, même si les déchets amiantés appellent un traitement particulier, d'autres catégories de colis de déchets, moins bien connus, tels ceux contenant d'autres toxiques comme le chrome ou de cadmium, seront également difficiles à manipuler.

Cas du bloc 15

Le bloc 15, siège d'un incendie en 2002, pose un problème particulier. Il contient 1775 tonnes de déchets (5% du total). Dans sa majeure partie, il n'est plus accessible, et certaines voies encore accessibles qui ont été parcourues par les fumées sortant du bloc 15 (« zone contaminée ») exigent le port d'une combinaison chimique étanche et d'un appareil respiratoire autonome, contraintes qui rendent le travail pénible dans cette zone dite « rouge ». L'incendie du bloc 15 a duré 100 jours (en fait l'incendie proprement dit semble avoir duré une dizaine de jours) et des températures locales supérieures à 300°C y ont été mesurées pendant les premiers jours. Les palettes en bois et une grande partie des big-bags ont brûlé au moins dans une partie du bloc. L'Ineris a calculé que l'élévation de température dans le massif y avait engendré des contraintes mécaniques additionnelles très élevées.

Le bloc 15, comme les blocs 16, 25 et 26 ont été creusés à l'horizon -25 m, avec un toit beaucoup plus feuilleté qu'à l'horizon -23 m (où sont creusés les autres blocs contenant des déchets). Les blocs 16, 25 et 26 sont vides et présentent un toit qui, dans certains cas, a considérablement fléchi ; le passage y est actuellement interdit. Pour le bloc 15, seules les entrées des allées sont accessibles au moins à l'observation. Stocamine a présenté au COPIL des photographies de ces entrées dont Stocamine caractérise l'état par « toit éboulé à perte de vue et mur soulevé et cassé », ou « éclaté », du côté entrée d'air. Du côté retour d'air, le toit est « affaissé », « très affaissé » ou « décroché » suivant les cas. Les parements présentent localement des risques de basculement. Il est donc très probable qu'au moins dans une partie du bloc 15 le toit soit décollé sur 1 à 2 mètres et qu'une grande partie de son poids pèse sur les colis. Il faudra retirer ce toit, ce qui doit représenter quelques dizaines de milliers de tonnes supplémentaires. Une partie au moins est devenue un déchet du fait de l'incendie et une autre partie le deviendra du fait du contact avec les déchets de big-bags déjà épandus ou éventrés par la chute du toit. Le purgeage par les méthodes minières classiques est exclu, le toit étant porté par les colis, et il faudra envisager l'utilisation de machines adaptées.

Par ailleurs, sous l'angle du confinement des déchets, l'Ineris a calculé que les contraintes mécaniques engendrées par l'incendie n'avaient pu créer une zone perméable continue jusqu'au foudroyage de l'exploitation de potasse plus d'une vingtaine de mètres au-dessus.

Pour Ids (p.20) la nature des équipements individuels qui seraient nécessaires pour travailler dans le bloc 15 et la zone contaminée dépend de trois facteurs principaux: les composés toxiques dans l'air, l'odeur et la présence de dioxine et de furannes sur les parois. En fait il ne semble plus y avoir de composés toxiques dans l'atmosphère de la zone contaminée, dont la qualité est mesurée régulièrement. La présence de dioxines, si elles sont demeurées stables, n'exigerait qu'une protection de base pour une durée de travail inférieure à 90 jours. Si l'odeur nauséabonde était toujours présente, un appareil respiratoire autonome resterait nécessaire. En dehors des risques miniers, le problème le plus aigu sera sans doute la protection contre les risques liés à l'amiante.

Il faut noter que, de façon générale, on connaît mal l'état réel du bloc 15.

Mise en œuvre de la réversibilité : mode opératoire

La discussion menée jusqu'ici permet de conclure à une réversibilité faisable mais difficile. Il semble alors indispensable de bien définir l'organisation à mettre en œuvre pour y parvenir en tenant compte de l'ensemble des contraintes techniques, organisationnelles, juridiques, environnementales et des aspects liés à la sécurité des salariés qui interviendront sur le chantier.

La mise en œuvre de la réversibilité est un projet à part entière, elle doit donc être organisée comme tel, sans quoi un échec et/ou des accidents sont fortement probables.

A noter que Stocamine, en tant qu'exploitant, doit être le maître d'ouvrage de l'opération dans sa globalité.

Il lui appartient donc de définir le cahier des charges qui doit décrire le scénario précis à mettre en œuvre.

Ce scénario doit, *a minima* :

- Préciser si le retrait est partiel ou total. En cas de retrait partiel, la nature et les quantités respectives des déchets retirés et laissés au fond seront définies.
- Proposer un mode opératoire décrivant l'organisation du travail au fond et au jour. Ce mode opératoire tiendra compte de l'ensemble des mesures de prévention des risques professionnels à mettre en œuvre : risque minier, risque chimique (incluant l'amiante), risques liés à la circulation, au bruit, à la chaleur, aux chutes, aux explosions, à l'incendie, aux manutentions manuelles.... Ce mode opératoire doit être soumis aux instances représentatives du personnel.
- Définir la nature des travaux à réaliser au fond pour permettre le retrait en sécurité
- Contenir une estimation de la durée du chantier
- Permettre le dimensionnement des ouvrages à réaliser au jour pour assurer le stockage tampon et le reconditionnement éventuel des déchets avant enlèvement vers un autre site de stockage
- Contenir les données logistiques relatives au stockage et au transport des déchets à évacuer
- Identifier les sites de stockage vers lesquels les déchets vont être expédiés ainsi que les procédures d'acceptation préalables nécessaires.

Une fois le scénario précisément défini, une procédure administrative doit précéder la réalisation des travaux proprement dits, cette procédure administrative comprend deux étapes :

- Une première étape consiste à établir un dossier de demande d'autorisation d'exploiter (DDAE) pour la création d'une installation classée chargée d'extraire les produits et de les transférer ailleurs. Le dossier comportera vraisemblablement deux volets distincts, l'un relevant de la réglementation minière, l'autre de la réglementation ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement). Ce dernier portera sur les rubriques manutention, reconditionnement de substances toxiques et sur la réalisation d'un entrepôt de surface de grande taille. Ce dernier poste imposera la procédure d'autorisation avec enquête publique. Le dossier ne sera pas un dossier spécialement complexe. La durée globale de cette étape, lorsque tous les choix sont faits, peut être estimée à environ 6 mois pour l'élaboration du dossier puis 12 mois pour l'enquête publique et l'instruction du dossier par l'administration
- Une seconde étape sera de notifier la cessation d'activité de Stocamine selon le code minier et le code de l'environnement. Cette étape ne pourra être notifiée que dans le trimestre précédant la fin de toutes opérations de déstockage. C'est une procédure qui ne nécessite pas d'enquête publique, et elle est assez rapide, dès que les choix techniques sont validés et réalisés (moins d'un an).

Etant établi que le retrait devient de plus en plus difficile au fur et à mesure que le temps passe à cause des phénomènes de fluage, il serait souhaitable de travailler sur le projet pendant le déroulement de l'instruction du dossier de demande d'autorisation d'exploiter.

Il semble évident que, même si Stocamine, exploitant et maître d'ouvrage, est responsable de la coordination du chantier, le retrait doit faire appel à des compétences multiples (minières, chimiques, environnementales, juridiques et logistiques) que Stocamine seule ne possède pas.

Stocamine pourra s'appuyer sur un conseil pour rédiger le schéma directeur des opérations (avant projet détaillé) et choisira le bureau d'études qui aura en charge l'élaboration des cahiers des charges à l'attention des entreprises des différents corps de métier qui réaliseront les travaux. Hormis ce conseil, dont le choix est de la responsabilité de Stocamine, une tierce-expertise est prévue à la suite de l'avis du COPIL, la DREAL peut faire expertiser le DDAE et la CLIS peut mandater des experts. Le COPIL suggère que ces possibilités d'expertises soient utilisées systématiquement tout au long des travaux.

Une fois les entreprises retenues, la direction des travaux pourrait être confiée à un bureau d'études, faisant alors office de maître d'œuvre.

Durée du retrait

Le retrait de 173 colis (palettes de fûts contenant des PCB, masse de 146 tonnes) hors du bloc 11, qui a nécessité le déplacement de 783 autres colis, a duré du 11 juillet 2001 au 14 février 2002 (7 mois, 20 postes), 14 personnes au total étant affectées à ces opérations au fond et au puits. On déplaçait 40 colis/jour.

Les bureaux d'étude Ids et BMG ont estimé la durée d'un retrait complet (environ 53 900 big-bags, 8 800 palettes, 1 300 palettes filmées et 200 conteneurs). La capacité du puits Joseph (250 colis/jour) fixe dans tous les cas une borne supérieure du débit de déstockage. IdS estime un retrait possible à 80 colis jour, 3 à 4 ans hors bloc 15, divisé par 2 si on double les équipes. Pour BMG avec 26 personnes au fond, 9 personnes au jour (hormis 50 personnes pour la maintenance générale), 10 engins, on peut déstocker 72 colis/jour sur 220 jours annuels soit 5 ans pour 64 200 colis, ce qui conduit, compte

tenu de 2 ans de préparation, à 7 ans pour le déstockage auxquels il faut ajouter 1 an pour le bouchage des puits. Les galeries continueront à travailler pendant cette période.

Le COPIL s'est divisé sur l'appréciation de la durée du retrait. La majorité des membres estiment qu'une durée de 5 à 10 ans est vraisemblable, compte tenu des aléas inévitables et de la nécessité de porter au moins souvent un équipement individuel lourd. Certains membres pensent qu'en travaillant 24h par jour avec une bonne organisation du travail et des entreprises compétentes on peut réaliser le retrait en 1 à 2 ans.

Difficulté du retrait

Hormis les travaux miniers de remise à section et de mise en sécurité (40% du temps selon BMG), les opérations comportent en fonctionnement normal : les déplacements du système d'aspiration, le remplacement des filtres, le ré-emballage des colis, le tri et le regroupement par familles de colis pour l'expédition ultérieure et enfin le transport vers la recette puis le jour (60% du temps). La place au fond est limitée (on pourra utiliser provisoirement des galeries non exploitées). Il n'est pas souhaitable d'entreposer de grandes quantités de colis au jour, mais il paraît inévitable d'agrandir la capacité actuelle. Dans ces conditions il faut prévoir des grandes capacités de stockage de surface, temporaires, certes, mais correctement aménagées. Le déstockage en flux tendu (en raison de la faible capacité d'entreposage au jour, qu'il faudra certainement accroître) ne laissera pas beaucoup de place au risque d'incident ou d'accident. De façon générale, le système manquera de souplesse d'autant que, pour rationaliser l'expédition vers d'autres centres de stockage, il faut éviter de retirer au même moment des colis de nature différente. Des blocages peuvent résulter de problèmes éventuels difficiles de tenue des terrains et lors du ré-emballage en cas d'épandage, et BMG propose d'avoir deux chantiers en parallèle pour apporter une certaine flexibilité, ce qui exigera au moins de doubler le matériel existant.

La charge physique et mentale qui accompagne un travail dans ces conditions est lourde. Il sera nécessaire, au moins souvent, de travailler avec une combinaison étanche autonome ; la durée de travail effectif est alors en général évaluée à une, peut être deux fois deux heures par opérateur et par poste. Il est manifeste que le chantier sera difficile pour au moins deux raisons. D'une part le personnel devra maîtriser deux métiers, à la fois travail dans la mine et travail en ambiance de risque chimique, dont le risque cancérigène, qui exigent tous deux technicité et expérience ; d'autre part la gestion du chantier appellera des arbitrages pratiquement journaliers entre sécurité et commodité du travail dans des circonstances qui varieront fréquemment (méthode de prise des colis ? aspiration en bout de bloc ou à la source ? ré-emballage ou non ? niveau de la protection individuelle ?). Ce sont des conditions qui multiplient le risque d'une erreur de jugement et il sera souvent préférable de choisir *a priori* la solution la plus lourde pour éviter le risque d'erreur.

Les risques pour les travailleurs exposés seraient très réels La réglementation prévoit la mise en place du « Document Unique d'Evaluation des Risques (DUER) », rédigé sous la responsabilité du chef d'entreprise avec la participation des salariés et notamment du CHS-CT. Ce document comporte l'évaluation de l'ensemble des risques et un plan d'action qui définit les mesures de prévention à mettre en place pour maîtriser ces risques, les travailleurs conservant un « droit de retrait » qui leur permet de refuser un travail dangereux. Si une entreprise extérieure intervenait pour le compte de Stocamine (par exemple dans le cas des déchets amiantés), un plan de prévention spécifique aux risques liés à la co-activité doit être de plus établi.

Plus généralement, si la décision de retrait, partiel ou total, était prise, le COPIL insiste sur l'importance d'une préparation extrêmement soignée des opérations. Elle devrait comprendre une phase d'essais permettant de valider les options choisies ; les opérations devraient faire l'objet d'un

bilan régulier s'appuyant sur les observations effectuées parmi lesquelles les mesures de qualité de l'air et de mouvements des terrains, qui devraient faire l'objet d'un plan de mesure. Enfin, compte tenu des difficultés qui pourraient être rencontrées, il faut prévoir des solutions de repli et s'assurer régulièrement qu'elles restent praticables.

Le COPIL a reçu lors de sa réunion du 23 mai 2011 les délégués mineurs. Ceux-ci ont insisté sur les compétences spécifiques nécessaires pour le travail dans une mine de sel et potasse, notamment du point de vue de la sécurité ; et sur le temps nécessaire pour acquérir cette compétence. Le COPIL estime également qu'une très grande attention devra être portée à ce problème.

Que faire des déchets déstockés ?

Il faut rappeler qu'il n'existe pas en surface d'installation d'entreposage pour un volume important (on peut entreposer au maximum 120 colis) et que les déchets n'étaient autorisés à transiter en surface que pendant quelques jours (48 heures). Il paraît difficile de ne pas relâcher ces contraintes en cas de déstockage.

Il est exclu de déstocker sans que soit disponible, suivant les cas, soit une solution de recyclage des déchets, soit une solution de stockage dont la sûreté soit comparable ou supérieure à celle de Stocamine. La destruction ou la transformation des molécules dangereuses par procédé chimique ou physique serait une solution idéale mais la société française n'a pas retenu cette voie, trop coûteuse pour être appliquée à très grande échelle comme en témoigne aussi l'exemple de l'Allemagne, qui utilise de manière systématique le stockage en mine de sel. Plus spécifiquement, dans le cas des déchets de Stocamine, un audit de l'Ineris en 2003 a conclu qu'il n'existait pas de technologie disponible pour traiter industriellement les déchets à un coût acceptable.

La décision d'un retrait est inséparable du choix d'une filière susceptible d'accueillir immédiatement les déchets retirés avec un bilan écologique favorable.

Les déchets de classes C1 (issus de l'industrie et de l'épuration des unités d'incinération de déchets ménagers dont les déchets amiantés, stockables en surface) et les déchets de classe C0 (présentant un potentiel de danger qui les réservent au stockage géologique : terres polluées, composés cyanurés, déchets chromiques, arséniés, cyanurés, mercuriels...) posent des problèmes différents.

Les 23 021 tonnes de déchets de classe C1 pourraient être acheminés vers un Centre d'Enfouissement Technique de classe 1 (CET1). Il existe en principe en France un CET1 dans chaque Région, et Stocamine était le CET1 d'Alsace. L'Ineris a examiné la possibilité d'un transfert vers un CET1 voisin, à Dambron (Bourgogne), Jeandelaincourt (Lorraine) et Vaivre (Franche Comté) au vu de plusieurs critères, parmi lesquels l'acceptation par le CET1, la disponibilité de volume suffisants de stockage, la distance à parcourir et le nombre de manipulations des colis pendant le transport. Il résulte de cette enquête qu'un stockage dans un autre CET1 serait possible. Il s'agit de stockages de surface, les colis étant déposés sur une couche assez peu perméable puis recouverts d'une couche de même nature. La réglementation prévoit ensuite une période de surveillance de 30 ans. Il faut aussi rappeler, pour comparer objectivement les solutions de stockage, que la réflexion technique (confinement des déchets pour des périodes séculaires) et administrative (conservation de la mémoire) sur les évolutions de long terme d'un ouvrage CET1 de surface au-delà de la période de surveillance de 30 ans n'est pas encore très développée. Stocamine en revanche a fait l'objet d'une analyse de

sûreté à long terme (plusieurs siècles), assez simple à l'origine, mais qui s'est complétée avec le temps et a le mérite d'exister.

Les déchets C0 (18 990 tonnes, y compris déchets chromiques et de galvanisation et hormis les 1775 tonnes de déchets du bloc 15, difficiles à caractériser) soulèvent un problème plus difficile. Certains d'entre eux semblent pouvoir être recyclés. Les autres, après quelques aménagements, devraient pouvoir être acceptés pour stockage dans une mine allemande (UTD). Autrement dit, pour les déchets C0, l'alternative concrète n'est pas entre retrait et stockage illimité, mais entre stockage illimité à Stocamine et stockage illimité dans une mine allemande. Tous ces stockages fonctionnent suivant un principe assez comparable. L'examen spécifique de Stocamine sera abordé dans le chapitre consacré à la solution du stockage illimité.

La sécurité à long terme et les critères d'acceptation des décharges souterraines (UTD, Untertagedeponie) en Allemagne

L'exploitation d'une UTD en Allemagne doit être autorisée avant sa mise en service. Pour ce faire, l'opérateur doit fournir un dossier qui précise les caractéristiques suivantes du stockage :

- On doit utiliser pour le stockage illimité de déchets une partie de la mine dont les caractéristiques sont appropriées. Il est concevable, comme cela a été fait à Stocamine, qu'on creuse un nouvel emplacement dans la mine pour y placer les déchets dangereux, mais en Allemagne, ceci n'a jamais été fait, car des vides miniers présentant les caractéristiques appropriées existaient déjà en assez grande quantité dans des mines de sel.
- Si l'exploitation du sel se poursuit dans une autre partie de la même mine, la zone de stockage doit être isolée de la zone d'exploitation.
- Les cavités minières créées doivent rester ouvertes. Il ne doit pas être nécessaire d'utiliser un soutènement. Ceci veut dire qu'hormis des déchets, aucun autre matériel ne doit être intégré dans les cavités afin de les soutenir.
- Les cavités créées doivent être stables, c'est-à-dire qu'elles doivent rester accessibles même après une longue période de temps. Ainsi les déchets peuvent être retirés pendant l'exploitation si nécessaire. Pourtant, pour un stockage de déchets, la loi allemande ne prévoit pas qu'on ait l'intention de retirer les déchets plus tard. L'objectif est donc le stockage illimité dans la décharge. La possibilité du retrait est donc considérée comme une exception, dans le cas où l'on constaterait que les déchets ont, malgré les interdictions, des caractéristiques dangereuses qui pourraient représenter un danger pour la sécurité, OU si, dans un cas particulier, un nouvel intérêt économique des déchets apparaît (par exemple concernant le recyclage de cuivre et d'autres métaux de transformateurs).
- La mine dans laquelle les déchets sont stockés doit être sèche et libérée d'eau. Ceci veut également dire qu'il ne doit plus y avoir de venues actives de saumures fossiles, si l'on a en a rencontrées pendant l'exploitation.
- Les cavités dans lesquelles les déchets doivent être stockés doivent être protégées de la nappe phréatique, afin que les déchets soient pour toujours isolés de la biosphère (preuve de la sécurité à long terme). Ainsi les cavités remplies doivent d'abord être séparées du reste du stockage par des bouchons maçonnés. Si la capacité du stockage est épuisée ou si le stockage doit être fermé pour d'autres raisons, l'exploitant doit créer un bouchon étanche dans le puits et les galeries par des mesures techniques appropriées. Ce bouchon doit être réalisé en utilisant

les meilleurs techniques disponibles du moment. Les barrières géologiques et techniques représentent un bouchon permanent qui sépare la mine de son environnement.

Grâce à la preuve de la sécurité à long terme et l'autorisation octroyée par l'autorité compétente, il n'y a pas de restrictions légales quant à la quantité et à la toxicité des matières toxiques stockées, car les UTD ont comme objectif d'accueillir de telles matières toxiques et de les isoler de la biosphère.

Les critères d'acceptation des stockages visent à garantir la sécurité du stockage souterrain et des personnels qui y travaillent quant au traitement et au stockage des déchets. Ils sont les mêmes pour toutes les UTD allemandes et se basent sur le règlement allemand sur les stockages.

Les déchets doivent correspondre aux critères suivants, sinon il est interdit de les stocker dans une UTD allemande:

- Les déchets NE doivent PAS être liquides.
- Les déchets NE doivent PAS contenir des agents pathogènes, des parties du corps ou des organes.
- Des déchets inconnus ou de nouveaux déchets chimiques dont les effets sur l'être humain et l'environnement ne sont pas connus, NE doivent pas ETRE acceptés.
- Des pneus usés en entier ou coupés NE doivent PAS être acceptés.
- Les déchets NE doivent PAS mener à des nuisances olfactives significatives pour les employés et pour le voisinage de la décharge.
- Les déchets NE doivent PAS être biodégradables.
- Les déchets NE doivent PAS être inflammables.
- Les déchets NE doivent PAS mener à
 - a) une augmentation de leurs volumes,
 - b) à la création de matières auto-inflammables, toxiques ou explosives ou de gaz
 - c) à d'autres réactions dangereuses,

si ceci implique une remise en question de la sécurité d'exploitation et de l'intégrité des barrières.

- Les déchets NE doivent PAS impliquer un risque d'explosion ou être hautement ou légèrement inflammables.
- Les déchets NE doivent PAS engendrer une odeur intense.
- Les déchets DOIVENT être suffisamment stables en rapport avec les conditions géomécaniques du stockage considéré.

Dans le cas d'un retrait des déchets de Stocamine et d'un stockage illimité dans une UTD allemande, il faut apporter la preuve du fait que les déchets respectent les critères mentionnés ci-dessus. La nature et l'ampleur des analyses nécessaires doivent faire l'objet d'une concertation avec l'exploitant du stockage qui doit également associer l'autorité compétente. Les déchets provenant de l'étranger

nécessitent en plus une autorisation concernant le transport transfrontalier de déchets selon le droit de l'UE.

CONCLUSION RELATIVE AU RETRAIT

La mise en œuvre de la réversibilité a été possible dans le cas du retrait partiel du bloc 11, en 2001-2002. Toutefois les organismes consultés par Stocamine, BMG et IdS, soulignent la difficulté de la réversibilité. « *La variante d'exercice de la réversibilité est bien plus complexe et risquée [que le stockage illimité]* » estime IdS (p.37). BMG (p.52) indique qu'on ne peut négliger l'hypothèse que des difficultés si grandes apparaissent qu'il faille renoncer à poursuivre le déstockage : « *On ne peut pas exclure qu'une partie des déchets doit être laissée dans la mine compte tenu des risques miniers* ». La réglementation prévoit que le plan de prévention préalable prenne en compte l'hypothèse d'un arrêt inattendu et définitif qui rende impossible la mise en place des mesures conservatoires postérieures à l'événement déclencheur. Les conditions particulières du chantier de retrait renforcent la probabilité d'une telle hypothèse. Les mesures nécessaires entraînées par un tel arrêt définitif devront avoir été mises en place préalablement. Il sera prudent, si on décide le retrait des déchets, de ménager comme solution de repli la possibilité d'un stockage illimité pour les déchets qui seraient encore dans la mine en cas de difficulté majeure. Il ne faut pas que l'échec de la mise en œuvre de la réversibilité compromette la réalisation de dispositions visant à renforcer le confinement si l'on était contraint de choisir pour les déchets restant dans la mine l'option du stockage illimité.

Le COPIL estime que le retrait des colis de Stocamine est techniquement possible mais qu'il s'agirait d'un chantier complexe et très difficile. Il présentera des risques pour la santé des personnels concernés. On ne doit pas sous-estimer les risques d'accidents de personne pendant le retrait.

On ne peut être certain de pouvoir conduire le retrait à son terme ; il faut alors que le stockage illimité des déchets restants soit possible et ait été étudié.

Pour le COPIL, le retrait, dont on rappelle qu'il pourrait être partiel, doit être envisagé si les études de risque établissent qu'au moins une certaine partie des substances stockées fait courir à long terme à l'environnement des risques inacceptables.

Par ailleurs, bien que le COPIL n'ait reçu aucune information dans ce sens, on peut imaginer que les pouvoirs publics estiment le retrait souhaitable pour des raisons nationales qui dépassent le cadre de Stocamine (par exemple pour établir la crédibilité de la notion de réversibilité). Le COPIL a estimé que l'examen d'une telle hypothèse sortait de sa mission.

Références

Stocamine. BMG. Stockage souterrain de Wittelsheim : évaluation technique de la variante de la mise en œuvre de la réversibilité. Document du 27 juin 2006.

Stocamine. Institut de sûreté (Ids). Détermination des dangers, rapport 04.wh.002.303517 du 15 juillet 2004. N°29.

Stocamine. Ecole des Mines de Paris, CGES. F.Hadj-Hassen et M.Tijani. Actualisation de l'étude de stabilité du stockage de déchets toxiques dans la mine Amélie. Février 2006.

Stocamine. « Déstockage dans le bloc 11 », note de H. Haegelin, 11 février 2004.

Stocamine. Ineris. Stockage souterrain de Stocamine (68). Etude hydrogéologique de l'ennoyage du site. Rapport d'Etude DRS-10-108130-12810B du 9 mars 2011.

Stocamine. Ineris. Etude géomécanique du stockage de Stocamine. Rapport d'Etude DRS-10-108130-130-14273A du 23 décembre 2010.

OPTION DU STOCKAGE ILLIMITE

Principe du stockage en profondeur

Dilution et confinement

Il existe en principe deux modes de gestion des déchets ultimes : la dilution et le confinement en profondeur. La dilution consiste à disperser les déchets dans des volumes de fluide (atmosphère ou océans) si grands que les concentrations de substances toxiques sont supposées y devenir complètement inoffensives. Ce mode de gestion n'est pas privilégié aujourd'hui parce qu'il est immédiatement irréversible et que le contrôle de la qualité des opérations de dilution est difficile, surtout à l'échelle internationale. Le confinement en profondeur consiste au contraire à concentrer les déchets dans un volume faible et à les placer dans des formations géologiques profondes où l'eau est peu présente, ou ne peut circuler que très difficilement. Les performances du confinement peuvent être éventuellement surveillées et une certaine réversibilité est théoriquement possible. Les qualités de la formation géologique, dite barrière naturelle, peuvent être renforcées par des barrières dites ouvragées : conteneurs dans lesquels les colis sont placés, bouchons, scellements, etc.

Ce mode de gestion est utilisé ou envisagé aujourd'hui pour les déchets toxiques et les déchets radioactifs.

Un confinement absolu ne peut être théoriquement atteint en raison de mécanismes physiques qu'on ne peut éviter, comme la diffusion moléculaire – il s'agit d'un phénomène extrêmement lent. L'analyse de risque doit montrer que les migrations éventuelles sont ténues, extrêmement lentes et s'achèvent par une dilution efficace dans des volumes d'eau suffisants. L'analyse de risque a pour but de quantifier les performances du confinement ; elle procède par scénarios : elle considère des scénarios volontairement pessimistes (par exemple, pompage d'eau pour l'alimentation humaine au voisinage des exutoires par lesquels pourraient sortir des substances dangereuses) et compare leurs conséquences à des valeurs réglementaires (de potabilité, par exemple, mais ce n'est pas toujours le critère le plus significatif) en prenant des marges de sécurité aux diverses étapes de l'analyse pour tenir compte des incertitudes. L'analyse de risque permet de mettre en lumière les points faibles du système et d'y remédier par modification du concept de stockage ou par ajout de barrières ouvragées.

En 1996, Stocamine a présenté des éléments d'une analyse de risque. Dans le contexte de l'époque, si une telle analyse (dite « de sûreté ») était obligatoire dans les pays qui doivent stocker des déchets radioactifs, relativement peu de choses étaient faites en matière de déchets toxiques et les études de Stocamine possédaient un caractère innovant. Depuis, le dossier a été complété par des contributions diverses dont la plus récente est l'analyse de risques en cours de l'Ineris présentée au COPIL entre avril et juin 2011.

Principe du confinement de déchets en mine de sel

En Allemagne, le confinement des déchets dangereux est effectué en mines de sel. Comme l'explique un des experts allemands du COPIL, dans une situation géologique favorable, le confinement à long terme des déchets est assuré par la barrière géologique (massif de sel gemme homogène d'une épaisseur suffisante) complétée par des barrières ouvragées pour le scellement des galeries d'accès et des puits. Ce concept dit « sec » repose donc sur l'absence de circulations fluides susceptibles de véhiculer des polluants en solution vers l'environnement.

Dans le cas de Stocamine, le concept de confinement intègre l'inéluctabilité du processus d'ennoyage à plus ou moins long terme et le remblayage des puits tend seulement à les rendre les moins perméables possible en vue de minimiser les flux. L'ennoyage doit être suffisamment lent pour ne pas engendrer de désordres mécaniques à caractère brutal. Le confinement est alors essentiellement fondé sur la ségrégation de densité – les saumures saturées, plus lourdes que l'eau, restent immobiles dans la partie profonde de la mine. Cependant, à plus long terme, il faut s'attendre à la fermeture complète des vides par poursuite du fluage du massif de sel. Une grande partie, sinon la totalité de la saumure contenue dans la mine sera ainsi expulsée. La sécurité à long terme repose alors sur des mécanismes naturels dont la période de mise en place est difficile à préciser : cristallisation de la saumure dans les parties les plus profondes et encapsulation des déchets par fermeture complète des vides souterrains.

Le COPIL estime que, dans la perspective d'un stockage illimité – partiel ou total – il faudrait, dans un sens déjà esquissé par plusieurs études, compléter le schéma de confinement des déchets à Stocamine en mettant en œuvre des solutions de scellement des galeries inspirées des méthodes allemandes. Il estime aussi que le processus d'ennoyage devrait être surveillé en mettant en œuvre des moyens de mesure adaptés.

Comparaison des concepts « sec » et « ennoyé »

L'avantage majeur du concept « sec » est qu'en l'absence d'eau (ou plutôt de saumure) au contact des déchets, le confinement des déchets est pratiquement parfaitement assuré puisque c'est l'eau, si elle est capable de circuler, qui peut transporter des substances toxiques vers des points sensibles de l'environnement. De ce fait, il faut prouver que le confinement par une barrière géologique constituée d'un massif rocheux continu est assuré. Toutefois ce concept suppose qu'on soit capable de réaliser des scellements de puits et de galeries qui demeurent efficaces pendant une très longue période de temps. Le concept « sec » est celui qui est retenu en Allemagne pour le stockage souterrain de déchets dangereux.

Le rôle du COPIL n'est pas de critiquer une telle solution de confinement en mine sèche. Il souhaite cependant montrer pourquoi une solution avec ennoyage, si elle est bien conduite, pourrait aussi présenter des avantages et doit donc être prise en considération.

Mécanismes d'ennoyage des mines de sel

L'ennoyage accidentel des mines de sel et de potasse en cours d'exploitation est un phénomène assez fréquent, même dans les mines exploitées par des méthodes modernes. Au cours des dernières décennies, on peut citer les cas de Weeks Island, Jefferson Island, Retsof, Belle Isle, Winnfield (aux USA), Holle (en République du Congo), Ronnenberg (en Allemagne), Wapno (en Pologne), ennoyées dans des circonstances chaque fois particulières mais ayant toujours conduit à l'abandon de la mine.

Il y a presque toujours des venues d'eau dans les mines, quelle que soit la substance exploitée. Dans le cas des mines de sel, l'entrée d'eau a souvent des conséquences dramatiques. Le mécanisme en est le suivant. L'eau non saturée en sel pénètre dans la formation salifère et s'écoule vers la mine. L'eau dissout le sel, agrandit le cheminement vers la mine, les pertes de charge de circulation diminuent, le débit augmente, plus de sel est dissous et le phénomène acquiert vite un caractère incontrôlable, d'autant plus que des désordres mécaniques interviennent, nécessairement associés aux dissolutions. La mine doit être abandonnée.

Le cheminement initial de l'eau peut avoir des origines diverses. Il peut tenir à une défaillance de l'extrados du cuvelage du puits (Belle Isle), à une hétérogénéité naturelle dans la formation salifère non prévue par la reconnaissance géologique (due à l'érosion glaciaire, par exemple comme à Retsof),

à la forme irrégulière du dôme de sel (Winnfield), à la présence d'une discontinuité conductrice, soit naturelle (Ronnenberg), soit engendrée par une exploitation trop intense (Weeks Island, Wapno), ou encore à la rencontre de sondages mal rebouchés ou au forage de nouveaux sondages (Jefferson Island). En fait, plusieurs origines se combinent souvent. Il est arrivé aussi que l'ennoyage reste lent ou même *a contrario* qu'un effondrement accidentel de la mine n'engendre aucune venue d'eau (quartier Saint-Maximilien à Varangéville). Un inconvénient majeur de l'ennoyage brutal est de créer de nouveaux vides, en général localisés dans le voisinage de l'entrée de saumure non saturée dans la mine. La création de vides peut provoquer des effondrements de la surface du sol. Pour cette raison beaucoup de mines de potasse allemandes ont été préventivement ennoyées lors de leur abandon.

Toutefois plusieurs remarques doivent être faites.

D'une part, pendant toute la période d'ennoyage lent, l'évolution vers un ennoyage rapide reste possible.

D'autre part, on pourrait penser qu'il est toujours meilleur de réaliser l'ennoyage délibéré le plus vite possible, idéalement par injection de saumure, puisque les risques diminuent quand l'ennoyage est complet. Cependant la fermeture des vides se poursuivra par fluage, quoique beaucoup plus lentement, quand la mine sera ennoyée. De la saumure sera donc expulsée de la mine au fur et à mesure de la fermeture des vides. Suivant la profondeur et la forme des vides, le processus durera des siècles ou de nombreux millénaires (une cavité unique pleine de saumure de forme régulière à 250 m de profondeur met typiquement 100 000 ans à se fermer ; à 1000 mètres, il faut un à quelques milliers d'années ; mais la forme des vides peut modifier profondément ces valeurs). Toutefois, l'issue est toujours la fermeture complète de la mine et l'expulsion totale de la saumure. Lorsque la saumure expulsée peut avoir des effets défavorables sur l'environnement, il est préférable que l'ennoyage complet arrive assez tard, après qu'on a profité des effets d'une fermeture au moins partielle des vides, bien plus rapide quand la mine n'est pas encore ennoyée.

Enfin, la probabilité d'un ennoyage brutal est très différente suivant le contexte géologique, la méthode d'exploitation de la mine et la qualité des ouvrages d'accès.

Dans le cas de Stocamine, l'Ineris a examiné, en s'appuyant notamment sur les archives des MDP, les risques de transfert de saumure au sein du « bloc-hôte », c'est-à-dire la série salifère du Sannoisien comprise entre environ 250 à 300 m de profondeur (toit du sel) et 1500 m de profondeur (toit des terrains du Secondaire). Il conclut :

- qu'il n'y a jamais eu de venue d'eau profonde ;
- que le stot entre les mines Amélie et Marie Louise n'interdira probablement pas une communication hydraulique entre les deux mines ;
- que des failles ont été rencontrées, rarement productrices d'eau, dans les puits au dessus du toit du sel, et que l'on ne peut pas écarter un possible impact des séismes sur les failles, sans qu'on puisse quantifier cet impact.
- qu'environ 200 sondages ont atteint depuis l'origine le bloc hôte. Quand on les a recoupés au fond à la faveur des travaux miniers, ils ont rarement été producteurs d'eau et dans ce dernier cas ont pu être traités ; toutefois la qualité du rebouchage des plus anciens est sans doute médiocre. Le risque de venue d'eau hors de sondages colmatés ne peut jamais être complètement exclu ; un siècle d'observation paraît établir qu'il est très peu probable.

C'est donc beaucoup plus vraisemblablement par les puits, malgré leur colmatage, que la mine sera ennoyée. Des observations directes des venues d'eau effectuées par les MDPA à la base de puits déjà rebouchés viennent corroborer cette hypothèse.

Scenario normal d'évolution de Stocamine après fermeture

Le scénario d'ennoyage de Stocamine doit tenir compte d'abord de la position du stockage : celui-ci est placé vers l'est de la partie ouest du gisement, et il est moins profond que la plus grande partie des vides miniers exploités. Les parties les plus profondes seront ennoyées les premières – et ont d'ailleurs déjà commencé à l'être. Le calcul de la vitesse d'ennoyage doit aussi prendre en compte trois phénomènes : la fermeture progressive de la zone de stockage, la fermeture progressive des autres vides miniers et le remplissage de la mine par l'eau. Chacun de ces phénomènes a une durée qui lui est propre.

Vitesse de fermeture des ouvrages réalisés dans le sel

De façon générale, tout vide creusé dans le sel ou la potasse tend avec le temps à se fermer complètement. La vitesse de fermeture dépend de la quantité relative de sel enlevée (« taux de défruitement » dans le cas d'une mine exploitée par chambres et piliers comme la zone de stockage de Stocamine), de la forme des vides et de leur profondeur. Le rôle de la profondeur est très important. On connaît aux MDPA des galeries profondes, au-delà de 600-700 m, qui se sont complètement fermées après quelques dizaines d'années. Toutes choses égales par ailleurs, la vitesse de fermeture des vides est 10 fois à 20 fois plus rapide à 1000 m de profondeur qu'à 500 m. Toutefois, lorsque, à la fin de l'ennoyage, la mine et les puits sont remplis de saumure jusqu'à la surface du sol, la colonne de liquide exerce sur les vides une contre-pression qui divise la vitesse de fermeture des ouvrages souterrains par un facteur de 10 ou 20 en comparaison du cas où les ouvrages sont vides. Ces phénomènes sont bien connus, en raison de l'expérience plus que séculaire acquise dans des centaines de mines et des études effectuées pour l'exploitation minière ou le stockage souterrain d'hydrocarbures et de déchets. Toutefois ils présentent une certaine variabilité d'un site à un autre.

Fermeture des vides miniers, galeries et tailles foudroyées

Dans son dernier rapport du 23 décembre 2010 l'Ineris estime le volume des vides initialement créés sur le secteur ouest des MDPA sur la base de la masse des matériaux extraits, soit 423 Mt. Ceci conduit à un volume de 201 Mm³, un peu moins que les estimations antérieures de 231 Mm³. Ce volume est aujourd'hui considérablement diminué sous l'effet de deux phénomènes, le fluage du massif de sel et le foudroyage des tailles. L'effet cumulé actuel du fluage dépend de la profondeur (à la puissance 4) et de l'âge des vides. La vitesse de fluage est estimée à 2% par an à la profondeur de 627 m (profondeur moyenne du quartier ouest) ; on trouve alors que le volume actuel serait de 172 Mm³. Il faut aussi tenir compte du foudroyage qui affecte les tailles seulement, donc 90,5 % du volume total. On a la certitude, par la mesure de l'affaissement de la surface du sol (« subsidence »), que la plus grande partie de la fermeture est acquise en 3 ans environ après le foudroyage. L'habitude est de dire qu'il s'agit de 90%, et même 95% en tenant compte de la compaction ultérieure des vides par fluage. Il resterait donc aujourd'hui 5% de vides dans les tailles. L'ordre de grandeur est certainement bon, car il résulte de l'observation des affaissements en surface. Mais, quand on veut être plus précis, l'Ineris considère la valeur de 5% comme peu conforme au retour d'expérience d'autres mines et préfère retenir trois hypothèses, 5%, 10% et 20%, cette dernière étant la plus plausible. On parvient ainsi à trois valeurs d'estimation des volumes résiduels de vide du quartier ouest en 2010,

suivant l'hypothèse retenue : 8,2 ; 16,3 et 32,7 Mm³, dont un peu plus de la moitié pour la seule mine Amélie.

Après ces premières années de fermeture rapide, les vides continuent à se fermer mais beaucoup plus lentement. La fermeture est plus rapide dans les quartiers les plus profonds. Diverses lois ont été proposées pour décrire cette fermeture mais aucune ne paraît beaucoup mieux fondée que les autres. Il est raisonnable de prendre des ordres de grandeur simples en gardant à l'esprit que les valeurs réelles des vitesses de fermeture seront peut être de deux à cinq fois plus rapides ou plus lentes. Les vitesses de fermeture des vides avant ennoyage complet pourraient ainsi être de 0,1% par an et après ennoyage complet de 0,01% par an avec une tendance probable à la décroissance avec le temps.

Fermeture des vides du stockage

La zone de stockage a été creusée par la méthode des chambres et piliers. La vitesse de fermeture y est relativement bien connue avec le recul de l'expérience. Elle est plus lente que dans le foudroyage dans les premières années, et vraisemblablement plus rapide après. L'évaluation initiale sous-estimait cette vitesse d'un facteur de l'ordre de 2 parce que le rôle du feuilletage du toit et du stot de l'exploitation de potasse sus-jacente n'avait pas été pris en compte. On pense maintenant qu'une partie du rapprochement mur-toit (réduction de hauteur des galeries) est due à un mouvement d'ensemble des terrains, l'autre partie étant due au décollement de bancs de quelques dizaines de cm d'épaisseur, au toit et au mur. Le décollement se fait suivant des petits lits marneux qui sont des points de faiblesse. Des vides se créent au niveau de ces lits et contribuent aux vides résiduels. Aujourd'hui le rapprochement toit-mur est en moyenne de 3 cm par an, mais il est variable suivant les zones. L'Ineris, dans la dernière étude effectuée du 23 décembre 2010, qui tient compte de toutes les précédentes, estime la vitesse de fermeture à 0,9% par an, donc à peu près 10 fois plus rapide que celle des autres vides miniers. Il n'y a pas de raison manifeste de penser que cette vitesse diminuera avec le temps. Le mur et les parements rentreront progressivement en contact avec les colis de déchets. Ceux-ci occupent un volume de l'ordre de 72 000 m³ pour un volume total de l'ouvrage de stockage (voies comprises) de 300 000 m³ environ. Au début, les colis sont très compressibles et ne ralentiront pas la vitesse de fermeture. Ils se compacteront progressivement jusqu'à présenter un volume résiduel de vide beaucoup plus faible qu'à l'origine. C'est un avantage car le volume de liquide que les colis seront susceptibles de contaminer par contact direct diminuera. Quand la mine et les puits seront complètement remplis de saumure, la fermeture et la compaction seront ralenties mais se poursuivront. L'Ineris estime à 7000 m³ les vides résiduels du stockage à la fin de sa compaction en retenant une porosité de 30% pour un volume de déchets compactés de 22 000 m³.

Le COPIL estime que ces divers ordres de grandeur des vitesses de fermeture sont vraisemblables. Il s'agit d'ordres de grandeur, les valeurs réelles pouvant fort bien être double ou moitié. Le COPIL estime que des études ultérieures ne permettraient pas de réduire beaucoup les incertitudes.

Ennoyage de la mine dans le scénario normal

Le scénario d'ennoyage progressif de Stocamine est basé sur des arrivées d'eau par des puits de mine rebouchés qui ne sont pas parfaitement imperméables.

Estimations initiales

Avant la dernière évaluation de l'Ineris du 9 mars 2011, la vitesse d'ennoyage avait été calculée à partir d'une estimation de la perméabilité du bouchon de cendres volantes de $5 \cdot 10^{-7}$ m/s. C'est une

valeur plausible, plutôt élevée, basée sur peu d'observations et dont l'origine est la première étude de l'Ecole des Mines de Paris ; mais elle a été confirmée par une mesure de l'Ineris en 2002 au puits Marie, qui a donné $5,8 \cdot 10^{-7}$ m/s. Avec la valeur proposée, on peut calculer un temps d'ennoyage complet. Des puits tels que Joseph et Else permettent alors l'entrée dans la mine d'environ 200 m³/mois chacun, provenant de la partie supérieure cuvelée du puits, une valeur clairement majorante si le bouchon du puits n'évolue pas, puisque le débit sans aucun bouchon était de 300 m³/mois pour les puits de la mine Amélie. Des estimations ont été faites par l'Ecole des Mines de Paris puis par Mica et Cesame. Les résultats varient assez peu, ce qui est logique, puisque les hypothèses prises sont assez semblables. Ils dépendent essentiellement de l'hypothèse faite quant au stot d'une vingtaine de mètres de largeur pour 4 kilomètres de long qui sépare la mine Amélie (cinq puits) de la mine Marie Louise au nord (10 puits). L'Ecole des Mines considérait plus probable que ce stot isolerait les deux mines de manière durable ; Amélie est alors emplie en 1500 ans environ. Cesame et Mica estiment au contraire que les deux mines communiquent hydrauliquement par la fissuration engendrée au dessus du foudroyage (par ailleurs, localement, la largeur du stot est inférieure à 20 mètres) ; le secteur ouest des MDP, mines Amélie et Marie Louise communicantes, constitue alors un ensemble unique et l'ennoyage complet survient beaucoup plus vite ; la tendance issue de ces études est de retenir une durée de 150 ans, quand on tient compte des effets de la fermeture progressive des vides qui réduit le volume à remplir de saumure. Comme cette durée est proportionnelle à la perméabilité des cendres volantes, mal connue, et dépend de la vitesse de fermeture des vides, également assez mal connue, elle est affectée d'une assez large incertitude.

Estimations actuelles

La dernière étude de l'Ineris du 9 mars 2011 modifie sensiblement cette analyse. Elle se base sur des observations effectuées par M. Liberda (MDPA). Les puits Amélie I, Amélie II et Max (dont le remblai est plus épais), déjà rebouchés mais encore accessible par le fond, présentent à leur base des débits d'infiltration de 1530 m³/an, 1170 m³/an, 290 m³/an respectivement. Pour M. Liberda, ceci confirme que le débit avant fermeture finit par passer par l'extrados du puits en contournant le remblai de cendres. Quand il atteint les voies dans la mine, le débit s'infiltré rapidement dans les fissures du mur. L'Ineris retient alors plusieurs hypothèses pour le débit d'ennoyage du secteur ouest en considérant que les mines Amélie et Marie-Louise seront communicantes étant donné la fragilité du stot les séparant : i) une hypothèse basse correspondant aux évaluations antérieures qui considère les bouchons avec une perméabilité de $5,8 \cdot 10^{-7}$ m/s ; ii) une hypothèse moyenne tenant compte de la dégradation des cuvelages avec le temps qui considère une transmissivité équivalente à l'extrados des puits basée sur le retour d'expérience des puits Amélie I et II ; iii) une hypothèse haute où il est retenu la valeur maximale entre le débit sous l'hypothèse précédente et le débit maximal observé dans les puits en cours d'exploitation. Ces hypothèses conduisent respectivement aux valeurs de débit de 22 000 m³/an, 58 000 m³/an et 105 000 m³/an. Cette dernière valeur est supérieure à la fourchette haute du débit d'exhaure de la mine qui était de 99 000 m³/an. L'INERIS propose de retenir cette valeur pour le scénario d'ennoyage de référence. On notera qu'elle peut être considérée comme une valeur haute vraisemblable mais non comme une valeur majorante car elle est certainement très inférieure à la capacité d'alimentation de la nappe d'Alsace qui sera à l'origine de l'ennoyage comme le montrent les débits constatés pendant le fonçage des puits.

Le COPIL constate que l'Ineris a retenu dans sa dernière étude, fondée sur des observations, des valeurs sensiblement plus élevées du débit d'ennoyage que les études antérieures. Il faut en déduire que le risque d'accélération de l'ennoyage par rapport aux résultats précédents doit être envisagé.

Risque d'évolution de l'ennoyage lent vers un ennoyage brutal

Tant que l'ennoyage lent n'est pas achevé, il subsiste la possibilité d'une évolution brutale. On a indiqué plus haut que la probabilité d'un ennoyage brutal est très différente suivant le contexte géologique, la méthode d'exploitation et la qualité des ouvrages d'accès.

Tous les rapports dont dispose le COPIL montrent que le quartier ouest des MDPa présente du point de vue du risque d'ennoyage brutal une situation favorable en comparaison de celle de nombreuses autres mines de sel ou de potasse. Dans une zone de 200 km² la succession des couches géologiques a été très bien reconnue par 182 sondages, 24 puits et 24 sondages pétroliers ; elle apparaît comme régulière. L'épaisseur de sel ou de terrains imperméables au-dessus et en dessous des ouvrages (500 m de sel au total) est grande en comparaison de beaucoup d'autres mines. On a rencontré pendant l'exploitation de la mine des forages, dont certains atteignaient des niveaux aquifères plus profonds, sans doute artésiens ; leur débit était nul ou faible et dans ce dernier cas il a pu être annulé facilement par un traitement convenable. Les puits de mine produisent un débit réduit. La plupart sont maintenant bouchés.

Ce sont plutôt les puits de mine, même rebouchés, qui, à long terme, peuvent poser un problème. Ils contiennent des bouchons épais peu perméables de cendres volantes. En principe l'eau circulera lentement dans la partie centrale du puits sans lessiver les parois de sel qui sont protégées par un cuvelage de briques et moellons. Cependant, l'expérience des puits Amélie montre qu'un contournement des bouchons et une circulation de l'eau à l'extrados derrière les cuvelages est possible ; on ne peut exclure que le phénomène aille en s'amplifiant dans la mesure où la dissolution du sel aura tendance à agrandir les discontinuités empruntées par l'eau. Dans tous les cas, l'eau plus ou moins saturée en sel atteindra le fond du puits et s'écoulera vers les parties basses de la mine qui s'emplieront progressivement de saumure saturée. On s'attend à ce que la dissolution ne s'effectue pas trop préférentiellement au voisinage du pied du puits, et que la création de nouveaux vides ne soit pas trop exclusivement localisée à cet endroit ; en effet, la vitesse de la saumure étant assez lente, elle ruissellera au dessus de la lame de saumure déjà en place, saturée, et qui protégera le mur des dissolutions ultérieures. Ce schéma favorable est assez plausible ; il est dommage qu'on ne dispose pas de plus de mesures et observations effectuées au pied des puits déjà bouchés qui confirmeraient ce schéma d'ensemble.

Il faut noter que l'accélération de l'ennoyage pourrait avoir des conséquences directes sur la stabilité des terrains au voisinage des puits ; elle n'affecterait qu'indirectement le confinement des produits stockés.

Du point de vue du risque de l'accélération de l'ennoyage, ce sont les puits qui constituent la partie du système sans doute la plus sensible.

Durée de l'ennoyage

Comme on l'a vu, l'Ineris, dans rapport du 9 mars 2011, retient 3 hypothèses pour le débit d'ennoyage (22 000 m³/an, 58 000 m³/an, 105 000 m³/an), la dernière étant jugée la plus plausible, et 3 hypothèses pour le volume des vides restant à remplir en 2010, (8,2 Mm³, 16,3 Mm³ et 32,7 Mm³), la dernière étant jugée la plus vraisemblable. La durée d'ennoyage peut ainsi prendre neuf valeurs distinctes en croisant les hypothèses. Pour les deux valeurs jugées les plus plausibles (105 000 m³/an et 32,7 Mm³), on obtient une durée de 300 ans en considérant que les mines Amélie et Marie-Louise sont communicantes. Si cela n'était pas le cas, il faudrait 670 ans pour remplir la mine Amélie, l'admission d'eau se faisant seulement par 5 puits. La fourchette de valeurs calculées pour la durée de l'ennoyage s'étend selon les hypothèses retenues entre 120 et 650 ans.

Avec les hypothèses les plus plausibles, le site de stockage lui-même serait atteint après 240 ans ; le volume des vides sus-jacents serait alors d'environ 7 Mm³. En fait, si aucune barrière à l'entrée de l'eau n'a été mise en place, le stockage aura déjà été atteint par l'eau qui descend par les puits Joseph et Else. L'Ineris estime son débit à 1700 m³/an. Il remplirait les vides (300 000 m³ aujourd'hui, mais qui diminueront à cause du fluage) en un siècle environ, mais, une fois le stockage rempli, le débit déborderait du stockage et de la saumure contaminée par les déchets irait à la rencontre du niveau de saumure profond résultant de l'ennoyage général.

On peut noter que selon toute vraisemblance, un volume d'air important restera piégé dans la partie la plus haute de la mine ; sa pression finale après ennoyage complet sera élevée. Il faut éviter qu'il puisse remonter brutalement à la surface par un puits. L'air a une compressibilité élevée et retardera la dernière étape de l'ennoyage, avec des conséquences possibles pour l'étendue de la dissolution dans les derniers puits ennoyés.

Le COPIL considère que l'ennoyage complet des vides miniers résiduels dont fait partie Stocamine est inéluctable à terme et doit être intégré dans un scénario de stockage illimité des déchets. La valeur moyenne de 300 ans pour la durée de l'ennoyage est vraisemblable compte tenu des connaissances actuelles mais une incertitude importante règne sur cette estimation ; une durée de l'ordre du siècle ne pouvant être exclue.

Ces constatations justifient une surveillance de l'ennoyage, qui doit être mise en œuvre sans plus attendre, que l'on retire ou non les déchets.

Stabilité de la masse de saumure contenue dans la mine après ennoyage

Les mouvements de saumure au sein des vides ennoyés conditionnent l'émission de polluants émanant du stockage vers l'environnement. L'ennoyage de Stocamine ne conduira pas à une situation stable dans laquelle la saumure et les polluants qu'elle peut contenir seraient, de manière certaine, immobilisés indéfiniment. Plusieurs mécanismes ont été envisagés dans les différentes études analysées par le COPIL. Certains facteurs (cicatrisation, stratification par densité) tendent à la stabilisation ; d'autres au contraire (écarts de charge hydraulique entre les têtes des puits, poursuite de la fermeture des vides miniers) engendreront des mouvements de la masse de saumure auxquels on ne peut fixer de limite définie dans le temps

Plusieurs mécanismes ont été examinés dans les différentes études.

Facteurs de stabilité de la masse de saumure

Cicatrisation et cristallisation

A très long terme, quand la fermeture est achevée, la continuité du massif salifère et sa très faible perméabilité naturelle se reconstituent. Ce phénomène de cicatrisation est évidemment favorable dans le cas d'un stockage car il entraîne l'encapsulation des déchets qui sont alors confinés par le sel lui-même. La cicatrisation est favorisée quand le sel est chaud, profond et humide. L'existence de ce mécanisme est certaine ; il contribuera au confinement à très long terme ; toutefois sa vitesse, qui dépend de nombreux facteurs, n'est pas bien connue. Il n'est pas raisonnable de compter qu'il sera

achevé après 300 ans (durée possible de l'ennoyage), même dans la zone de stockage dont la vitesse de fermeture est plus rapide.

L'Ecole de Chimie de Mulhouse a proposé un autre mécanisme, la cristallisation provoquée par l'écart de potentiel chimique entre partie haute et partie basse d'une colonne de saumure saturée, dû aux forces de gravité. Mais ce mécanisme théorique n'a pas encore à notre connaissance été clairement confirmé, par exemple par des observations dans les nombreuses cavernes de dissolution réalisées dans le sel, de sorte qu'il n'est pas raisonnable pour l'instant de baser le confinement sur un tel mécanisme.

Il faut donc supposer que les vides miniers et le stockage présenteront encore après ennoyage complet une certaine perméabilité, qui permettra en principe la circulation de la saumure si certaines conditions sont remplies.

Stratification par densité

Une mine remplie de saumure saturée constitue un piège gravitaire : la saumure saturée est sensiblement plus lourde (densité de l'ordre de 1,2) que l'eau douce (ou moins salée) dont l'arrivée s'effectue à partir de la surface et il se met en place une stratification par densité avec une interface plus ou moins nette entre la saumure et l'eau douce qui flotte au-dessus. Il existe de nombreux exemples d'une telle ségrégation dans des eaux libres relativement calmes (fjords) ou dans les exploitations de sel par dissolution (exploitation par la méthode des pistes en Lorraine) et elle est *a priori* encore plus efficace dans un milieu peu ou très peu perméable comme des puits ou des galeries convenablement bouchés. La ségrégation peut donc être stable et la saumure ne peut plus alors remonter vers la surface. La ségrégation par effet densitaire est le principal mécanisme apparaissant spontanément qui assure le confinement dans un stockage ennoyé. Il faut donc examiner avec soin les effets susceptibles de le perturber.

Facteurs susceptibles de mettre la saumure en mouvement

Poursuite de la fermeture des vides après ennoyage

Comme le fluage des vides résiduels se sera poursuivi pendant la période d'ennoyage à la vitesse de 0,1% par an, il restera alors 29 Mm³ de vides miniers remplis de saumure (de 7 à 29 millions selon les hypothèses retenues). Cette saumure sera expulsée après la fin de l'ennoyage sous l'effet d'un fluage considérablement ralenti en raison de la contrepression exercée par la colonne de saumure contenue dans les puits. Si on retient l'ordre de grandeur de 0,01% par an pour cette vitesse de fluage post-ennoyage, le débit expulsé serait de 2900 m³/an soit 8 m³/jour. Cette valeur résulte d'une cascade d'hypothèses, certaines assez solides, d'autres plus incertaines et il faut seulement la retenir comme ordre de grandeur. Ce n'est pas une valeur élevée. Les exploitations de saumure pour l'industrie chimique, en Lorraine ou dans le sud de la France, ont une production qui peut être supérieure de deux ordres de grandeur. Ce débit sera réparti entre les 15 puits, en fonction de leur perméabilité. On discutera plus loin si la saumure expulsée peut ou non entraîner avec elle des substances dissoutes provenant du stockage.

Pour limiter ce phénomène, il est évidemment préférable que l'ennoyage soit lent, pour que la fermeture des vides miniers et du stockage soit la plus avancée possible à la fin de l'ennoyage.

Circulation due à des écarts de charge hydraulique en tête des puits

La circulation due à un écart de charge hydraulique entre les différents points de communication hydrauliques entre la saumure profonde et le système aquifère superficiel, notamment en tête des puits ou de sondages mal rebouchés, est un effet qui peut être théoriquement important. L'écart de charge doit être assez grand pour que la circulation soit efficace et d'autant plus grand que le circuit hydraulique d'un exutoire à l'autre est long, profond et peu perméable ; il doit être également suffisant pour compenser l'effet densitaire évoqué ci-dessus. Ce point a été analysé par l'Ecole des Mines, puis Mica et Cesame, avec des hypothèses assez analogues, et enfin, plus récemment, par l'Ineris.

En l'absence du phénomène d'expulsion de saumure par fermeture des vides, un équilibre stable peut être réalisé, si l'on imagine que les puits qui auraient tendance à constituer des exutoires sont remplis de saumure saturée jusqu'au niveau des dits exutoires et qu'on trouve dans la partie supérieure des puits qui auraient tendance à être introducteurs, de l'eau douce ou de la saumure faiblement saturée. C'est une configuration idéale car la saumure pourrait rester parfaitement piégée au fond. Mais elle peut être remise en cause par plusieurs mécanismes, l'un d'entre eux étant que la saumure expulsée par fermeture des vides déplace les bouchons d'eau douce proches de la surface qui bloquent la circulation ultérieure. Il faut alors considérer au contraire l'hypothèse la plus pessimiste, dans laquelle tous les puits sont remplis par des colonnes identiques de saumure pratiquement saturée sur toute la hauteur du puits faisant ainsi disparaître l'effet densitaire. Comme tous les puits ne sont pas au même potentiel hydraulique près de la surface (en raison de l'écoulement naturel dans la nappe alluviale du Rhin due à la dénivellation du sud vers le nord) un écoulement a tendance à s'établir avec entrée d'eau dans les puits du secteur sud (Joseph et Else, notamment) et sortie par les puits du secteur nord (Ungersheim). Le débit de circulation est globalement proportionnel à la différence de charge entre l'amont et l'aval et dépend de l'impédance hydraulique du cheminement souterrain de la saumure qui s'effectue par les puits et les travaux miniers en cours de fermeture. L'évaluation précise du débit est hors de portée mais une valeur majorante peut être obtenue en considérant que la perte de charge dans l'écoulement est seulement due aux puits rebouchés en appliquant les mêmes hypothèses que celles qui ont servi à l'évaluation du débit d'ennoyage. Compte tenu des faibles écarts de potentiel hydraulique entre l'amont et l'aval, les débits de circulation sont limités à quelques dizaines ou une centaine de m³ par an. Cette valeur est sensiblement plus faible que celle du débit estimé d'expulsion de saumure par fermeture des vides qui reste ainsi le phénomène dominant pour l'émission de saumure vers l'environnement.

Le schéma de circulation qui précède a été considéré pendant la phase d'expulsion de la saumure par compaction des vides résiduels. Une circulation convective du même type peut cependant perdurer après cette phase dans la mesure où le moteur hydraulique provoqué par le gradient piézométrique dans la nappe d'Alsace subsistera. On peut s'attendre à des débits encore plus faibles, voire nuls, car, dans cette configuration, la perméabilité des anciens travaux miniers sera devenue extrêmement faible et le moteur hydraulique sera amoindri dans la mesure où les puits introducteurs d'eau seront parcourus par de l'eau douce ou moins salée et les puits exutoires par de la saumure saturée.

Le COPIL considère que le mécanisme dominant pouvant entraîner l'émission de saumure dans la nappe phréatique après ennoyage total est bien l'expulsion de saumure sous l'effet de la convergence des vides résiduels. En toute hypothèse, le COPIL suggère que la fermeture des puits Joseph et Else soit effectuée de la manière la plus efficace possible, ceci afin de réduire au maximum un écoulement de saumure qui serait engendré par le gradient hydraulique dans la nappe d'Alsace. Il faudra aussi, pour atteindre la plus grande sécurité, montrer qu'hormis les voies d'accès par les galeries et les puits qu'on peut boucher par des barrières ouvragées, il n'existe pas de cheminements possibles dans la masse de sel pour des écoulements de saumure

Circulation à travers le stockage

Le schéma précédent décrit une circulation qui se fait globalement des vides souterrains vers la surface par les puits. Il faut vérifier si cette circulation peut se faire au moins en partie à travers le stockage lui-même. Le débit de circulation dépend de trois paramètres : la longueur du circuit hydraulique suivi par la saumure à travers le stockage ; la perméabilité du stockage, ou aptitude des liquides à y circuler, qui est liée à la porosité, et qui sera sans doute très réduite par la fermeture des galeries ; enfin l'écart de la charge hydraulique en saumure entre le point d'entrée dans le stockage et le point de sortie. Dans beaucoup de cas, même en l'absence de scellement des galeries, le débit qui circulera à travers le stockage, ou une partie de celui-ci, sera très faible ou nul. Mais on ne peut écarter la possibilité de configurations exceptionnelles qui permettraient un débit plus important. Un exemple est une configuration dans laquelle la perméabilité dans un des deux puits Joseph et Else est plus grande sous le niveau du stockage, plus petite au dessus avec l'inverse pour l'autre puits. La circulation locale du bas vers le haut se ferait alors par un circuit en baïonnette qui favoriserait la traversée du stockage.

Le COPIL souligne l'intérêt d'étudier des configurations d'aménagements des connexions du stockage avec le reste des travaux miniers de manière à minimiser le flux pouvant circuler à travers le stockage. Cette mesure vaut principalement à très long terme lorsque le phénomène d'expulsion de la saumure par fluage du massif sera terminé.

Diffusion et convection naturelle

Pour mémoire il existe d'autres mécanismes qui pourraient conduire à l'émission de polluants dans le système aquifère :

- la diffusion moléculaire, qui n'est pas un transport de saumure, mais une migration d'éléments en solution dans une saumure qui peut être globalement immobile : c'est un processus extrêmement lent, et qui peut être encore retardé dans certains cas par fixation des solutés sur les matériaux argileux rencontrés.
- la convection naturelle, c'est-à-dire la circulation de la saumure sous l'effet de l'écart de densité engendré par la différence de température entre le fond et la surface ; c'est aussi un mécanisme très lent dans un milieu poreux tel que le remblai des puits.

Il ressort de ce qui précède que deux types de mécanismes sont susceptibles d'engendrer sur le long terme un débit de saumure vers la surface :

- le phénomène majeur est l'expulsion de saumure sous l'effet de la fermeture des vides souterrains ; son effet peut être contrecarré par la réduction de la porosité ;
- un phénomène secondaire est la circulation convective engendrée par un gradient piézométrique dans la nappe d'Alsace ; son effet peut être contrecarré par la réduction de la perméabilité initiale des vides miniers et par un rebouchage efficace des puits non encore comblés.

La réduction de la porosité et de la perméabilité dans le stockage est discutée dans la conclusion.

Impact de l'émission de saumure sur la nappe alluviale

L'émission de saumure par les puits de mine vers la nappe alluviale aura un impact sur la qualité des eaux se traduisant par une augmentation de la salinité et un apport en flux de polluants chimiques issu de la lixiviation des déchets par la saumure au niveau du stockage. Le premier type d'impact est indépendant de l'option choisie pour la fermeture de Stocamine.

Les études anciennes, notamment celle réalisée par l'Ecole des Mines, donnaient une première évaluation de cet impact au moyen d'un coefficient de dilution de l'effluent du stockage par la nappe alluviale du Rhin dans le cadre d'un « scénario puits ». Pour ce faire, les auteurs retenaient la différence de charge hydraulique en tête des puits de mine comme mécanisme dominant pour l'émission de la saumure et estimaient le débit de cet effluent à un maximum de 40 m³/an. Ils concluaient alors que ce débit mélangé dans l'eau pompée par un forage d'exploitation de l'eau potable au débit de 100 m³/h (~900 000 m³/an), débit facilement fourni par la nappe d'Alsace, conduisait à une dilution de l'ordre de 25 000. Cette estimation doit être notablement révisée avec les connaissances actuelles dans la mesure où le débit de saumure est maintenant évalué à 2850 m³/an selon le scénario de référence sous l'effet de l'expulsion de la saumure par fermeture des vides résiduels qui apparaît à présent le mécanisme dominant.

L'Ineris a fait une évaluation plus approfondie de cet impact dont la méthodologie et les premiers résultats ont été présentés au COPIL sans que les rapports correspondants ne soient disponibles. L'Ineris base son analyse sur trois points : i) une évaluation géochimique de la teneur en polluants du terme source, ii) des scénarios de balayage du stockage par la saumure selon les aménagements réalisés à la fermeture, iii) une modélisation de l'écoulement dans la nappe d'Alsace et de la migration des polluants en son sein.

Les rapports complets de l'Ineris n'étant pas disponibles, et compte tenu des délais pour la remise de son rapport final, le COPIL n'était pas en mesure de vérifier les conclusions de l'Ineris et ne peut donc se prononcer définitivement sur la validité des hypothèses, des calculs et des résultats présentés. Compte tenu de l'importance de ces résultats, il est nécessaire qu'ils soient validés par un tiers-expert.

Concentration du terme source

En fonction des caractéristiques des déchets et de leur environnement géochimique, l'Ineris retient une liste de polluants métalliques dont le comportement en solution peut être discriminé en deux pôles. La solubilité des éléments nickel, plomb, baryum, bismuth, cobalt, cadmium et arsenic est contrôlée par la précipitation-dissolution de phases porteuses minérales et est donc indépendante du rapport eau-solide. La saumure baignant les déchets se charge en ces éléments jusqu'à une concentration maximale que l'Ineris évalue au moyen de modèles géochimiques basés sur la thermodynamique. D'autres éléments en cause comme l'antimoine, le chrome et le mercure ont un comportement labile et leur concentration est directement influencée par le rapport eau/solide ; plus la quantité d'eau en présence est faible plus la concentration est élevée, car cette concentration n'est pas bornée par une limite de solubilité mais résulte de la dissolution de toute la masse en présence. A titre indicatif, on estime qu'environ 50 tonnes de mercure sont présentes dans les déchets ; en fin de période de remplissage du stockage, elles baigneront dans 7000 m³ de saumure donnant lieu à une concentration en mercure dans la saumure de l'ordre de 7 g/l.

Pour ces éléments labiles, les facteurs importants sont donc la masse totale initialement présente dans le stockage et la dilution que subira la concentration des flux issus du stockage. On peut noter que des incertitudes non négligeables règnent sur les quantités stockées. Ainsi, pour les deux éléments qui apparaissent les plus gênants, ces quantités fluctuent de 47 à 78 tonnes pour le mercure et de 79 à 107

tonnes pour l'antimoine, l'Ineris ayant revu à la baisse les estimations antérieures. Ces incertitudes influent directement sur les conclusions de l'analyse de risque car les concentrations sont directement proportionnelles aux masses en présence. En revanche l'incertitude sur les quantités des éléments dont la concentration est déterminée par une limite de solubilité est de moindre conséquence car elle ne joue que sur la durée de l'émission des polluants et non pas sur leurs concentrations à la source

Flux de polluant émis à partir du stockage

Dans une approche préliminaire, l'Ineris étudie deux scénarios d'émission de polluants à partir des puits vers la nappe phréatique, selon que l'on considère que des scellements sont réalisés ou non pour isoler le stockage du reste de la mine.

Dans le cas où l'on n'isole pas hydrauliquement le stockage du reste de la mine, lorsque le niveau de saumure atteint le stockage, celui-ci se remplit en même temps que la mine. La saumure polluée s'accumulera alors dans le volume résiduel des vides miniers sus-jacents au stockage, estimé à 6,8 Mm³ en hypothèse haute (avec une valeur basse de 1,5 Mm³). Ce volume de saumure dissout la totalité des éléments labiles et est expulsé à raison de 0,01% par an, soit 680 m³/an. On remarque que l'incertitude sur le volume résiduel ne porte pas à conséquence dans la mesure où le flux polluant émis reste le même si ce volume change car la concentration et le flux de saumure varient en raison inverse. La concentration émise dans la nappe phréatique est par contre proportionnelle à ce volume.

Dans le cas où des barrières hydrauliques sont mises en place pour isoler le stockage, la mine déborde dans la nappe phréatique avant que le stockage lui-même ne soit rempli de saumure et puisse donc commencer à expulser de la saumure polluée. La masse d'éléments labiles est alors dissoute dans les 7000 m³ de vides résiduels du stockage avec une concentration environ mille fois plus élevée que dans le cas précédent mais le flux de saumure polluée expulsé est réduit à 7000 x 0,01% soit 0,7 m³/an.

On constate qu'en termes de flux polluant émis vers la nappe les deux cas donnent des résultats identiques.

On note qu'il faudra, dans le cas où des barrières hydrauliques seraient mises en place, analyser le risque d'écoulements préférentiels à travers la barrière de sel gemme comprise entre le stockage et le niveau d'exploitation de la potasse situé 25 m au dessus.

Dilution dans la nappe d'Alsace

Pour évaluer l'impact sur la nappe d'Alsace, l'Ineris réalise une modélisation de l'écoulement et du transport de soluté dans cette nappe (sous-traitée au BRGM qui a mis en œuvre son logiciel de simulation des systèmes aquifères Marthe sur la base de données bibliographiques). Les éléments détaillés de cette modélisation n'ont pas été fournis au COPIL mais il en ressort que des concentrations en mercure dépassant d'un ordre de grandeur la valeur 1 µg/L, qui est la norme actuelle pour l'eau potable, peuvent être atteintes.

Ceci conduit l'Ineris à affiner le modèle d'émission du flux polluant à partir du stockage en analysant plus précisément le rôle des barrières hydrauliques. La conclusion est qu'un paramètre important est le rapport entre la vitesse de convergence du stockage et la vitesse de convergence des travaux miniers au moment où le stockage est complètement ennoyé et commence à émettre de la saumure polluée. Le calcul de l'impact sur la nappe phréatique montre alors que pour le mercure la concentration reste en dessous de la valeur de potabilité actuelle pour un rapport inférieur à 0,1 qui devrait, selon l'Ineris être atteint au bout de 1000 ans. Ceci a pour conséquence que le rôle des barrières hydrauliques devrait être de différer l'ennoyage du stockage sur cette durée.

Synthèse par le COPIL

En repartant des concepts dégagés par l’Ineris, le COPIL a tenté sa propre synthèse de l’évaluation de l’impact à long terme du stockage sur la nappe phréatique.

Si l’on admet que l’impact a la même conséquence quelle que soit la date où il se manifeste, son évaluation est indépendante du temps et peut être faite en régime stationnaire. Dans ces conditions, le stockage, rempli de saumure à une date donnée, commencera à émettre de la saumure polluée à une concentration C (kg/m³) sous l’effet de la compaction du vide résiduel v (m³) se manifestant à cette date au taux ε (%/an). Le flux massique de polluant F (kg/an) s’exprime alors par la relation :

$$F = v.\varepsilon.C$$

Il est raisonnablement pessimiste de considérer qu’en régime stationnaire, ce flux ne sera pas stocké dans les vides résiduels de la mine mais émis par les puits vers la nappe phréatique. Comme le stockage se trouve en amont pendage et vers l’extrémité sud de la mine, l’essentiel du volume des vides miniers se trouvent au nord et expulseront par compaction la part maximum de saumure. Il est donc fondé d’admettre que la saumure polluée issue du stockage sera en majorité refoulée vers les puits Joseph et Else et dans une moindre mesure vers Amélie I et Amélie II.

Deux cas se présentent alors en fonction du comportement géochimique des polluants tel qu’il a été analysé par l’Ineris.

Concernant les éléments présentant une limite de solubilité, la concentration C acquiert au sein du stockage ennoyé la valeur C_0 déterminée par les équilibres chimiques, le flux vaut alors :

$$F = v.\varepsilon.C_0$$

Concernant les éléments labiles, leur masse M se dissout dans le volume v et le flux vaut :

$$F = \varepsilon.M$$

Dans la mesure où il n’est pas possible d’agir sur C_0 (ce qui aurait pu être le cas si les déchets avaient subi un inertage avant leur mise en stockage), on dispose de trois degrés de liberté pour réduire le flux et minimiser l’impact :

- pour les substances régies par une limite de solubilité, réduire le vide résiduel du stockage ; ceci peut être obtenu en remblayant l’espace entre les déchets avant fermeture ;
- pour les substances de tout type (labiles ou limitées en concentration), diminuer la vitesse de fermeture des vides résiduels du stockage ; ceci peut-être obtenu en retardant la date de l’ennoyage complet du stockage ou en augmentant la résistance mécanique des matériaux occupant le stockage en remblayant les vides ; ce dernier point rejoint le précédent ;
- pour les éléments labiles (c’est inopérant pour les éléments dont le comportement en solution est régi par une limite de solubilité), réduire la masse présente dans le stockage. Cet objectif peut être atteint en déstockant sélectivement les déchets comportant des éléments posant problème.

Le COPIL prend note que le stockage illimité des déchets actuellement présents à Stocamine peut engendrer à terme des impacts sur la qualité des eaux de la nappe d’Alsace entraînant une altération

de cette ressource. Il estime qu'il existe des voies de recherche permettant d'envisager des mesures compensatoires qui pourraient ramener ces impacts à des niveaux acceptables.

CONCLUSION RELATIVE AU STOCKAGE ILLIMITE

Le principe de confinement des substances toxiques à Stocamine reposait sur la stabilité de la masse de saumure saturée formée dans la mine. Cette masse doit être la plus réduite possible et il est préférable que l'ennoyage soit achevé le plus tard possible, quand la fermeture des vides par fluage du sel est la plus avancée.

Dans le scénario normal, si les mines Amélie et Marie-Louise communiquent hydrauliquement, ce qui est le plus vraisemblable à long terme, l'ennoyage est réalisé après une période de 300 ans environ mais celle-ci peut être beaucoup plus longue si la perméabilité des puits est plus faible que l'estimation assez pessimiste qu'on en a faite. Une évolution conduisant au contraire à un ennoyage plus rapide, notamment par augmentation importante de la perméabilité des puits, est moins probable que dans beaucoup d'autres mines de sel mais ne peut être complètement exclue.

Après ennoyage, deux mécanismes peuvent remettre en cause la stabilité de la masse de saumure résultante. L'existence du premier est pratiquement certaine, celle du second est probable.

Le premier est la poursuite de la fermeture des vides souterrains, à une vitesse réduite quand l'ennoyage sera complet et que les colonnes de saumure dans les puits assureront une certaine contre-pression qui s'opposera à la fermeture des vides. Les débits de circulation que l'on peut estimer sont de l'ordre de grandeur du millier de m³/an. Ils diminueront encore au cours du temps mais l'issue finale inévitable est l'expulsion de la quasi-totalité de la saumure contenue, peut être après des dizaines de milliers d'années. A cette échelle de temps, il est vraisemblable que les déchets auront été encapsulés dans la masse de sel.

Le second est la mise en place d'un écoulement en profondeur provoqué par l'écart de potentiel hydraulique se développant du sud vers le nord dans la nappe superficielle au niveau des puits de mine rebouchés. L'existence d'un tel écoulement n'est pas démontrée car, dans certaines configurations une interface stable entre saumure saturée profonde et saumure non saturée plus près de la surface du sol peut s'établir. Les débits de circulation que l'on peut estimer dans un schéma pessimiste sont de l'ordre de quelques dizaines à une centaine de m³/an, notablement inférieurs à ceux engendrés par le mécanisme précédent.

L'existence de tels mouvements dans la masse de saumure contenue dans les vides souterrains et les puits ne signifie pas nécessairement que de la saumure circulera en quantité significative dans le stockage lui-même. Une telle circulation suppose un écart de charge en saumure entre un point d'accès au stockage et un point de sortie. Il n'existe pas de raison évidente qu'un tel écart se mette en place et perdure mais il ne peut être exclu.

Le scénario de référence peut être considéré comme vraisemblable mais il contient de nombreuses incertitudes quant aux vitesses des différents phénomènes.

Relativement à l'impact sur la nappe phréatique, le mercure est le polluant le plus préoccupant mais des interrogations fortes subsistent sur l'antimoine dont la chimie est très mal connue en milieu salin.

Les études préliminaires de l’Ineris dont le COPIL a eu connaissance montrent sans ambiguïté qu’avec des hypothèses raisonnablement pessimistes on peut calculer que la concentration en mercure dépassera le seuil actuel de potabilité dans la nappe. Ce pronostic est défavorable même s’il s’agirait d’une pollution localisée qui concernerait une surface limitée (un panache d’une longueur de l’ordre de quelques kilomètres en aval des puits par lesquels sortiraient les polluants).

Dans ces conditions il est nécessaire de concevoir et d’analyser les performances de mesures compensatoires indispensables à l’évolution de Stocamine vers un stockage illimité. Ces mesures consistent en :

- -l’analyse et l’évaluation de l’état de la barrière de sel gemme entre le stockage et la couche de potasse exploitée.
- l’interposition d’une barrière supplémentaire entre le stockage et la nappe alluviale. Cette barrière doit être conçue selon deux principes visant à retarder l’ennoyage et à minimiser le taux de compaction des vides résiduels : i) laisser dans le stockage le minimum de vides par injection de produits convenables, ii) réaliser des scellements des accès (21) depuis les travaux miniers vers le stockage ;
- un déstockage de la plus grande partie (on peut être conduit à laisser au fond un petit nombre de fûts très difficilement accessibles) des déchets renfermant les éléments dont le comportement géochimique est identifié comme le plus critique (le mercure, et peut être l’antimoine et d’autres éléments, dans l’état actuel des réflexions). Il sera important de veiller à optimiser la destination ultime de ces déchets, le COPIL recommandant de privilégier le recyclage dans le cas du mercure.

Le COPIL recommande, dans le sens des études déjà réalisées par Stocamine, que le minimum de vides soit laissé dans le stockage et que toutes les voies d’accès au stockage soient fermées par des bouchons étanches dont la conception peut s’inspirer de nombreuses études techniques conduites notamment en Allemagne. Il recommande également qu’un inventaire le plus précis possible des déchets comportant des éléments chimiques à comportement labile soit effectué en même temps qu’une évaluation de la possibilité de leur déstockage.

La surveillance

Le problème de la surveillance post-fermeture est commun à beaucoup d’ouvrages souterrains, stockage de déchets radioactifs, stockage de CO₂, stockage de déchets toxiques.

D’une part, on recherche une solution définitive qui ne fasse supporter à la collectivité et aux futures générations aucune contrainte de surveillance ; on veille au contraire à ce que la sûreté du stockage après sa fermeture soit assurée de manière complètement passive, c’est-à-dire par le jeu des phénomènes physiques naturels (fermeture des vides, encapsulation des déchets, ségrégation de densité) et de barrières artificielles pérennes. Pour un stockage bien conçu, l’intervention humaine après la fermeture est en principe inutile.

D’autre part, l’équilibre final n’est souvent atteint qu’après des évolutions post-fermeture étalées sur plusieurs décennies, sinon plusieurs siècles (fermeture des vides et ennoyage) ; ces évolutions sont parfois susceptibles de modifications (accélération de l’ennoyage) ; de sorte qu’il paraît utile d’assurer au moins pendant une certaine période de temps une surveillance qui permette de vérifier que le

système de stockage se comporte comme prévu par les modèles et de construire la confiance du public.

La surveillance permet également de s'assurer d'un retour d'expérience profitable pour faire évoluer les connaissances et les concepts futurs.

Le COPIL recommande qu'un dispositif de surveillance soit mis en place.

La surveillance doit comporter le contrôle de la qualité des eaux au voisinage des exutoires probables (puits) à la surface du sol et dans la nappe alluviale sur la hauteur souhaitable et de la composition de l'air sous la tête de puits. Mais il s'agit de mesures qui, pendant longtemps, ne fourniront aucune information si l'ouvrage se comporte comme prévu. Une information accessible dès à présent peut être fournie par la mesure de la profondeur de l'eau dans des sondages pénétrant dans la mine, qui renseigneront sur l'état d'avancement de l'ennoyage et de la fermeture des vides.

La mise en place d'un dispositif de mesure du niveau d'eau dans un des puits Joseph ou Else n'est pas souhaitable car elle pourrait faire obstacle à une fermeture efficace et parce que l'arrivée de la saumure ne devrait intervenir que dans un siècle ou plus. Le dispositif devrait donc être constitué par plusieurs sondages de surveillance qui permettent de suivre l'évolution de l'ennoyage par mesure de la progression de l'interface air/saumure dans l'ouvrage. Il en faudrait typiquement deux dans le voisinage de la zone de stockage ; toutefois ils risquent, dans le scénario normal d'évolution, de ne pas permettre d'observer une interface air/saumure avant des décennies. Il faudrait donc prévoir au moins un autre sondage permettant l'accès à un niveau plus profond de la mine Amélie où l'arrivée de saumure sera plus précoce, sinon même déjà réalisée. On pourra alors suivre et analyser l'évolution de l'interface air/saumure dans la mine, vérifier la vitesse d'ennoyage en utilisant la carte des vides souterrains, détecter une éventuelle évolution plus rapide.

Notons qu'en fonction des résultats de la surveillance des niveaux de saumure, il serait possible par l'intermédiaire de forages de procéder dans le futur à un pompage permettant de retarder l'ennoyage du stockage proprement dit. Les débits d'ennoyage estimés sont tout à fait compatibles avec une telle opération.

Une telle surveillance concerne l'ennoyage des travaux miniers et est indépendante de l'avenir des déchets de Stocamine. L'obligation de surveillance est en principe sans limite dans le temps. Ses résultats doivent être interprétés et évalués régulièrement pour en déduire les dispositions à prendre éventuellement. Il peut être bon de fixer une période à l'issue de laquelle une récapitulation complète des résultats serait effectuée.

Les résultats de cette surveillance devront être portés régulièrement à la connaissance du public.

La purge de l'air piégé dans la partie sommitale de la mine devra être réalisée le moment venu, un forage de surveillance de cette pression devrait être réalisé à cette fin en partie sommitale des travaux miniers.

Références

Stocamine. BMG. Stockage souterrain de Wittelsheim : évaluation technique de la variante de la mise en œuvre de la réversibilité. Document du 27 juin 2006.

Stocamine. Institut de sûreté (Ids). Détermination des dangers, rapport 04.wh.002.303517 du 15 juillet 2004. N°29.

Stocamine. AGC Groupe PROMAN. B.Feuga. Comparaison entre les conditions d'isolement des déchets dans le site de stockage de Stocamine et dans quelques sites allemands de stockage en mines de sel ou de potasse » Mars 2010.

Stocamine. Ecole des Mines de Paris, CGES. F.Hadj-Hassen et M.Tijani. Actualisation de l'étude de stabilité du stockage de déchets toxiques dans la mine Amélie. Février 2006.

Stocamine. « Déstockage dans le bloc 11 », note de H. Haegelin, 11 février 2004.

P.Bérest, B.Brouard, B.Feuga. Abandon des mines de sel : faut-il ennoyer ? Revue Française de Géotechnique, n°106-107, 1^{er} trimestre 2004, p.53-71.

Stocamine. Ineris. Stockage souterrain de Stocamine (68). Etude hydrogéologique de l'ennoyage du site. Rapport d'Etude DRS-10-108130-12810B du 9 mars 2011.

Stocamine. Ineris. Etude géomécanique du stockage de Stocamine. Rapport d'Etude DRS-10-108130-130-14273A du 23 décembre 2010.

ANNEXES

- Annexe 1 : Lettres de mission du COPIL
- Annexe 2 : Ordres du jour des réunions du COPIL
- Annexe 3 : Composition du COPIL
- Annexe 4 : Résumé de « Mise en œuvre de la réversibilité »
- Annexe 5 : Contribution de W. Wildi et M. Buser
- Annexe 6 : Situation juridique en Allemagne, Professeur Watzel
- Annexe 7 : Conditions de travail, M. Rolshoven
- Annexe 8 : Contributions de S. Alt
- Annexe 9 : Contributions de B. Maréchal
- Annexe 10 : Géomécanique, G. Vouille
- Annexe 11 : Résumé des entretiens avec les syndicats et les délégués mineurs
- Annexe 12 : Problème du puits W1
- Annexe 13 : Documentation fournie par Stocamine

Annexe 1 : Lettre de mission du COPIL



PRÉFET DU HAUT-RHIN

Colmar, le 9 mars 2011

Nos réf. :/

Affaire suivie par :

Tél. – Fax :

**Monsieur Pierre BEREST
Président COPIL STOCAMINE
19 Rue du Lycée**

92330 SCEAUX

Monsieur le Président,

Le ministre m'a confié le 24 juin dernier la mission d'engager le processus devant aboutir à la fermeture définitive du site de stockage souterrain de déchets de Stocamine. A cette fin il m'a chargé d'organiser une large concertation avec l'ensemble des parties prenantes, d'examiner tous les scénarios possibles et de mettre en place un comité de pilotage d'experts.

Ce comité de pilotage a d'ores et déjà été installé dans la composition suivante :

- les quatre collèges de la CLIS (Etat, Collectivités locales, industriels, associations et « sachants ») ainsi que les représentants du personnel ont désigné chacun deux experts ;
- à ces membres s'ajoutent, en outre, trois personnalités qualifiées, dont une de nationalité étrangère, internationalement reconnues pour leurs compétences dans les différents domaines concernés par le dossier.

Le Comité de pilotage a pour mission de :

- réaliser une étude critique de la pertinence et de l'exhaustivité des scénarios et des variantes présentées par l'exploitant ;
- établir une méthodologie d'évaluation et de comparaison desdits scénarios ;
- relever et exploiter les éléments d'ores et déjà en possession de l'exploitant et notamment les études réalisées par INERIS ;
- identifier les compléments et contre expertises à demander à l'exploitant et à INERIS et définir le cahier des charges nécessaire ;
- rédiger une synthèse des travaux du comité de pilotage, comportant la récapitulation des scénarios étudiés et leur évaluation par ses membres.

Je précise que le comité de pilotage, dans le cadre de ses missions, demandera à l'exploitant, STOCAMINE, de produire les études, et de les présenter devant ses membres ; les compléments d'études et les tierce-expertises demandés par le comité de pilotage seront financés par l'exploitant.

Le Comité de pilotage doit présenter son expertise à la CLIS qui, pour sa part, assure l'information du public.

Je vous ai chargé, en tant que personnalité reconnue internationalement, d'assurer la présidence de ce comité de pilotage. Dans le cadre de la mission que j'ai reçu du ministre il m'appartient de vous confirmer les contours des fonctions que vous avez accepté d'assurer.

Je souhaite avant tout que le Comité de pilotage travaille sur un périmètre le plus large possible et examine tous les scénarios, sans se limiter à ceux que proposent l'exploitant et l'INERIS ; l'objectif est d'être exhaustif et en capacité d'évaluer et de comparer les différents scénarios.

Il vous appartient, en particulier :

- de présider et animer les réunions du Comité de pilotage et d'arrêter l'ordre du jour de ses réunions ;
- d'inviter, en cas de besoin, les intervenants extérieurs dont vous jugerez la présence utile (Stocamine et INERIS devront être considérés comme des intervenants extérieurs) ;
- de définir les champs d'intervention et les modalités de travail des experts, dans l'intervalle des réunions du comité : les experts membres du comité devront suivre le programme d'action que vous aurez préalablement et collégialement décidé.

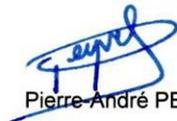
Par la suite, il vous appartiendra de présenter votre rapport devant le Président et les membres de la CLIS à qui tous les membres du comité de pilotage doivent la primeur de leurs informations.

Vous transmettez au Président de la CLIS les compte rendus des réunions du comité de pilotage, dont la rédaction assurée par la DREAL sera validée par les membres dudit comité.

Vous présenterez à la CLIS la synthèse de vos travaux au cours des deux réunions prévues à cet effet.

Je vous confirme que j'attacherai du prix à ce que le COPIL que vous présidez ait rendu ses conclusions pour la fin du premier semestre 2011, conformément à ce qu'a demandé la CLIS.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Président, l'expression de ma considération distinguée, *et la*
meilleure.


Pierre-André PEYVEL



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE,
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER

Direction régionale de
l'environnement, de l'aménagement
et du logement
Alsace

Strasbourg, le 15 novembre 2010

Service Risques Technologiques

Nos réf. : 2296_2010 11-15_Wittelsheim_COPIE CLIS

Vos réf. :

Affaire suivie par : G WOLF

gilbert.wolf@developpement-durable.gouv.fr

Tél. 03 88 13 06 26 – Fax : 03 88 36 98 13

**COMITE de PILOTAGE de la CLIS
STOCAMINE à WITTELSHEIM**

Invitation à la réunion du 19 novembre 2010

Objet : Réunion du comité de pilotage Stocamine le 19 novembre 2010 dans les locaux de la DREAL Alsace.

A l'occasion de la réunion de la CLIS STOCAMINE du 16 septembre 2010, il a été décidé la création d'un comité de pilotage (COPIE) dont les membres sont mandatés par chaque collège de la CLIS, complétés par deux experts désignés par les représentants du personnel, un président de comité, un représentant du bureau d'étude réalisant les tierces-expertises et un secrétaire.

Le comité de pilotage est chargé d'analyser les éléments du dossier élaboré par la société Stocamine, relatif au projet de fermeture. Ses missions consistent à :

- réaliser une analyse critique de la pertinence et de l'exhaustivité des scénarios et des variantes qui ont été envisagés,
- établir une méthodologie pour les évaluer et les comparer,
- identifier et exploiter le travail déjà réalisé par Stocamine et en particulier les études réalisées par l'INERIS,
- rédiger le cahier des charges pour une expertise tiers des dossiers élaborés par Stocamine :
 - les travaux nouveaux à réaliser
 - les compléments par rapport aux études INERIS à réaliser
 - les études INERIS à tiers-expertiser,
- réaliser une synthèse du travail du comité qui présentera une récapitulation des scénarios envisagés et l'évaluation qu'en fait le comité.

Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Alsace
2, route d'Oberhausbergen BP 81005 / F 67070 STRASBOURG
8h30-12h00 / 13h30-17h00 - Tram A-D ou bus 17-19 La Rotonde
Tel : 03 88 13 05 00 – site internet: <http://www.alsace.developpement-durable.gouv.fr>

Les modalités du fonctionnement du COPIL, validés par la CLIS, sont les suivantes : le comité de pilotage se réunira 6 fois à un rythme environ mensuel. Le président du COPIL est nommé par le Préfet parmi les experts et la DREAL en assure le secrétariat. La société Stocamine est conviée aux réunions du COPIL afin d'y présenter ses travaux et répondre aux questions des membres du comité.

Le comité rend compte à la commission locale d'information et de surveillance à l'occasion de deux réunions.

Les 6 réunions susmentionnées interviendront entre novembre 2010 et la fin du premier semestre 2011.

La première réunion du COPIL aura lieu le 19 novembre 2010 dans les locaux de la DREAL Alsace à Strasbourg, vous trouverez ci-dessous la proposition de l'ordre du jour :

- 09H00 *Accueil des participants*
- 09H30 *Introduction pour la réunion du COPIL par François Rousseau, chef du service « Risques Technologiques » de la DREAL,*
- 09H50 *Tour de table et présentation des experts (domaine de compétence et collègue représenté),*
- 10H30 *Présentation des études réalisées par Stocamine et l'INERIS,*
- 11H00 *Questions et débats*
- 12H30 *Fin de la réunion du COPIL*

Une réunion de la CLIS, en présence des experts du COPIL, aura lieu le 9 décembre 2010, à 09H00, à la mairie de Wittelsheim et une visite des zones de stockage souterraines de Stocamine aura lieu le 20 janvier 2011, en présence de M le Préfet du Haut-Rhin.

Pour la Directrice régionale,
Le Chef du Service Risques Technologiques

F. Rousseau

Annexe 2 : Ordres du jour des réunions du COPIL

19 NOVEMBRE, locaux de la DREAL à Strasbourg

- Mise en place du COPIL, François Rousseau, DREAL Alsace
- Introduction, Bernard Gensburger, STOCAMINE
- Exposé de Jean Claude Pinte, INERIS « Thèmes d'étude : Géomécanique, Hydrogéologie et transfert, Terme Source, Risques sanitaires et environnementaux »

9 DECEMBRE 2010, locaux de la DREAL à Strasbourg

- Exposé de Marcos Buser, COPIL « Assainissement de Saint-Ursanne, Suisse »
- Exposé de Mehdi Ghoreychi, INERIS « Etudes géomécaniques réalisées pour Stocamine »
- Exposé de Philippe Gombert, INERIS « Comportement hydrogéologique du site après sa fermeture »
- Réunion interne du COPIL

20 JANVIER 2011, locaux de la CCI à Mulhouse

- Exposé de Jean Claude Pinte, INERIS « Faisabilité du déstockage »
- Exposé de Pierre Toulhoat, INERIS « Terme source »
- Réunion interne du COPIL

28 FEVRIER 2011, locaux de la DREAL à Strasbourg

- Exposé de Jacques Bureau et Jean Claude Pinte, INERIS « Méthodologie de comparaison des scénarios »
- Exposé de Bernard Gensburger, STOCAMINE « Cas du Bloc 15 »
- Exposé du Professeur Watzel, COPIL « Stockage en mine de sel en Allemagne, réglementation, mise en œuvre »
- Exposé de Gérard Vouille, COPIL « Géomécanique »
- Réunion interne du COPIL

1 AVRIL 2011, locaux de la DREAL à Strasbourg

- Exposé de Vincent Lafèche, INERIS « Comparaison des scénarios »
- Réunion interne du COPIL

4 AVRIL 2011, Wittelsheim, puis locaux de la CCI à Mulhouse

- Présentation à la CLIS (Composition du COPIL, Méthode de travail, Texte provisoire sur le retrait)
- Réunion interne du COPIL

23 MAI 2011, locaux de la DREAL à Strasbourg

- Entretien avec les représentants syndicaux
- Exposé de Jean Claude Pinte et Mehdi Ghoreychi, INERIS « Etude complémentaire de comparaison, mesures de maîtrise des risques »
- Entretien avec les délégués mineurs
- Réunion interne du COPIL

22 JUIN 2011, locaux de la DREAL à Strasbourg

- Réunion interne du COPIL

7 JUILLET 2011, Wittelsheim

- Présentation à la CLIS du rapport du COPIL

Annexe 3 : Composition du COPIL

Président : Pierre BEREST¹, directeur de recherches à l'Ecole Polytechnique

Vice-président : Gérard VOUILLE¹, directeur de recherches retraité, Ecole des Mines de Paris

Membres:

- Stefan ALT⁶, Géologue diplômé, de l'Öko-Institut de Darmstadt
- Hafid BAROUDI², directeur de GEODERIS, GIP Après-Mine
- Marcos BUSER⁴, Géologue diplômé ETH Gutachten et Beratungen
- Philippe COSTE³, Ingénieur chimiste, ancien ingénieur-conseil au laboratoire de chimie de la CRAM-SE
- René GIOVANETTI³, Ingénieur civil des Mines, retraité MDPA
- Emmanuel LEDOUX², directeur de recherche, Centre de Géosciences, Ecole des Mines de Paris.
- Benoît MARECHAL⁶, Docteur en géochimie, ingénieur civil des mines, Expert Risques Industriels et Risques Sanitaires- Sites pollués, BG Ingénieurs Conseil
- Bernard MEYER⁵, Docteur-ingénieur en chimie, expert près de la Cour d'Appel
- Max ROLSHOVEN⁵, Bergassessor, dipl. Bergingenieur, ancien responsable du Service Sécurité Générale des Mines de la Sarre
- Professor Ralph WATZEL¹, Regierungspräsidium Freiburg-Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau
- Walter WILDI⁴, Directeur de l'Institut F.A. Forel, Université de Genève

¹Personnalités reconnues internationalement

²Nommé sur proposition des administrations

³Nommé sur proposition des représentants du personnel

⁴Nommé sur proposition des associations

⁵Nommé sur proposition des exploitants

⁶Nommé sur proposition des collectivités territoriales

Annexe 4 : Résumé de « Mise en œuvre de la réversibilité »

1. Retrait ou stockage illimité. L'alternative n'est pas entre : « Retrait, ou stockage illimité à Stocamine » mais entre : « Stockage illimité à Stocamine, ou stockages illimités ailleurs, en France (C1) et en Allemagne (C0, et C1 ?) ».

Il faudra établir, dans chaque hypothèse, que le bilan environnemental global est positif.

2. Retrait partiel ou total. Les résultats des analyses de risque conduisent la majorité des membres du COPIL à n'envisager qu'un retrait partiel des déchets. Notamment les déchets amiantés, qui ne présentent plus de danger après ennoyage, pourraient être laissés au fond, si cela ne complique pas le retrait à l'excès.

En toute hypothèse il faudra assurer une fermeture correcte de Stocamine.

3. Etat mécanique. Le stockage avait été conçu à l'origine, en 1996, pour être réversible. Le déstockage partiel du bloc 11 a montré que les mouvements du toit et du mur rendaient déjà en 2001-2002 la réversibilité moins facile que prévu initialement. La section initiale des galeries était 5,5 m x 2,80 m ; la vitesse de fermeture actuelle moyenne est de l'ordre de 3 à 5 cm par an mais de plus, le premier banc au toit et au mur (au moins) est décollé. Le risque est la chute de blocs. Si on vise un déstockage vers 2013-2015, les mouvements cumulés auront rendu le travail plus difficile et les risques plus importants.

4. Incertitudes sur le contenu des colis. L'incendie de 2002 a engendré une suspicion compréhensible sur le contenu des colis. Si ce doute persistait, il rendrait plus difficile l'acceptation des colis retirés par le nouveau centre d'accueil et compliquerait une appréciation correcte des risques pendant le retrait. Le COPIL note au contraire que les déchets Solupack, cause probable de l'incendie, ont été stockés bien qu'ils aient été clairement identifiés par le personnel, dès leur arrivée, comme non conformes.

Le COPIL estime que les procédures mises en place et la conscience professionnelle des personnels garantissent que l'inventaire doit être conforme. Par exemple, entre 1999 et 2002, 20 lots représentant 250 tonnes au total ont été réexpédiés suite à la constatation d'une non-conformité.

Lors d'un retrait, cette conformité pourra être confirmée par échantillonnage aléatoire.

5. Risque d'épandage. Hormis les risques de chutes de bloc, l'épandage du contenu d'un colis et la mise en suspension de particules toxiques dans l'air ambiant est le risque majeur en manutention. Ce risque ne peut être sous-estimé. Par exemple, même si la technique utilisée alors ne serait sans doute pas reconduite, dans le cas particulier du retrait partiel du bloc 11 réalisé en 2001-2002 « environ 10% des big-bags se sont déchirés pendant la prise » (rapport de Stocamine).

Il faudra donc, chaque fois que les déchets présentent un risque par inhalation, isoler la zone des déchets à déstocker des zones saines (voies de circulation) par un sas en surpression par rapport à la zone de stockage.

6. Aspiration pour réduire les effets de l'épandage. Il est vraisemblable qu'il faudra, *au moins souvent*, avoir une aspiration au plus près du front de reprise des colis ou un sas en dépression. Il est vraisemblable qu'il faudra installer une ventilation générale des zones de circulation.

7. Protection individuelle en cas d'épandage. Il est vraisemblable qu'il faudra, *au moins souvent*, et chaque fois que l'on sera en présence de déchets amiantés, travailler avec une protection respiratoire individuelle du type masque à adduction d'air, ce qui implique un travail pénible limité à 2,5 heures de travail en continu avec avis du médecin du travail.

8. Dispersion des colis dans le stockage. Une grande dispersion des catégories de colis de déchets au sein du stockage compliquerait le retrait. Stocamine a fourni au COPIL des plans de localisation qui montrent qu'une dispersion est présente mais reste relativement limitée.

9. Déchets amiantés. Le risque associé à ces déchets (environ 4000 tonnes, soit 9% du total) est l'entrée de fibres d'amiante dans le système respiratoire. Après ennoyage, les déchets amiantés ne présentent donc plus de danger, ni pour les personnes, ni pour l'environnement. En cas de retrait, ils présentent un risque sévère pour les travailleurs si des fibres d'amiante sont mises en suspension dans l'atmosphère.

Il faut envisager de les laisser au fond, s'il apparaît qu'on peut ainsi diminuer les risques pour les travailleurs sans engendrer de complication supplémentaire pour le chantier. Dans les zones qui contiennent des déchets amiantés, que ceux-ci soient remontés ou qu'on les abandonne au fond, le chantier pourrait être assimilé à un chantier de désamiantage, avec nécessité d'intervention d'entreprises certifiées. Un plan de retrait spécifique, devrait alors y être établi.

Cette décision est du ressort des services de l'inspection du travail.

Stocamine a fourni au COPIL un plan de la couche inférieure de colis qui fait apparaître 137 localisations de colis amiantés, d'importance variable. Cette dispersion pourrait néanmoins laisser la possibilité de fractionner le chantier par zones avec et sans amiante. Toutefois le maintien d'un tel fractionnement pendant le chantier suppose un isolement physique des zones contenant les déchets amiantés par des systèmes de sas surpression/dépression prévenant toute pollution des zones non amiantées par des fibres d'amiante.

10. Qualification des personnels. Le chantier exigera des personnels formés aux difficultés à la fois du travail en mine et du travail en condition de risque chimique dont le risque cancérigène, et capables d'apprécier correctement des situations appelant fréquemment à choisir entre plusieurs options.

Si l'inspection du travail décidait d'assimiler le chantier à un chantier de retrait de déchets amiantés, seules des entreprises certifiées pourraient intervenir dans les zones concernées. L'inspection du travail devra donner dérogation aux mineurs et autres intervenants pour pouvoir travailler en co-activité avec les entreprises certifiées.

Cette dérogation s'accompagne d'une obligation de formation pour tous les salariés susceptibles d'intervenir dans les zones pouvant être contaminées par des fibres d'amiante.

11. Durée du retrait. Il y a 70 000 colis à retirer en cas de retrait total. En 2001-2002 le retrait partiel s'est effectué à la vitesse de 40 colis/jour. Les bureaux d'études estiment un retrait possible à 80 colis/jour, 3 à 4 ans hors bloc 15, divisé par 2 si on double les équipes (IdS) ; et 72 colis/jour à 2 équipes soit 5 ans, hors préparation et fermeture des puits, en supposant un poste de 7 heures (BMG). Le COPIL s'est divisé sur l'appréciation de la durée du retrait.

La majorité des membres estiment qu'une durée de 5 à 10 ans est vraisemblable, compte tenu des aléas inévitables et de la nécessité de porter au moins souvent un équipement de protection individuelle. D'autres membres pensent qu'avec des mesures d'organisation et un outillage adaptés le retrait en 1 à 2 ans est réalisable.

La phase de préparation, d'obtention des autorisations et de mise en place du retrait pourrait durer deux ans.

12. Stockage temporaire en surface. Il faudra mettre en place au jour des capacités de stockage temporaire et de reconditionnement (hangars en rétention avec quais de chargement sur camion et/ou wagon) suffisantes pour garantir un regroupement de qualité, sans risque de confusion, et un contrôle rigoureux des déchets avant expédition vers les autres centres de stockage.

13. Incident majeur. Il faut prendre en compte l'hypothèse d'un arrêt inattendu et *définitif* du retrait. Les conditions particulières du chantier de retrait renforcent la probabilité d'un tel arrêt. Un plan de stockage illimité, en cas d'incident grave, des déchets non encore retirés, doit être préparé.

14. BLOC 15. Le toit du bloc 15 s'est vraisemblablement en partie effondré, au moins dans la zone incendiée, comme le laisse prévoir l'état du toit et du mur aux entrées d'air. Il faudra dégager le toit sur 2 m, ce qui produira quelques dizaines de milliers de tonnes de sel dont une partie constituera des déchets supplémentaires. On sera en présence de colis amiantés qui exigent une protection particulière.

La composition exacte des suies formées pendant l'incendie est mal connue *a priori*. Une protection complète sera très vraisemblablement obligatoire en cas de retrait. Le retrait des déchets du bloc 15 sera beaucoup plus difficile que le retrait des déchets du reste du stockage. Une majorité de membres du COPIL estiment que le retrait des déchets du bloc 15 doit être proscrit du fait de l'impossibilité de garantir la sécurité du personnel. En tout état de causes, la décision de retrait du bloc 15 devrait être différée en attendant le retour d'expérience du retrait des autres blocs.

15. Ampleur du chantier. Qu'il soit partiel ou complet, le retrait sera une opération de grande ampleur. Un soin particulier devra être apporté à la constitution de l'équipe de projet, avec un encadrement à la mesure de la difficulté de préparation et de mise en œuvre du chantier. Il faudra s'assurer que les entreprises qui apporteront leur concours à Stocamine disposent du savoir-faire, de l'expérience et de la compétence nécessaires à une appréciation correcte des risques. La co-activité (travaux miniers ET manutention de déchets) devra être soigneusement gérée. La préparation du chantier, dont la planification détaillée des tâches, devra être minutieuse. Des solutions de repli en cas de difficulté devront avoir été préparées. Un bilan régulier du retour d'expérience devra être organisé. Si toutes ces conditions ne sont pas remplies, un échec est vraisemblable.

Conclusions.

Le COPIL estime que le retrait des colis de Stocamine est techniquement possible mais qu'il s'agirait d'un chantier complexe et très difficile. Il présentera des risques pour la santé des personnels concernés. On ne doit pas sous-estimer les risques d'accidents de personne pendant le retrait.

On ne peut être certain de pouvoir conduire le retrait à son terme ; il faut alors que le stockage illimité des déchets restants soit possible et ait été étudiée.

Pour le COPIL, le retrait, dont on rappelle qu'il pourrait être partiel, doit être envisagé si les études de risque établissent qu'au moins une certaine partie des substances stockées fait courir à long terme à l'environnement des risques inacceptables.

Par ailleurs, bien que le COPIL n'ait reçu aucune information dans ce sens, on peut imaginer que les pouvoirs publics estiment le retrait souhaitable pour des raisons nationales qui dépassent le cadre de Stocamine (par exemple pour établir la crédibilité de la notion de réversibilité). Le COPIL a estimé que l'examen d'une telle hypothèse sortait de sa mission.

Annexe 5 : Contribution de M. Buser et W. Wildi

**Rapport présenté dans le cadre
du mandat du COPIL StocaMine**

**StocaMine :
Fermeture du site de stockage de déchets
de catégorie 0 et 1, étude des variantes et
développement durable**

1er juillet 2011

par Marcos Buser² et Walter Wildi³

² Marcos BUSER, Dipl.geol. ETH, Gutachten & Projekte, Funkackerstrasse 19, CH-8050 Zurich, marcos.buser@bluewin.ch

³ Prof. Walter WILDI, Institut F.A.Forel, Université de Genève, 10 route de Suisse, CH-1290 Versoix, walter.wildi@unige.ch

**StocaMine : Fermeture du site de stockage de déchets de catégorie 0 et 1,
étude des variantes et développement durable**

Rapport présenté dans le cadre du mandat du COPIL StocaMine

Par Marcos Buser et Walter Wildi

Préambule

La « Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil » (19 novembre 2008) fournit le cadre général concernant la gestion des déchets en précisant notamment (art. 13, protection de la santé humaine et de l'environnement) : « Les Etats membres prennent les mesures nécessaires pour assurer que la gestion des déchets se fait sans mettre en danger la santé humaine et sans nuire à l'environnement, et notamment:

a) sans créer de risque pour l'eau, l'air, le sol, la faune ou la flore;

. . . »

Cette directive s'inscrit dans une politique de gestion intégrée des ressources, visant à maîtriser la consommation de ressources naturelles, notamment en réduisant la production de déchets, puis en favorisant leur réutilisation, le recyclage et la valorisation (<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/introduction.vm>; voir aussi : OFEV 1986 : « Lignes directrices pour la gestion des déchets en Suisse »).

Si cette politique prend de plus en plus forme pour la plupart des déchets ménagers et certains déchets industriels, elle peine à s'imposer pour les déchets dangereux, où le stockage direct, sans autre tri, réutilisation ou valorisation domine le marché depuis plusieurs décennies, et continue de nos jours, surtout par le biais de la décharge dans d'anciennes mines de sel et sur des décharges aménagées en surface. Ces solutions se sont soldées au cours des dernières années par de nombreux échecs et par la suite par des projets d'assainissements engendrant souvent des coûts exorbitants.

Le cas de StocaMine se situe dans cette même logique : La mine a été excavée pendant les années 1990, dans le but d'accueillir des déchets de classe 0 et 1 destinés à un dépôt final, sans réel traitement ou conditionnement au préalable, donc à bas coût. Bien que l'autorisation administrative du stockage ait été liée à la garantie d'une possible réversibilité pendant une durée de 30 ans, peu ou rien n'a été fait pour assurer celle-ci. En conséquence il a suffi, après le stockage de 14% de la quantité de déchets initialement prévue, d'un incendie dans une des galeries de la mine pour arrêter l'accueil de déchets et pour que le détenteur du site postule une stabilité réduite des galeries de la mine, rendant le retrait des déchets risqué, voir dangereux.

Avec l'intention déclarée du détenteur de fermer la mine, on se trouve devant une situation, où expertise minière et hydrologique sont demandées pour trouver une issue. En attendant, malgré 15 ans d'exploitation de la mine, les connaissances du site restent très lacunaires. En effet, aucune surveillance systématique des mines et galeries abandonnées par MDPA n'a été mise en place, et seules des données ponctuelles concernant les venues d'eau et l'ennoyage du domaine minier ont été récoltées. En conséquence, l'analyse de sécurité pour un scénario de fermeture de la mine par convergence et ennoyage des galeries, est essentiellement basée sur un modèle théorique, construit par « avis d'expert ». Le résultat de cette modélisation reste invérifiable et ne pourrait être validé que par une mise en scène du scénario en question et une observation pendant des décennies ou des siècles.

Il va de soi, qu'une telle éventualité ne correspond en rien aux exigences de la directive européenne de gestion des déchets, en matière de sécurité pour la population et l'écosystème. **Dans ce rapport, élaboré dans le cadre du mandat confié au COPIL, il s'agit donc de proposer une solution durable qui offre les garanties de sécurité à long terme exigées.**

1. Introduction

La société StocaMine, créée en 1991, est contrôlée depuis 2005 par les MDPA⁴ en tant qu'unique actionnaire. La société a été autorisée par arrêté préfectoral du 3 février 1997 à exploiter à Wittelsheim un stockage souterrain réversible de déchets industriels pendant une durée de 30 ans. A l'issue de cette période, l'exploitant devait soit retirer les déchets, soit déposer une demande d'autorisation pour prolonger l'activité du site ou pour le transformer en stockage à durée illimitée. La capacité totale autorisée portait sur 320'000 tonnes de déchets.

44'000 tonnes de déchets de classe 0 et 1⁵ y ont finalement été stockés, notamment des déchets arsénisés, chromiques, mercuriels ou amiantés et des REFIOM⁶ (annexe 1). Le stockage est aménagé dans les galeries creusées dans les couches de sel sous-jacentes au gisement de potasse exploité antérieurement par les MDPA.

Le 10 septembre 2002, un incendie s'est déclaré et a consumé les déchets et endommagé en partie les galeries du bloc de stockage n° 15. L'activité de stockage a alors été suspendue. Depuis le sinistre, le site n'accepte plus de déchets, mais reste en exploitation en tant que site minier. Il incomberait notamment d'assurer la maîtrise des déchets et la réversibilité du stockage. La maintenance et l'entretien minier sont sous-traités depuis 2007 à la société polonaise KOPEX.

Actuellement StocaMine est soumise à la réglementation suivante (G. Wolf, communication écrite):

⁴ MDPA : Mines de Potasse d'Alsace

⁵ Classification des déchets : Classe 0 : déchets obligatoirement destinés au stockage souterrain ; Classe 1 : déchets pouvant être éliminés dans un Centre d'Enfouissement Technique de classe 1 (CET 1).

⁶ REFIOM : Résidus d'Épuration des Fumées d'Incinérations des Ordures Ménagères

- La société Stocamine exploite un stockage souterrain de déchets industriels, autorisé par arrêté du préfet du Haut-Rhin N° 970157 en date du 03 février 1997, pris en application des articles R 512- 28 et suivants du Code de l'Environnement.
- Cet arrêté, accordé pour une durée de 30 ans (article R 512-35 du CdE) à compter de la date de notification, soit jusqu'en 2027, est toujours valide et les prescriptions relatives à la sécurité et à la surveillance du dépôt de déchets sont toujours applicables.
- En ce qui concerne le code minier, la société Stocamine n'est pas soumise aux dispositions de cette réglementation qui s'applique aux MDPAs (Mines de potasse d'Alsace) qui ont créé des cavités spécifiques exploitées par Stocamine, à environ 600 mètres sous terre, dans les bancs de sel gemme situés sous la couche de sylvinite dans un rectangle de 1000 m par 850 mètres.
- Les installations (au jour et au fond) de Stocamine relèvent de la législation générale du travail et non du code minier. Les installations de Stocamine ne sont pas soumises au RGIE.⁷

Concernant la situation actuelle du site de stockage, DREAL ALSACE mentionne dans son rapport d'avril 2010 :

- Une déformation des galeries qui augmente les risques pour les travailleurs et rend plus difficile l'accès aux déchets.
- Une corrosion des fûts, sans conséquences apparentes à ce jour.
- Des entrées d'eau très limitées et sans conséquences à ce jour.
- Une absence de garanties financières pour la surveillance du site et le maintien de la sécurité de l'installation.
- Un fonds de garantie insuffisant pour couvrir les frais de remontée des déchets.

Concernant les perspectives, la DREAL constate:

- La convergence naturelle des galeries rend plus difficile l'accès aux déchets, les travaux au fond et en particulier la mise en place du scénario de réversibilité.
- Les coûts de maintenance et d'entretien des infrastructures augmentent.
- Après la fin des MDPAs et le transfert de 100% de l'actionnariat de StocaMine à l'Etat :
 - Le régime minier est à maintenir.
 - Des mesures sont à prévoir pour éviter les risques de pollution à très long terme suite à l'envoyage naturel.

Pour l'avenir du site de stockage, la DREAL cite les hypothèses développées par StocaMine:

- Nécessité du confinement des déchets du bloc 15, endommagé par l'incendie de 2001.
- Faisabilité de la réversibilité pour les autres déchets, pour un montant de 80 à 100 M€.
- La préférence pour un stockage illimité par envoyage, puis d'une surveillance du site, y compris de la nappe alluviale, au moins jusqu'à la fin du remplissage.

Concernant ces hypothèses, la DREAL ALSACE constate:

- Un scénario de réversibilité trop vite écarté par StocaMine.
- La nécessité d'un bilan écologique qui apportera un éclairage pertinent sur l'intérêt de ce scénario et qui devrait constituer une base d'évaluation de l'opération.
- L'irréversibilité du bloc 15 ne doit pas constituer un à priori. Une telle décision devrait être motivée.
- « Un stockage à durée illimitée aux conséquences et aux modalités insuffisamment analysées. Ce scénario pose la question de la garantie à long terme de l'absence d'impact environnemental sur la base de modélisations de phénomènes géologiques. L'expérience locale doit conduire l'administration et l'exploitant à faire preuve de modestie dans l'utilisation de ces outils prédictifs. »

⁷ RGIE : « Règlement Général des Industries Extractives »

« L'étude de BMG Engineering AG conclut en cas d'évolution normale du stockage, que les risques pour l'homme et l'environnement sont acceptables. En revanche, en fonctionnement dégradé (rupture d'un bouchon par exemple), les risques pourraient être importants, notamment du fait du lessivage des déchets pouvant conduire à des dépassements des seuils d'acceptabilité. La probabilité associée à cette hypothèse devrait être analysée. »

« Les moyens permettant de prévenir ou de maîtriser ces risques devraient être clairement étudiés. Les moyens de surveillance ne sont pas suffisamment abordés et explicités. »

« L'abandon des déchets mérite l'analyse de différentes options : Compartimentage des galeries, inertage ou encapsulage des déchets . . . sont autant de solutions alternatives à la solution minima présentée, les barrages de sel. »

« L'étude d'impact sur les enjeux à long terme est insuffisante.»

Dans la suite de l'évolution du dossier, à l'occasion de la réunion de la CLIS STOCAMINE du 16 septembre 2010, après avoir pris connaissance du rapport de Caffet et Sauvalle (2010), il a été décidé la création d'un comité de pilotage (COFIL) dont les membres sont mandatés par chaque collège de CLIS, complétés par deux experts désignés par les représentants du personnel, un président de comité, un représentant du bureau d'étude réalisant les tierces-expertises et un secrétaire. Le comité de pilotage est chargé d'analyser les éléments du dossier élaboré par la société StocaMine, relatif au projet de fermeture. Ses missions consistent à :

- réaliser une analyse critique de la pertinence et de l'exhaustivité des scénarios et des variantes qui ont été envisagés,
- établir une méthodologie pour les évaluer et les comparer,
- identifier et exploiter le travail déjà réalisé par StocaMine et en particulier les études réalisées par l'INERIS,
- rédiger le cahier des charges pour une expertise tiers des dossiers élaborés par StocaMine :
 - les travaux nouveaux à réaliser
 - les compléments par rapport aux études INERIS à réaliser
 - les études INERIS à tiers-expertiser,
 - réaliser une synthèse du travail du comité qui présentera une récapitulation des scénarios envisagés et l'évaluation qu'en fait le comité.

Le COFIL s'est réuni une première fois le 19 novembre 2010 à Strasbourg. Depuis cette première séance, jusqu'à la séance du 23 mai 2011 il a centré ses travaux essentiellement sur la question des difficultés du retrait des déchets des galeries de StocaMine et de leur transfert éventuel dans une mine de sel en Allemagne. Les autres questions posées par la DREAL ALSACE (2010), et notamment celles concernant les aspects du risque à long terme en cas de stockage illimité (ennoyage de la mine et transformation du site en dépôt final) ont été reléguées clairement en deuxième position de l'ordre du jour. Une demande de la part des auteurs du présent rapport concernant l'urgence de l'établissement d'une expertise par des entreprises spécialisées dans le domaine du stockage profond de déchets spéciaux et des possibilités de déstockage n'a pas été prise en compte par le COFIL.

Le présent rapport a été rédigé dans le but d'exprimer un avis sur les risques environnementaux à long terme et les stratégies à développer en vue d'une fermeture du site dans le cadre d'une politique de développement durable.

2. Documentation

Les membres du COPIL ont profité dès le début de leur travail de la liste bibliographique fournie par StocaMine (annexe 2, références [1] à [46]) et des rapports (en forme électronique) figurant sur cette liste. Les résultats des travaux réalisés par INERIS, soit à la demande de StocaMine, soit demandés par le COPIL, ont été présentés au cours des séances du COPIL et mis à sa disposition sous forme de présentations *power point*. Les rapports détaillés, justifiant les thèses et hypothèses de l'INERIS, n'ont été mis à disposition que tardivement et partiellement, et n'ont en conséquence pas pu être expertisés correctement par le COPIL, ni par d'autres experts, contrairement à la demande exprimée par la CLIS. Le COPIL ne disposait pas non plus des projets concrets de fermeture de la mine de StocaMine.

3. Etat des déchets

Les 44'000 tonnes de déchets énumérés dans l'annexe 1 ont été déposés dans les galeries de stockage dans les emballages et colis suivants (BMG 2006, p. 10, [34]). :

- Big-bags en tissu synthétique, avec une capacité de 1000 ou 1500 kg, posés sur des palettes (1 big-bag par palette). Total : 53'900 big-bags, dont 19'000 de la classe 0.
- Fûts métalliques, le plus souvent de 200 l, avec une housse interne en polyéthylène (à l'exception des fûts pour sel de trempé). Les fûts sont fermés par un bouchon, soit en plâtre, soit en béton, charbon actif ou encore en polyuréthane. Un type de fût comporte un deuxième fût interne en polyéthylène, de 120 litres ; l'espace entre les deux est rempli de béton. Quatre (exceptionnellement trois) fûts sont regroupés sur une palette. Total : 8'800 palettes, dont 7'800 de classe 0.
- Palettes filmées, avec déchets en vrac ou en « pièces » (ex. tuyaux ou autres matériaux contenant de l'amiante). Total : 1'300 palettes toutes de classe 1.
- Conteneurs métalliques de 120 x 120 x 110 cm, fermés hermétiquement, en partie avec une housse interne en polyéthylène. Total : 200 conteneurs, de classe 0.

Les déchets n'ont subi aucun traitement spécifique (traitement thermique, conditionnement en béton ou autre). Ils se trouvent le plus souvent en vrac (poudres, débris, pièces), ou éventuellement en masse compacte (sels de trempé). A leur acceptation, les déchets ont été étiquetés et inventoriés, échantillonnés et analysés de façon aléatoire (à l'exception des déchets amiantés), et leur emplacement a été cartographié.

Dans son rapport de 2006, BMG (p. 13, [34]) mentionne une possible altération et fragilisation des big-bags. 10% des colis auraient subi des déchirements lors d'un essai de déstockage de déchets à PCB dans le bloc 13 en 2001-2002, mais sans utilisation d'outils spécialement conçus à cet effet. Le taux élevé d'atteintes (blessures) aux big-bags lors du déstockage demande une explication.

En revanche, l'état visuel des big-bags stockés sur le front des galeries ne relève pas d'anomalie. De même, les fûts peuvent montrer des gonflements à hauteur des bouchons de plâtre, mais sont autrement manifestement en bon état. Ce constat est confirmé par l'absence d'émanation de gaz polluants dans l'air (op. cit. p. 7). Les palettes en bois des rangées supérieures ont souvent cédé sous le poids des big-bags supérieurs et du fait de la faible cohésion des big-bags inférieurs sur lesquels reposent ces palettes. Un deuxième phénomène relatif à ces mouvements de palettes induits par des mouvements du mur doit être considéré. L'évaluation de l'importance de ces mouvements demanderait cependant une information cartographique de l'état de la surface du sol au moment de la mise en place des déchets.

4. Etat et évolution des galeries d'accès et de stockage

A leur excavation, les galeries avaient les profils suivants :

- Voies d'accès : 3.8 m de largeur, 2.8 m de hauteur
- Allée : 5.5 m de largeur, 2.8 m de hauteur
- Recoupe : 5.5 m de largeur, 2.8m de hauteur

La convergence horizontale par fluage du sel était évaluée à 3.5 à 9.5 cm/an, soit entre 0.64 et à 1.7%/an (BMG, 2006, p.7, [34]) ; ce taux serait également valable pour la convergence verticale. Selon l'INERIS (exposé au COPIL, décembre 2010), les mesures in situ donnent cependant actuellement des vitesses distribuées entre 0,35% et 1,3% par an, donc significativement plus petites.

Concernant les processus de convergence, deux situations différentes sont observées :

- Dans les galeries creusées à 25 m sous le niveau de potasse (blocs 15, 16, 25 et 26), plusieurs bancs de sel localisés dans le toit, fortement stratifiés et séparés par des niveaux de marnes, se sont partiellement décollés, cassés et peuvent s'écrouler dans les galeries, vides de déchets, à l'exception de celles d'une partie du bloc 15.
- Dans les galeries creusées à 23 mètres sous le niveau de potasse (ce sont celles qui contiennent la plupart des déchets), toit et mur peuvent également montrer des phénomènes de décollement local, mais bien plus faibles et sans cassure de la roche. Les galeries contiennent en général deux couches superposées de big-bags, ou alors de fûts. Dans certaines galeries, les parements peuvent être au contact des colis de la couche supérieure de big-bags. De façon générale, les galeries montrent une stabilité satisfaisante et conforme aux attentes dans ce genre de mine.

Dans les deux cas mentionnés ci-dessus, les fractures dans les piliers contribuent de façon significative à la convergence horizontale.

Processus de fluage et processus cassants et de décollement jouent donc un rôle important dans la convergence horizontale et verticale des galeries, sans qu'il soit possible pour l'instant de quantifier correctement la part de chacun des deux processus.

5. Option du stockage final par ennoyage de la mine : le chemin vers un dépôt final

Critères de la fermeture et transformation en dépôt final :

Simple fermeture minière de StocaMine ou la fermeture définitive en présence de déchets toxiques de catégorie 0 et 1 représentent deux cas de figure très différents :

- Dans le cas de la **fermeture d'une mine**, il s'agit essentiellement d'assurer la stabilité des terrains de surface, et de limiter l'écoulement de saumure de sel dans la nappe phréatique. Bien qu'un tel écoulement puisse être dommageable pour la qualité de l'eau potable, il s'agit à priori plus d'une gêne que d'un danger. De plus, les contacts naturels entre couches salines (zone salifère supérieure) et quaternaire occasionnent une salinisation supplémentaire des eaux de surface (cf. profil en p. 59 du rapport Mica [28]).
- Dans le cas d'une **fermeture définitive en présence de déchets toxiques** il s'agit de la transformation d'une mine en un **dépôt final** où, à l'exemple des déchets nucléaires, l'exigence de base est la sécurité à long terme (dans le cas présent : sans limite de temps), afin de préserver santé et vie humaine ainsi la qualité des écosystèmes, dans l'esprit du développement durable (préservation des chances et équité avec les générations futures). Ceci implique notamment que les conditions suivantes soient remplies :
 - Garantie du confinement des substances toxiques par un système de barrières naturelles et techniques robustes, résistant aux différents processus de mobilisation et de transfert des substances du dépôt vers la biosphère.
 - Situation géologique et hydrogéologique stable : Protection de l'érosion par des couches hydrogéologiques de faible perméabilité, suffisamment épaisses, absence de rentrées d'eau dans les zones de stockage par des anciens puits d'exploitation, des sondages ou des zones hydrauliquement affaiblies par l'exploitation.
 - Stabilité à long terme des mesures de protection, principalement stabilité géo - mécanique et géochimique des remplissages des puits, galeries d'accès et galeries de stockage, garantie de fermeture étanche du système souterrain.
 - Garantie de la non - réactivité des déchets au contact de saumures (formation de gaz, formation de pâtes boueuses, réactivités au niveau de la chimie des déchets, rhéologie des pâtes etc.)

La durabilité de ces conditions de stockage doit être démontrée et validée par des procédures scientifiquement robustes. La validation de la fermeture étanche des puits et des entrées des galeries de stockage nécessite une méthodologie qui n'a encore été développée nulle part dans les projets de stockage profond de déchets toxiques ou radioactifs.

Dans le cas présent, les déchets déposées dans les galeries de la mine ne sont protégés que par leur emballage (big-bag ou fût), et par la barrière de la roche encaissante, le sel. Cette dernière constitue en conséquence la seule barrière substantielle à moyen et long terme. Les experts mandatés par StocaMine et les experts du COFIL conviennent dans leur appréciation qu'un ennoyage de la mine par l'arrivée d'eau le long des anciens puits (ou autres cheminements non encore identifiés ?) est inévitable à terme (cf. ci dessous).

Risque environnemental :

A l'occasion de la séance du COFIL du 23 mai 2011, INERIS a présenté les scénarios de fermeture du site de stockage, sans retrait des déchets. Le scénario de base serait le suivant :

- Les puits d'accès sont fermés par des bouchons de faible perméabilité.
- Les galeries de stockage sont fermées par des barrières ouvragées en bentonite et contournées par des courts-circuits hydrauliques.
- Fermeture des vides miniers par fluage et ennoyage naturel des vides miniers restants (à l'exception des galeries de stockage), en un délai d'environ 300 ans.
- Expulsion de la saumure dans la Nappe d'Alsace en fonction de la fermeture des vides miniers par fluage.
- Remplissage des galeries de stockage en quelques milliers d'années et expulsion de la saumure contaminée dans la Nappe d'Alsace.

Malgré les dispositions de fermeture prévues, les calculs d'INERIS indiquent qu'une pollution de la Nappe d'Alsace n'est pas évitable, si l'ennoyage se produit avant une période de 1000 ans. Même si des doutes pèsent toujours sur le bien-fondé de tels modèles et de tels calculs, un déstockage partiel ou complet des déchets paraît inévitable afin de prévenir cette pollution.

Aucune autre étude concernant les risques liés à la transformation du site en dépôt final (voir ci-dessus) n'a été réalisée à ce jour.

6. Option du déstockage total ou partiel

Le rapport BMG (2006, [34]) fournit une analyse de la variante du déstockage. Le COFIL s'est ensuite préoccupé de cette question tout au long de ses travaux. Il est admis à ce jour que le déstockage s'impose dans les conditions suivantes (COFIL):

- a) Si le risque environnemental, notamment de pollution de la Nappe de l'Alsace, est trop élevé (cf. ci dessus).
- b) Si une autre raison d'intérêt supérieur l'exige (cf. chapitre 7).

Dans le scénario du déstockage il convient d'analyser en particulier les aspects suivants :

- Expériences existantes sur le déstockage de déchets spéciaux en mine.
- L'inventaire des déchets à déstocker, ou à laisser éventuellement dans la mine.
- Les conditions de risques miniers spécifiques durant les opérations de déstockage
- Les conditions techniques et de sécurité des travailleurs pendant les travaux de déstockage.
- Le devenir des déchets après déstockage (tri, transport, conditionnement, retraitement, restockage).
- Les conditions d'autorisation pour les installations de surface et le transport des déchets.
- Les aspects financiers et l'organisation de l'opération, du déstockage au dépôt final.

Expériences existantes sur le déstockage de déchets spéciaux en mine :

Le déstockage de déchets spéciaux en mine a été couramment pratiqué sur les sites suivants:

- a) Dépôt de déchets spéciaux dans l'ancienne mine de sel de Herfa-Neurode: Depuis 1972, près de 3 millions de tonnes de déchets spéciaux du même type que ceux stockés à StocaMine ont été entreposés à Herfa-Neurode. Les galeries de Herfa-Neurode sont beaucoup plus larges que celles de StocaMine et environ 2 fois plus hautes. Le dimensionnement de la mine par chambres et piliers assure des conditions de stabilité. Pour des motifs de sécurité de travail, des mesures d'ancrage ont été réalisées.

Les principes de stockage ont été copiés par StocaMine sur le modèle de Herfa-Neurode. Sur le site Allemand les déchets sont également conditionnés dans des big-bags et des fûts. Un tri des déchets par catégories dans des galeries spécifiquement aménagées à cet effet n'a pas été réalisé. En général, les fûts et big-bags sont posés sur des palettes dès l'arrivée dans les galeries de stockage. L'emplacement de chaque lot de déchets est ensuite répertorié, de façon à le retrouver aisément en cas de besoin.

Au cours de la dernière décennie, 30'000 tonnes de déchets spéciaux ont été à nouveau déstockés, ce qui a nécessité le déstockage et restockage d'un important nombre de colis. Il existe à Herfa-Neurode une grande expérience du déstockage et du restockage de big-bags et fûts sur palettes et une importante expérience des techniques de récupération des risques associés à ces opérations. La protection des travailleurs dans ces programmes de récupération de déchets est assurée.

- b) Déchets spéciaux entreposés dans la mine de calcaire à St-Ursanne: Entre 1998 et 2007 d'importants travaux d'assainissement ont été réalisées dans l'ancienne mine de calcaire de St-Ursanne. Les mines de St-Ursanne avec des galeries de 12 à 15 m de hauteur en moyenne ont présenté des risques miniers importants lors de l'évacuation des déchets qui avaient été entreposés durant plusieurs décennies. Plusieurs étapes d'assainissement ont été réalisés, principalement sur des déchets galvaniques stabilisés et des déchets galvaniques en vrac, des lots de big-bags avec divers déchets stabilisés ou des fûts avec huiles minérales entreposées dans des masses de déchets divers. Au total, plus de 100'000

m³ de matériel ont été retravaillés. Après assainissement complet, la mine a été remblayée avec près de 900'000 m³ de déblais propres, provenant de la construction autoroutière. Le site est aujourd'hui entièrement assaini. Aucun accident humain ne s'est produit. Toutes les opérations de déstockage et d'élimination de déchets ont été menées dans le respect des lois, tout particulièrement en ce qui concerne les dispositions pour la protection des travailleurs.

Les soussignés ont présenté au COPIL les deux projets cités. Concernant Herfa-Neurode, il a été proposé de faire venir les spécialistes de ce site à StocaMine dans le but d'évaluer la faisabilité et les risques d'un déstockage. Toutefois à notre connaissance, cette invitation n'a jamais été adressée à Herfa-Neurode.

Il convient de signaler que le site de Herfa-Neurode n'a pas été retenu dans le rapport Feuga (2010). Sur proposition des soussignés, le site de Herfa-Neurode a fait l'objet d'une évaluation des risques à long terme dans la présentation d'INERIS à l'occasion de la séance du COPIL du 23 mai 2011. INERIS estime qu'il y a équivalence entre la fermeture de StocaMine avec barrières et le restockage à Herfa-Neurode. Nous reviendrons sur ce point dans le chapitre 7.

Inventaire des déchets à déstocker :

Tous les déchets actuellement présents en fond de mine seraient à déstocker, à l'exception éventuelle des déchets suivants :

- Déchets amiantés : Déchets sur palettes filmées ; év. déchets dans des big-bags, contrôlés pour l'occasion par des personnes autorisées.
- Déchets du bloc 15, consommés partiellement par incendie. L'option d'un déstockage reste toutefois ouverte tant que ce bloc n'a pas fait l'objet d'une investigation détaillée.

Il est noté que les problèmes de la manipulation des big-bags avec des déchets amiantés sont similaires que ce soit pour un déstockage ou pour une réorganisation dans les galeries en vue de leur dépôt final à StocaMine, pour autant que les big-bags ne soient pas endommagés. Un travail en équipement de protection fermé permet de gérer ce type de risque, mais alourdit évidemment les opérations. Notons que ces risques existaient déjà lors de mise en stockage.

Conditions techniques et de sécurité des travailleurs :

- Compartimentage de la mine en zones de sécurité et de contamination admise (zones blanche, grise, noire).
- Mise en place d'un dispositif de sécurité, selon la législation en cours.
- Organisation des travaux selon deux métiers (ou compétences) :

- *Risques miniers* : (a) analyse des risques miniers et recommandations pour la gestion des risques miniers; (b) sécurisation des galeries avant et pendant le déstockage par du personnel spécialisé (pose d'ancrages) ;
- *Déstockage* : déstockage par des équipes spécialisées, de préférence dirigées par des cadres expérimentés en déstockage (ex. Herfa Neurode). Le nombre d'équipes nécessaires à un travail en continuité dépendra des conditions de protection à choisir (surtout de la nature des déchets déstockés).
- Travail sous protection adéquate selon le type de déchets à déstocker ou à déplacer dans la mine et selon les dispositions requises pour la protection de la santé.
- Dispositif de ventilation adapté aux travaux en cours ; aspiration rapprochée si nécessaire.

Devenir des déchets après déstockage :

Les problèmes rencontrés pour une éventuelle acceptation de la transformation du site de StocaMine en dépôt final sont le fruit de la politique européenne en matière d'élimination des déchets spéciaux au cours des dernières décennies. En effet, l'attribution « généreuse » d'autorisations de stockage de déchets toxiques dans des mines de sel (principalement en Allemagne) a conduit, d'une part à l'établissement de décharges souterraines très importantes, mais dont la preuve de faisabilité d'un stockage final selon des critères de sécurité stricts reste difficile, voir impossible. D'autre part, cette offre de stockage bon marché a fait disparaître beaucoup de techniques et installations de traitement de déchets. Même la recherche sur ces techniques a été sérieusement affectée. En conséquence, les problèmes rencontrés à StocaMine se poseront sur la plupart des sites de stockage en mine profonde à moyen et long terme⁸.

Concernant les déchets déstockés à StocaMine, les scénarios suivants peuvent être considérés :

- a) Reconditionnement et tri des déchets -> évacuation vers des sites de stockage pour déchets de Classe 1 en France et de Classe 0 en Allemagne ou même évacuation intégrale des déchets vers l'Allemagne -> éventuellement restockage provisoire dans des centres d'accueil spécialisés aménagés sur des décharges en surface (C1), ou dans des anciennes mines de sel (C1 et C0). Dans cette hypothèse, le traitement des déchets en vue de leur inertisation, et leur conditionnement pour stabilisation sont remis à plus tard. En revanche, l'entreposage dans des sites de stockage plus importants que celui (avorté par accident) de StocaMine, permettra une surveillance des déchets et de l'environnement à la hauteur des exigences les plus strictes. Le site de stockage de Herfa Neurode (Allemagne) offre à notre connaissance les meilleures conditions pour la réalisation de cette variante pour les déchets de Classe 0. Par ailleurs, le déstockage se pratique couramment dans cette installation, par exemple en vue d'un recyclage de certaines substances.
- b) A terme: Tri des déchets et mise en place d'une stratégie de gestion durable :
 - Extraction et recyclage des substances utilisables.
 - Traitement thermique à haute température et inertisation des déchets spéciaux restants (incinération des produits phytosanitaires) ; si possible vitrification.

⁸ L'existence actuelle de grands centres de stockage qui permettent de concentrer en un nombre limité de sites de grandes quantités de déchets a au moins l'avantage de permettre sur ces sites une surveillance adéquate, puis de prévoir l'application de mesures globales en matière de traitement des déchets et leur évacuation vers des dépôts finaux.

- Dépôt final des fractions restantes dans un site approprié.

Conditions d'autorisation pour les installations de surface et le transport des déchets :

La nature et le contenu des autorisations nécessaires à la procédure de déstockage, de traitement, de transport et de restockage des déchets ne pourront être définie que lorsque le choix de la variante sera arrêté.

Organisation de l'opération et aspects financiers :

L'organisation de l'opération et les moyens techniques mis à disposition seront déterminants pour le calendrier de réalisation du déstockage. Un travail en équipes permettrait d'accélérer les opérations de déstockage. Un plan hygiène et santé au travail (PHS) devrait être établi afin de préciser le déroulement technique détaillé et les moyens de protection mis en œuvre selon les dispositions légales en vigueur. Le suivi et la surveillance des opérations de déstockage doivent de même être assurées.

Le coût des opérations dépendra dans une large mesure de l'organisation des travaux. En conséquence l'expertise et l'expérience des entreprises impliquées joueront un rôle majeur. Un cahier des charges établi par un groupe d'experts pourrait servir de base pour un appel d'offres.

7. Autres enjeux majeurs

Plusieurs enjeux majeurs sont à considérer dans le cadre du dossier StocaMine.

1. *Effets d'une décision de confinement des déchets à StocaMine sur les programmes nucléaires:* Dans le cas où le déstockage à StocaMine serait abandonné, d'importants effets sur les programmes de stockage profond de déchets nucléaires sont à prévoir. En effet, l'option de réversibilité d'un stockage de déchets nucléaires ne sera plus crédible au vu de l'échec de StocaMine. Il est à rappeler que StocaMine avait garanti la réversibilité pendant les 30 premières années d'exploitation. Or, nous sommes actuellement dans la 15^{ème} année d'exploitation.
2. *Effet d'un assainissement du dépôt de déchets nucléaire à Asse (Allemagne):* Des études sont actuellement en cours sous la conduite de l'Office fédéral Allemand de la protection contre les radiations (BfS) en vue d'assainir le dépôt de déchets radioactifs dans l'ancienne mine de sel d'Asse. Dans cette mine, les conditions de sécurité sont de loin plus dramatiques et la manipulation des déchets radioactifs de moyenne activité, respectivement de déchets radioactifs non conditionnés pose des enjeux de sécurité d'une toute autre dimension que dans le cas présent. Dans le cas de la réalisation de l'assainisse-

ment de la mine d'Asse, la crédibilité des institutions scientifiques et politiques autour du cas Stoca-Mine serait sérieusement affectée.

3. *Effet des assainissements d'anciennes décharges de déchets spéciaux*: Le scénario d'une fermeture définitive de StocaMine sans un assainissement au préalable apparaîtrait également comme peu crédible en face des assainissements de décharges de déchets spéciaux réalisés en Suisse et ailleurs (p.ex. en Suisse: décharges de Koellikon et Bonfol, décharges de la chimie bâloise autour de Bâle).
4. *Changement des bases légales*: Dans le passé, le cadre légal dans le domaine de la gestion des déchets a été systématiquement renforcé du fait de nouvelles connaissances scientifiques. Il est probable que cette tendance persiste. Dans le cas d'une fermeture de StocaMine sans assainissement au préalable, un assainissement ultérieur, beaucoup plus difficile, plus risqué et plus coûteux que ce qui paraît actuellement faisable se dessinerait à l'horizon.
5. *Concentration des déchets sur des sites majeurs* : La re-concentration de déchets spéciaux issus de dépôts mineurs sur quelques grands sites de dépôt ne résout pas le problème de l'enfouissement de déchets spéciaux dans le sous-sol géologique. Mais il concentre les déchets sur quelques points et facilitera les travaux à prévoir pour l'établissement d'un dépôt final: sites définitivement assainis d'un côté, concentration sur d'autres sites de l'autre, avec la possibilité d'intervention globales plus importantes. De même, la surveillance, les questions relatifs aux conflits de ressources et à la mémoire seront plus faciles à résoudre (cf. ci dessous).
6. *Conflits de ressources* : Avec un déstockage intégral, tous les conflits de ressource naturelle issus de StocaMine sont résolus: Absence de conflit de ressource, soit absence d'impact de la ressource naturelle sur la sécurité du dépôt final, absence d'impact du dépôt final sur la disponibilité des ressources. Les ressources naturelles en question sont notamment les suivantes : eaux de surface et eaux souterraines, espace et espace habitable, géothermie, sel gemme, potasse, espace de stockage (séquestration) de CO₂, hydrocarbures.
7. *Surveillance* : Dans le cas de la fermeture du site en tant que dépôt final, la mise en place et la maintenance d'un programme de surveillance intense seront nécessaires pour le site de StocaMine. La validation des modèles actuellement considérés sera nécessaire. De nouveaux problèmes pourraient surgir dans le cas où les validations ne pourraient pas être apportées, ou si les prédictions des modèles théoriques actuels s'avéraient fausses. On reviendrait alors, de façon involontaire, à un scénario de dilution des substances dans la Nappe de l'Alsace.
8. *Mémoire*: Pour les dépôts finaux, la mémoire doit être assurée sur le long – terme. Des programmes de ce type sont en voie de développement dans le cadre du stockage des déchets nucléaires, mais restent inconnus dans le cas des déchets spéciaux. Les incertitudes en relation avec la garde de la mémoire sont considérables.

8. Conclusions et recommandations

- Suivant les exigences développées aux chapitres 5 et 7, l'option du stockage final par envoi n'est pas envisageable à StocaMine dans les conditions actuelles. En effet, la seule barrière du sel, ou la combinaison de cette barrière avec des fermetures de galeries en bentonite, ne pourraient garantir la protection de la Nappe de l'Alsace et ainsi le respect des exigences de protection de la santé et de la vie humaine, de même que de la protection des écosystèmes à long terme. Avec le sel comme seule barrière réelle, il existe par ailleurs un risque potentiel de conflit de ressources (mise en danger du stockage par l'utilisation de ressources naturelles, ou alors limitation de l'accès aux ressources naturelles par la présence du dépôt final), et ainsi un risque de contamination accidentelle supplémentaire.
- Dans ces circonstances, le déstockage total ou partiel paraît incontournable, en respectant un certain nombre de précautions, afin de garantir à long terme la protection en matière de santé au travail. Les déchets amiantés devront faire l'objet d'une attention particulière lors des opérations de déstockage. Le devenir des déchets du bloc 15, consommés partiellement par l'incendie n 2001, reste à clarifier. L'application de techniques robotisées est à examiner.
- Avant leur acceptation dans un dépôt final, les déchets déstockés seront à traiter selon les principes de gestion durable, comprenant le tri, le recyclage ou autre revalorisation des substances, la destruc-

tion des substances de synthèse (produits phytosanitaires) et finalement l'inertisation et stabilisation des déchets restants.

- Ce processus serait à engager, de préférence, au déstockage de StocaMine ; le stockage, probablement temporaire avant un traitement définitif, dans un grand centre de stockage (mine de Herfa Neu-rode) est une alternative envisageable.

Recommandations :

Afin d'avancer avec diligence dans le projet de fermeture de StocaMine, avec l'intention affirmée d'une solution respectant la sécurité de la population et de l'environnement, nous recommandons aux autorités et à la société StocaMine de procéder comme suit :

1) Invitation d'entreprises spécialisées dans le déstockage sur le site de StocaMine et demandes d'offres pour le déstockage intégral du site

2) Dans le cas où un déstockage intégral du site est considéré comme réalisable par les spécialistes: préparation d'un projet de déstockage intégral et d'un plan final de fermeture. L'étanchéité de la fermeture (puits galeries) ne sera plus nécessaire.

3) Dans le cas où un déstockage intégral est considéré comme trop risqué (bloc 15): préparation d'un projet de déstockage partiel et d'un plan final de fermeture. L'étanchéité de la fermeture (puits galeries) sera à valider par un programme de suivi de la fermeture et une surveillance appropriée du site.

Nous recommandons vivement de considérer le cas de StocaMine comme dossier clé en ce qui concerne les options de réversibilité, aussi bien dans le cadre des déchets spéciaux que dans celui des déchets radioactifs. Renoncer au déstockage des déchets de StocaMine - alors que le projet était parti sur la base d'une promesse de faisabilité d'une telle option - pourrait avoir des conséquences graves sur la crédibilité de projets concrets de stockage de déchets nucléaires dans le sous-sol géologique en France et ailleurs.

Zürich et Versoix, 2 juin 2011

Marcos BUSER et Walter WILDI

Références bibliographiques

Ouvrages cités (autres références, voir annexe 2) :

BMG Engineering AG 2006 : Stockage souterrain de Wittelsheim : évaluation technique de la variante de la mise en œuvre de la réversibilité, juin 2006.

Caffet, M. et Sauvalle, B. 2010 : Fermeture du stockage de déchets ultimes de Stockamine Haut Rhin). Rapport , Ministère de l'environnement, Conseil général de l'environnement N° 005950-1, 33 p.

DREAL ALSACE, 10 avril 2010 : Devenir du site de StocaMine à Wittelsheim (Haut Rhin) – Stockage de déchets dangereux. Rapport

Feuga, B. 2010 : Comparaison entre les conditions d'isolement des déchets dans le site de stockage de Stocamine et dans quelques sites allemands de stockage en mines de sel ou de potasse. Rapport

INERIS 2011 : Etude complémentaire de comparaison des scénarios de gestion des déchets et du site StocaMine après la fermeture et Mesures de Maîtrise des Risques pour réduire l'impact des déchets de StocaMine sur la Nappe d'Alsace. COPIL du 23 mai 2011. Présentation orale.

MICA Environnement 2004 : Etude géologique, hydrogéologique et géotechnique du centre de stockage de StocaMine, Wittelsheim (Haut-Rhin). Rapport.

OFEV 1986 : Lignes directrices pour la gestion des déchets en Suisse, 41 p., Office fédéral de l'environnement, Berne.

Annexe 1: Quantités de déchets selon la catégorie. Par ailleurs, 1775 tonnes de déchets étaient stockées dans le bloc 15 avant l'incendie de 2001 (BMG, 2006).

Catégorie		Classe	Type de colis	Quantité totale livrée (tonnage)	%
A1	Sels de trempe	0	fûts	2'076	5%
A2	Sels de trempe non cyanurés	0	fûts	1'204	3%
B3	Déchets arséniés	0	big-bag	6'957	17%
C4	Déchets chromiques	0*	fûts	428	1%
B5	Déchets mercuriels	0	fûts	2'276	5%
B6	Terres polluées	0	93% big-bag, 4% fûts, 3% conteneur	5'120	12%
D7	Résidus de l'industrie	0	fûts	127	0.3%
C8	Déchets de galvanisation	0*	fûts	599	1.4%
E9	Résidus d'incinération	1	95% big-bag / 5% fûts	19'706	47%
B10**	Produits phytosanitaires	0	fûts	128	0.3%
D11	Catalyseurs usés			0	0.0%
D12	Déchets de laboratoire	0	conteneur	76	0.2%
E13	Déchets amiantés	1	85% big-bag / 15% palette filmée	3'315	8%

Annexe 2 : Liste bibliographique fournie par StocaMine

- 1) Le stockage en mine de déchets industriels, StocaMine, février 1996.
- 2) Etude de sûreté d'un projet de stockage de déchets toxiques dans la mine Amélie. Aspects mécaniques du problème, G. VOUILLE, Ecole des Mines de Paris, document non daté (antérieur à février 1997).
- 3) Estimation des mouvements sismiques à la cote 500m, Institut de physique du globe de Strasbourg, document non daté (antérieur à février 1997).
- 4) 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).
- 5) Stockage profond : évaluation des flux de déchets admissibles, Agence Nationale pour la Récupération et à l'Élimination des Déchets (ANRED, juillet 1990).
- 6) Stockage profond de déchets industriels : études des dangers, Projet Etudes Conseils Services Industrie Environnement (PECSIE), 27 mars 1991.
- 7) Mines de Potasse d'Alsace : tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph, Electricité de France, 11 mars 1991.
- 8) Etude de sécurité chimique, J. MULLER, G. KILLE, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse, 30 novembre 1990.
- 9) Etude de sécurité chimique sur le projet MDPa de stockage profond des déchets industriels dans la mine Joseph-Else à Wittelsheim, comportement à long terme, G. KILLE, S. WALTER, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse, document non daté.
- 10) Stockage en mine de déchets toxiques : déchets à exclure, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), 14 septembre 1993.
- 11) Stockage en mine de déchets toxiques : déchets à exclure, INERIS, 21 septembre 1993.
- 12) Etude de sécurité chimique, procédure d'acceptation et de suivi des déchets, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse, 21 janvier 1991.
- 13) Avis d'expert relatif à la demande de création d'un stockage souterrain de déchets industriels ultimes, INERIS, octobre 1996.
- 14) Réalisation d'un état initial du site de stockage de déchets industriels de StocaMine, INSA division Polden, décembre 1998.
- 15a) Etude de comportement hydraulique de l'obturation d'un puits par un bouchon de cendres volantes, étude bibliographique, INERIS, 21 décembre 2001.

- 15b) Etude de comportement hydraulique de l'obturation d'un puits par un bouchon de cendres volantes, synthèse (projet), INERIS, 15 octobre 2002.
- 16a) Evaluation des risques sanitaires : site de Wittelsheim, bilan des émissions au jour et en fond de mine, ERM France, 20 février 2003.
- 16b) Evaluation des risques sanitaires : site de Wittelsheim, ERM France, 30 mars 2003.
- 17) StocaMine : rapport final d'expertise, Experts nommés par la Commission Locale d'Information et de Surveillance (CLIS), 24 juillet 2003.
- 18) Audit triennal de StocaMine, 1999-2002, INERIS, septembre 2003.
- 19) Suivi des lots, StocaMine, février 1999 à septembre 2002.
- 20) Analyses environnementales courantes, extraits, StocaMine.
- 21) Suivi minier, température et analyses des gaz, StocaMine et MDPA.
- 22) Arrêtés préfectoraux du 03/02/1997, 10/07/2001, 12/09/2002, 17/12/2002, préfecture de Haut-Rhin.
- 23) Rapport d'activité, StocaMine, décembre 1999 à décembre 2002.
- 24) Manuel Qualité/Environnement, StocaMine, 02 juillet 2002.
- 25) Plan des travaux du fond et aérage, MDPA.
- 26) Affaissement et dégâts de surface dans le bassin potassique alsacien, MDPA, 07 juillet 1999 et juillet 2007.
- 27) Caractérisation des cendres volantes, MDPA, 30 mars 2004.
- 28) Etude géologique, hydrogéologique et géotechnique du centre de stockage de StocaMine, Wittelsheim (Haut-Rhin), MICA Environnement, avril 2004.
- 29) Détermination des dangers, Institut Suisse pour la Promotion de la Sécurité, juillet 2004.
- 30) 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.
- 31) Etude d'impact, rapport de synthèse, Institut Suisse pour la Promotion de la Sécurité, juillet 2004.
- 32) Etude de sécurité au travail et de protection de la santé dans le cadre de la mise en œuvre de la réversibilité, Institut Suisse pour la Promotion de la Sécurité, juin 2006.
- 33) Rapport de synthèse Etude approfondie de la variante de la mise en œuvre de la réversibilité, Institut Suisse pour la Promotion de la Sécurité, juin 2006.
- 34) Stockage souterrain de Wittelsheim : évaluation technique de la variante de la mise en œuvre de la réversibilité, BMG Engineering AG, juin 2006.
- 35) Actualisation de l'étude de stabilité du stockage de déchets toxiques dans la mine Amélie, F. HADJ-HASSEN, M. TIJANI, Ecole des Mines de Paris, février 2006.
- 36) Etude technique détaillée du confinement complémentaire du bloc 15, StocaMine, SOLETANCHE-BACHY, juillet 2006.

- 37) Synthèse sur l'ennoyage de la mine de potasse Secteur Ouest, CESAME, septembre 2006.
- 38) Plan d'Urgence Interne, StocaMine.
- 39) L'ennoyage des Mines de Potasse. Dossier commun : secteurs Est et Ouest, CESAME, avril 2008.
- 40) Rapport final ERCOSPLAN, 02 septembre 2008.
- 41) Rapport GEOSTOCK
- 44) Modes opératoires du laboratoire de StocaMine, juin, août, et octobre 2000.
- 45) Dossier santé, sécurité (DSS) des MDPA, juin 2008.
- 46) Bibliographie

Annexe 6 : Situation juridique en Allemagne, Prof. Watzel

Stockages souterrains dans la roche saline – Conditions légales et leur mise en œuvre

Réunion COPIL 4 du 28 Février 2011

Prof. Dr. Ralph Watzel

Sévice Géologique et Minière du Bade-Wurtemberg

Lois et règles y afférents

- Loi sur la promotion de la gestion du recyclage et sur la sécurisation de l'élimination écologique de déchets (KrW-AbfG) du 27 septembre 1994, entrée en vigueur le 7 octobre 1996
- Deuxième disposition réglementaire concernant la loi sur les déchets (TA déchets), partie 1 : Instructions techniques quant au stockage, au traitement chimique/physiques et biologique, à l'incinération et au stockage de déchets ayant besoin d'une surveillance particulière, du 12 mars 1991
- Règlement sur les décharges et stockages à long terme (Règlement sur les décharges – DepV) du 27 avril 2009, amendée récemment par l'art. 5 al. II V du 26 novembre 2010
- Règlement sur le remblayage des déchets au fond (VersatzV) du 24 juillet 2002
- Groupe de travail mécanique du sel de la Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. – recommandations concernant la géotechnique du stockage souterrain de déchets ayant besoin d'une surveillance particulière dans la roche saline, stockage dans des mines, technique de construction 70 (1993), cahier 12

Le noyau des revendications matérielles dans la TA Déchets et le DepV (VersatzV identique) est le justificatif de la sécurité à long terme

1.1 Objectif

La TA Déchets définit comme objectif final **la séparation complète et permanente des déchets** de la biosphère.

Grâce à un **justificatif de la sécurité à long terme**, l'on doit prouver que la construction, l'opération et la période post-opérationnelle d'une mine dans laquelle des déchets peuvent être intégrés, ne puissent pas mener à une détérioration de la biosphère. Cet objectif s'applique également à l'utilisation souterraine de matériel de **remblayage**.

D'autres revendications du DepV

1.2 Moyen d'intégration

Selon la TA Déchets, partie 1, un confinement complet pour le stockage de déchets dans des décharges souterraines est seulement réglé pour la roche saline.

Ensuite, la roche saline reprend en tant que roche hôte en même temps l'unique fonctionnalité de roche barrière. Le justificatif de sécurité à long terme doit donc être garanti pour la roche saline en tant que barrière géologique.

D'autres barrières géologiques peuvent offrir une sécurité supplémentaire, mais elles ne sont pas nécessaires (voir observations de Kochendorf et de Heilbronn plus tard).

1.3 Une intégration sécurisée sur le long terme

La roche saline doit être étanche aux gaz et aux liquides, doit confiner de plus en plus les déchets grâce à son comportement de convergence et doit à la fin du processus de déformation garantir un confinement complet.

En même temps, les cavités doivent être infaillibles pendant la phase opérationnelle (protection de travail au fond, protection contre des dégâts causés par un rabaissement à la surface, protection de l'intégrité de la roche de couverture).

Un rabaissement contrôlé de la roche de couverture est admissible, s'il cause uniquement des déformations sans fractures et qu'il ne cause pas la création de voies d'eau.

1.4 Diffusion et force de la roche de barrière

Expansion suffisante et force suffisante de la roche de barrière dans le domaine de stockage

1.5 Dégâts à la roche de barrière causées par les activités minières

La roche de barrière est endommagée par les puits. Donc les puits doivent être **confinés** après la fermeture de la mine par des constructions de fermeture selon l'état actuel de la technique, de façon que **les objectifs de protection soient garantis** (voir commentaire plus tard). Les mêmes revendications s'appliquent aux forages et aux tracés.

Les revendications quant à la sécurité à long terme du DepV

2.1 Portée et revendications

Observation et évaluation quant aux différents sites du système global «déchets – installations souterraines – roche» en tenant compte du déroulement des événements ordinaires et extraordinaires

Garantie de la sécurité à long terme = Garantie de la sécurité pour la phase opérationnelle

+ Garantie de la sécurité géotechnique

(Évaluation de l'efficacité à long terme et intégrité de la barrière géologique – sur le long terme confinement complet des déchets, sans création de voies d'eau)

2.2 Informations de base nécessaires

- Situation géologique
 - Barrière géologique, gisement de matières et structure du stockage
 - Séismicité, subrosion, halocinères
 - Forages, géophysique, documentation
- Taille et état de l'édifice minier de la mine
 - Géométrie, taille, profondeur, volume des cavités
 - Stabilité, constructions de fermeture
- Situation hydrogéologique
 - Aquifères, surface piézométrique, perméabilités, hydrochimie, températures
- Intégration des déchets
 - Type, quantité, caractéristiques des déchets
 - Comportement géomécanique des déchets
 - Réaction dans le cas de l'intrusion de l'eau

2.3 Développement d'un concept de sécurité

Expertise sur la question de savoir

- si dans le cadre de l'évaluation de la sécurité du site une preuve du confinement complet des déchets intégrés semble possible sur le long terme, et
- si un manque de connaissances peut être constaté et si oui, de quelles connaissances, et si d'autres travaux d'analyse sont nécessaires.

2.4 Garantie de la sécurité géotechnique

Garantie du fait que

- pendant et après la création des cavités, des déformations influant sur la fonctionnalité de la mine ne soient pas attendues,
- la capacité portante de la roche soit suffisante pour garantir l'intégrité de la barrière géologique sur le long terme,
- les déchets aient des effets de stabilisation sur le long terme.

→ Recommandations techniques du groupe de travail mécanique du sel de la Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V.

2.5 Garantie de la sécurité à long terme

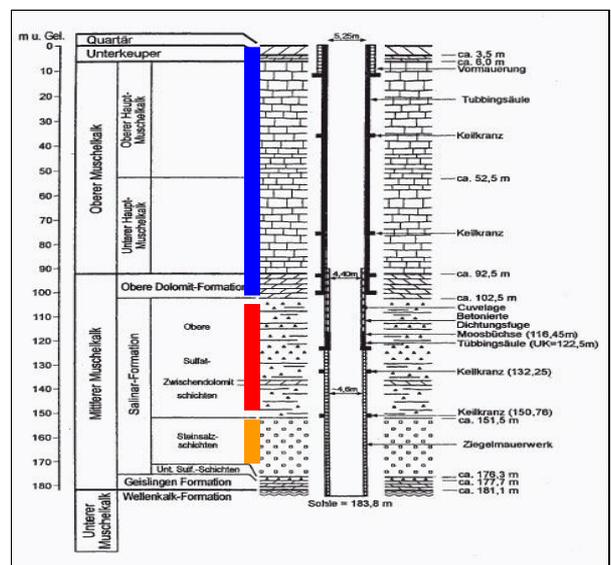
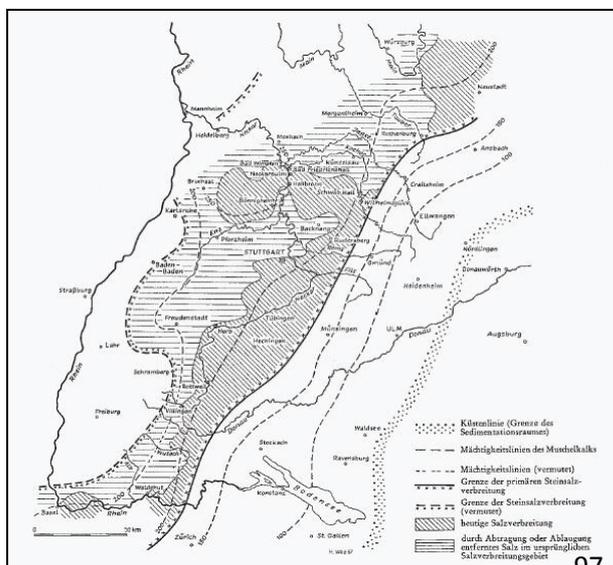
À la base des résultats des analyses, quant à la sécurité à long terme, pour le système global «déchets – installations souterraines – roche», les évaluations suivantes ont été réalisées :

- Évaluation de la barrière naturelle (géologique)
- Évaluation des influences techniques sur la barrière
 - Puits, tracés, forages, foisonnements
- Évaluation des barrières techniques
 - Fermeture des puits et des tracés
- Évaluation des événements relatifs à la sécurité
 - Manque d'efficacité de la fermeture des puits
- Résumé de l'évaluation

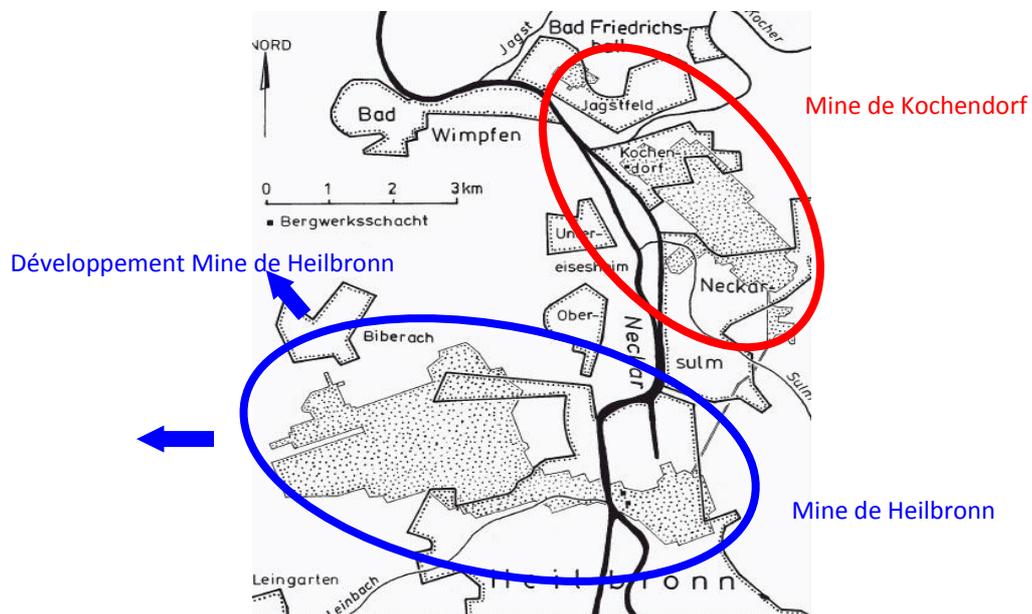
Situation au Bade-Wurtemberg

Mine de remblayage Kochendorf, UTD Heilbronn – Géologie:

- Stockage de sel de gemme du calcaire coquillier moyen (mm)
- Forces inférieures (0 – max. 40 mètres)
- Surtout stockage horizontal dans environ 200 mètres de profondeur
- Couverture par le groupe d'anhydrite (mm) et
- Au-dessus : la nappe phréatique du calcaire coquillier supérieur (mo)
- Le groupe anhydrite protège les mines contre l'intrusion de l'eau du calcaire coquillier moyen



Mine de remblayage Kochendorf, UTD Heilbronn - Mines



Le groupe anhydrite sécurise les mines contre l'intrusion d'eau du calcaire coquillier supérieur. Son intégrité géotechnique est une condition indispensable pour

- La sécurité de l'opération des mines (fractures de plafonds et de piliers)
- La protection contre des dégâts causés par des rabaissements à la surface
- La protection contre l'intrusion d'eau de l'aquifère

→ Extensions maximales dans le groupe anhydrite

→ Nécessité de remblayage (irréversible) pour atteindre l'objectif technique

Nécessité de remblayage pour maintenir l'intégrité du groupe anhydrite; même dans le cas de l'intrusion de l'eau, il ne doit pas y avoir des conséquences néfastes pour la biosphère.

Remblayage (déchets conditionnés et non soumis à un étiquetage obligatoire) dans la mine de Kochendorf après des signes d'une mise en danger de la barrière géologique.

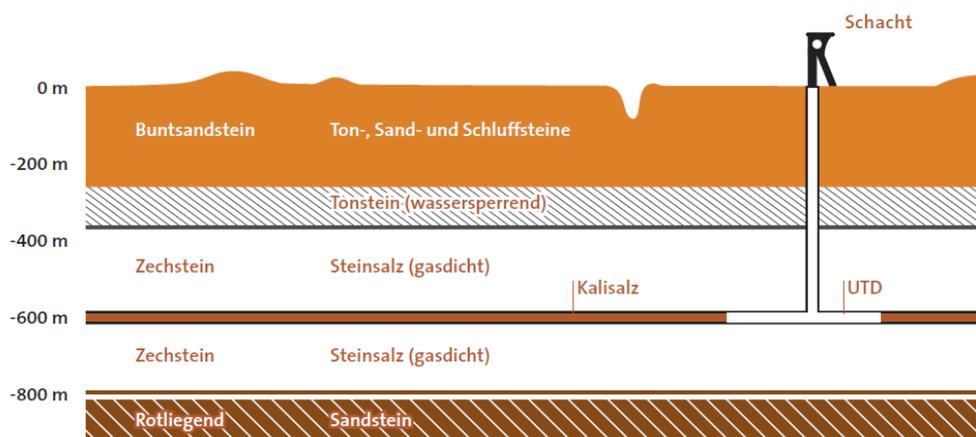
Dans la mine de Heilbronn, le premier prognostique a montré pour la période post-opérationnelle une roche portante. L'évaluation du monitoring actuel indique maintenant une nécessité partielle de remblayage.

→ Création, identification et évaluation des parties individuelles de la mine, qui sont séparées de la biosphère par des zones de sécurité/ fermetures (secellments des galeries d'accès, bouchage des puits, etc.).

D'autres mines de sel avec des stockages souterrains

Par exemple, Herfa-Neurode a de grands stockages de sel et des roches de couverture plus appropriés au niveau hydrogéologique.

- 500-800 m de profondeur
- 300 m de stockage de sel
- Pierres argileuses dans la roche de couverture



La stabilité de la mine dans la phase opérationnelle et la convergence complète sans pliages inadmissibles de la roche de couverture sont confirmées par des expertises.

Critique

- Une garantie de la sécurité à long terme pour des stockages souterrains ne demande pas forcément une modélisation numérique comme dans le cas de l'observation de déchets radioactifs.

- Les déchets chimiotoxiques n'ont pas de période de décharge comme les déchets radioactifs et doivent être sécurisés «pour toujours» - aspects philosophiques. Une période d'observation partiellement discutée de 10.000 ans n'est pas suffisante.
- La protection contre des champs de mines avoisinés et ennoyés peut-elle être sécurisée ? Les mines de sel peuvent-elles se trouver à côté d'un stockage de déchets ?
- Perméabilité dans la fermeture du puits $< 5 \times 10^{-10}$ m/s ?

Perspectives

Fermetures du puits des stockages souterrains :

Les stockages doivent être séparés de la biosphère de façon permanente par une construction de fermeture dans le puits. L'intrusion de la nappe phréatique doit, sur le long terme, être évitée, tout comme l'intrusion de l'eau contaminée de la mine dans les couches de la roche de couverture. Les concepts prévus pour Herfa-Neurode et Zielitz essaient de remplir ces conditions. Ce faisant, il faut faire des recherches concernant le matériel d'étanchéité quant au comportement sous l'influence de la saumure NaCl sur le long terme.

Le type de construction et la réalisation de fermetures complètes de tracés et de puits sur le long terme font toujours l'objet de la recherche en Allemagne, entre autres aussi concernant le stockage définitif de déchets hautement radioactifs.

Littérature (exemples) :

- Fermeture de puits dans des stockages souterrains de mines de sel, Mine de recherche Asse – rapport GSF 32/95 et ff. Projet de recherche de la fermeture du puits Salzdettfurth puits SA II – BMBF et K+S AG – rapport 02C 0516 août 2002
- Efficacité de l'étanchéité du matériel de remblayage – GRS-180, 2002
- Stabilité à long terme de l'étanchéité d'argile dans des formations de sel – GRS-185, 2002
- Ratios hydrauliques de mélanges minéraux pour fermer des stockages souterrains (KENTON) – GRS-193, 2003

Annexe 7 : Conditions de travail, M. Rolshoven

Arbeitsbedingungen

Im Falle der Auslagerung von Abfallgebinden aus der Untertagedeponie Stocamine ist im Gegensatz zur einstigen Einlagerung von deutlich erschwerten Arbeitsbedingungen auszugehen.

Seit der Einlagerung 1997 – 2002 haben sich die Grubenbaue und auch die Abfälle mit ihren Verpackungen verändert. Besonders gravierend waren die Auswirkungen des Grubenbrandes in Block 15.

Die nachstehenden Ausführungen sind ohne Berücksichtigung des in Frankreich geltenden Regelwerks allgemein gehalten. Sie basieren auf bergmännischen Erfahrungen in der Arbeitssicherheit, im Rettungswesen, in der Grubenbewetterung sowie im Brandschutz.

Zunächst sind die Arbeitsstätten so herzurichten, daß für die Belegschaft keine Gefahr durch die Grubenbaue unmittelbar ausgeht. Weiter sind Gefährdungen durch schädliche Gase, Stäube, Partikel, Nebel und Sauerstoffmangel auszuschließen. Die Bewetterung muß an allen Arbeitstellen ein erträgliches Grubenklima sicherstellen. Die Arbeitszeit vor Ort ist den klimatischen Bedingungen anzupassen.

Nach den vorliegenden Informationen steht Stocamine derzeit keine für die Aufgaben der Abfallauslagerung hinreichend geeignete Untertagebelegschaft zur Verfügung. An diese Belegschaft sind folgende Anforderungen zu stellen:

Es müssen ausgebildete Bergleute sein mit einer ausreichenden Zahl von Aufsichtspersonen.

Das gesamte Personal muß atemschutzgerätetauglich sein und im Umgang und Gebrauch der infragekommenden Arbeitsschutzausrüstung ausgebildet und geübt sein. Damit ist auch das Höchstalter (50 Jahre) festgelegt.

Regelmäßige arbeitsmedizinische Untersuchungen sind auf die speziellen Gefährdungen beim Umgang mit Gefahrstoffen abzustimmen.

Eine Grubenwehr in ausreichender Stärke ist zum Schutz der Untertagebelegung bereitzuhalten.

Während der Abfallauslagerung dürfen einzelne Betriebspunkte nur dann gleichzeitig belegt werden, wenn eine gegenseitige Gefährdung ausgeschlossen ist. Dies gilt insbesondere, wenn Arbeiten auf der Abwetterseite erforderlich sind.

Vor Aufnahme der Arbeiten sind entsprechend den auszulagernden Abfällen Gefahrstoff- und Klimamessungen durchzuführen, um die jeweils erforderliche persönliche Schutzausrüstung festzulegen. Beides ist zu dokumentieren.

Art und Umfang der Schutzmaßnahmen sind abhängig von den Eigenschaften und Konzentrationen der Abfallstoffe, die in Stocamine nicht sortenrein, sondern entsprechend ihrem Eintreffen zusammengelagert wurden. Dies macht häufige Gefahrstoffmessungen verbunden mit ständiger Anpassung der Schutzmaßnahmen erforderlich.

Eine universelle Chemikal-Schutz-Ausrüstung ist für den Träger so beschwerlich, daß sie nur Notfällen vorbehalten sein sollte.

Bei Arbeiten mit Asbest sind die Beschäftigten vor dem Einatmen lungengängiger Fasern zu schützen. Hierzu existiert ein eigenes Regelwerk:

- Die Arbeitsstelle ist durch eine Unterdruckschleuse und Gebläsefilter von der Umgebung zu isolieren
- Innerhalb der Schleuse trägt die Belegschaft Partikelfilter und Einweganzüge, die beim Verlassen zu entsorgen sind
- Nach Beendigung der Asbestarbeiten ruht der Betriebspunkt 24 Stunden und wird dann sorgfältig abgesaugt, bevor die Schleuse entfernt werden kann.

Unter diesen Bedingungen reduziert sich die effektive Arbeitszeit auf rd. 2x2 Stunden je Mann und Tag.

Die Handhabung chemischer Gefahrstoffe kann nur dann mit Atemschutzfiltern erfolgen, wenn für bekannte Gefahrstoffe geeignete Filter vorhanden sind.

Bei geringster Unsicherheit sind umgebungsunabhängige Atemschutzgeräte einzusetzen in Verbindung mit geeigneten Schutzanzügen. Diese Kombination belastet den Träger erheblich

durch Tragegewicht, Atemwiderstand und Wärmestau und minimiert die effektive Arbeitszeit ebenfalls.

Zur Arbeitserleichterung sollten daher alle Möglichkeiten der Atmungsunterstützung und Körperkühlung genutzt werden.

Arbeitsmaschinen können mit behältergespeisten Überdruckkabinen ausgerüstet werden, für stationäre Arbeiten bieten sich Druckluft-Schlauchgeräte an.

Weiter sind untertägige Bereitschaftsstellen frischwetterseitig der Einsatzorte einzurichten, in denen die kontaminierte Schutzkleidung abgelegt und zum sicheren Abtransport vorbereitet wird. Denkbar ist auch eine untertägige Wiederaufarbeitung der Schutzanzüge, wenn die hierzu erforderlichen Voraussetzungen geschaffen werden können.

Gleichermaßen sind Reinigungsmöglichkeiten für kontaminierte Betriebsmittel vorzusehen.

Die Auslagerung der Abfälle aus Stocamine ist ein äußerst komplexes und schwieriges Vorhaben, wie es meines Wissens noch nicht zuvor durchgeführt wurde. Daher ist neben einer sorgfältigen Planung und Vorbereitung besonders intensive Beaufsichtigung und Überwachung der Arbeiten unabdingbar.

Max Rolshoven 10.06.2011

Conditions de travail

Dans le cas d'un déstockage des fûts et des big bags de déchets de la décharge souterraine Stocamine, contrairement à l'installation du stockage d'auparavant, il faut prévoir des conditions de travail nettement plus difficiles. Depuis l'installation du stockage de 1997 à 2002, les excavations minières et également les déchets avec leur conditionnement ont changé. Les effets de l'incendie dans la mine dans le bloc 15 ont été particulièrement graves.

Les explications à suivre sont plutôt générales, sans prendre en considération la réglementation applicable en France. Elles se basent sur les expériences minières dans les domaines de la sécurité du travail, du sauvetage, de la ventilation des mines et de la protection contre l'incendie.

D'abord, les lieux de travail doivent être aménagés de façon que tout danger pour l'effectif causé par les excavations minières soit évité. Par ailleurs, le danger causé par des gaz nocifs, des poussières, des particules, du brouillard et par un manque d'oxygène doit être exclu. La ventilation doit garantir un climat supportable sur tous les lieux de travail. Le temps de travail sur le terrain doit être adapté aux conditions climatiques.

Selon les informations disponibles, Stocamine ne dispose actuellement pas d'un effectif souterrain suffisamment apte à assumer les tâches du déstockage. Un tel effectif devrait remplir les conditions suivantes :

L'effectif doit comprendre des mineurs, avec un nombre suffisant de personnel de surveillance. Tout le personnel doit être apte à porter des appareils respiratoires. Il doit être formé et habitué quant à la maîtrise et quant à l'utilisation de l'équipement de protection que l'on prévoit d'utiliser. Ainsi, la limite d'âge s'élèverait à 50 ans.

Des examens médicaux à des intervalles réguliers réalisés par un spécialiste en médecine du travail doivent être adaptés aux dangers spécifiques du travail avec des matières dangereuses.

Il faut également prévoir un personnel sauveteur suffisamment nombreux pour protéger les travailleurs dans la mine.

Durant le déstockage, de différents chantiers peuvent seulement être occupés en même temps si une mise en danger mutuelle est exclue. Cette règle s'applique en particulier si des travaux du côté de l'air de retour sont nécessaires.

Avant de commencer les travaux, des mesures quant aux matières dangereuses et quant au climat sont à réaliser pour définir l'équipement de protection individuelle nécessaire pour les différents cas. Les deux mesures doivent être documentées.

Le type et l'envergure des mesures de protection dépendent des caractéristiques et des concentrations des matières qui constituent les déchets, qui, chez Stocamine, n'ont pas été stockées en fonction de type de déchet, mais en fonction de leur arrivée dans la mine. C'est la raison pour laquelle des mesures des matières dangereuses, liées à une adaptation permanente aux mesures de protection, s'avèrent nécessaires.

Un équipement universel de protection contre les produits chimiques est très difficile à porter. Il devrait donc être prévu pour le cas d'urgence seulement.

Pour des travaux avec de l'amiante, les employés doivent être protégés contre l'inhalation de fibres qui peuvent atteindre les poumons. Pour ce faire, une réglementation spécifique a été établie :

- Le lieu de travail doit être isolé de l'environnement par une chambre pressurisée et un filtre de soufflerie.
- À l'intérieur de la chambre pressurisée, les travailleurs portent des filtres à particules et des combinaisons jetables, qui doivent être jetés en quittant la chambre.
- Après avoir terminé les travaux avec de l'amiante, le chantier ne sera pas touché pendant 24 heures, et ensuite on il faut y aspirer toutes les poussières, avant que la chambre pressurisée puisse être démontée.

Sous de telles conditions, le temps de travail effectif sera réduit à environ 2 x 2 heures par personne et par jour.

Il est seulement possible de traiter des matières chimiques dangereuses avec des appareils respiratoires comprenant un filtre, si des filtres appropriés pour les matières dangereuses connues sont à disposition.

Dans le cas de la moindre incertitude, des appareils respiratoires indépendants de l'environnement, liés à des vêtements protecteurs, doivent être employés. Cette combinaison représente pourtant une charge considérable, une résistance respiratoire et une accumulation de chaleur pour la personne qui est supposée de la porter, et ainsi, le temps de travail effectif est diminué.

Afin de faciliter les travaux, il faudrait donc profiter de toutes les possibilités qui existent en matière du soutien de la respiration et du refroidissement du corps.

Les machines de travail peuvent être équipées par des cabines pressurisées comprenant des conteneurs, et pour des travaux stationnaires, des appareils respiratoires à circuit ouvert peuvent être employés.

Par ailleurs, il faut installer des postes souterrains du côté de l'entrée de l'air frais, dans lesquels les vêtements protecteurs contaminés sont déposés et préparés pour l'évacuation sécurisée. L'on pourrait également imaginer un retraitement souterrain des vêtements protecteurs, si les conditions nécessaires peuvent être remplies.

Parallèlement, des possibilités de nettoyage du matériel sont à prévoir.

Un déstockage des déchets de Stocamine représente un objectif très complexe et difficile, qui, à mon avis, n'a jamais été réalisé à ce jour. C'est pourquoi, en plus d'une planification et d'une préparation précise, une observation et une surveillance particulièrement intensive des travaux est indispensable.

Max Rolshoven, 10 juin 2011

Annexe 8 : Contributions de S. Alt

Au sujet de l'ennoyage du bassin potassique de l'Alsace et de Stocamine

(Traduction d'un texte allemand, rédigé après avoir analysé quelques études concernant, soumis à l'attention des collègues du COPIL STOCAMINE le 10 janvier 2011)

Tout d'abord, il faut faire la différence entre l'ennoyage des exploitations de potasse et un ennoyage de Stocamine, qui pourrait s'avérer essentiel pour garantir la sécurité.

Le système des mines de potasse et des puits y afférents comprend des cavités liées. Selon les estimations les plus récentes, le volume des cavités dans le secteur ouest comprend toujours 10 millions de m³. La plupart des puits (jusqu'à 4, dont l'accès à Stocamine) sont remblayés par des matériaux simples : le béton à la base et une couche de ballast et d'escarbille au-dessus. Ces fermetures ne sont pas étanches. L'on peut donc partir d'un ennoyage successif des exploitations potassiques, ce qui sur le long terme ne pourrait pas être évité, même si les puits de mine restants étaient mieux fermés.

L'on se demande si un ennoyage naturel à l'eau douce est acceptable ou si un ennoyage contrôlé à l'eau douce ou à une solution NaCl artificielle devrait être préféré. La dernière méthode pourrait éviter la création de nouvelles cavités causées par les processus de solution. Mais l'étude CESAME [37] parvient à la conclusion suivante : Une solution NaCl artificielle ne peut pas être utilisée en raison d'un manque de ressources nécessaires.

Un ennoyage contrôlé à l'eau douce arrêterait très tôt la convergence restante. Mais dans le cas d'un ennoyage naturel, qui pourrait durer quelques décennies ou voire quelques siècles, la convergence et la compaction des cavités restantes minimise au moins le volume total de l'eau infiltrant. Dû à la dilution de sel gemme dans la nappe phréatique/dans l'eau douce, l'on part d'une tendance contraire qui entraîne une augmentation du volume d'environ 25%. Dans le cas d'un ennoyage contrôlé (et plus rapide), cette augmentation a lieu instantanément, et dans le cas d'un ennoyage naturel, elle entrave la convergence d'une façon successive. La quantité de sel gemme dissous (ou création de cavités) qui résulte d'un ennoyage naturel, est une fonction du temps, du taux d'afflux et de la convergence, et je pense qu'au total, elle est inférieure que la dissolution instantanée d'un ennoyage contrôlé.

Concernant Stocamine, il faudrait savoir quelle est l'influence de l'ennoyage du bassin potassique, qui aura lieu dans tous les cas, sur la décharge et les déchets stockés.

Ce faisant, il faut constater qu'à l'heure actuelle, il n'y a pas encore de concept de fermeture pour la décharge pour le cas de la conservation des déchets au fond. Il n'y a pas encore de preuve d'une conservation sécurisée à long terme.

En tout cas, jusqu'ici, nous n'avons vu que des réflexions qui comprennent une liaison ouverte entre Stocamine et les anciennes exploitations potassiques. Un isolement supplémentaire de Stocamine par rapport aux vides laissés par l'exploitation de la potasse augmenterait nettement le niveau de sécurité, compte tenu du confinement des déchets dû au fluage du sel. À cet égard, ERCOSPLAN [40]

a présenté une étude de faisabilité qui décrit la fermeture géotechnique des domaines d'accès à Stocamine. L'importance de ce document dans le contexte d'un concept de fermeture n'est pourtant pas encore définie (vu qu'aucun concept de fermeture n'a été soumis).

À mon avis, la fermeture étanche doit être une condition centrale d'un scénario qui décrit la conservation des déchets au fond. L'objectif doit être le confinement complet (sans rejets) ou au moins sécurisé (émissions dans la nappe phréatique utilisable au-dessous des valeurs seuils obligatoires).

Dans ce cas-là, Stocamine doit être séparé des exploitations potassiques au moins par le biais de constructions d'obturation pour empêcher le plus longtemps possible l'infiltration de l'eau et pour permettre à la convergence de confiner les déchets. C'est la seule possibilité qui permet que le concept d'une décharge au fond dans la roche saline (prévu en Allemagne) puisse être réalisé et qu'une preuve de la sécurisation à long terme puisse être maintenue. Même si c'est le cas, il faut toujours se demander si l'existence d'une solution saline saturée liée au terrain de couverture et la nappe phréatique dans la proximité immédiate de Stocamine (environ 25 m au-dessus de la décharge, le bassin potassique ennoyé commence) représente un risque résiduel acceptable ou si le risque rend nécessaire une réversibilité. Ici l'on observe des interfaces avec une mise en danger potentielle de la nappe phréatique causée par les déchets et leurs caractéristiques.

Je pense que les analyses actuelles des risques réalisées par INERIS quant à l'aspect de l'ennoyage visent à montrer quel est le risque pour la nappe phréatique proche de la surface, causé par un ennoyage ouvert des déchets.

Seulement en prouvant que ce Worst Case n'est pas acceptable, d'autres mesures techniques doivent être analysées. Dans le cas d'une analyse de risques sans concept de fermeture, cette procédure est même très utile.

Pourtant, à mon avis, cette approche ne va pas assez loin. Si l'on a seulement peu d'informations concernant les caractéristiques de la décharge et des déchets stockés, il faudrait accorder plus d'attention à la maximisation des fonctionnalités de sécurité pour le cas d'une poursuite du stockage au fond. L'incendie de l'année 2002 remet en question par exemple l'adhérence aux critères d'acceptation, et l'instabilité et l'inhomogénéité de l'édifice minier mine et de la roche d'accueil, qui n'étaient pas prévues dans les pronostics du départ, nous laissent douter des caractéristiques de confinement de la décharge. Dans le cadre d'un concept de fermeture ou d'une preuve de sécurisation à long terme, ces doutes devraient être éliminés systématiquement. Mais il semble que les réflexions concernant la fermeture de la décharge ne soient pas encore arrivées à ce point.

Je suis d'avis que pour pouvoir comparer les deux options – la réversibilité des déchets d'une part, et une conservation des déchets au fond d'autre part, les deux concepts cohérents devraient être soumis.

Stefan Alt, le 10 janvier 2011.

Texte original en allemand:

Stefan Alt, Öko-Institut e.V.

Zur Flutung des elsässischen Kalireviers und von Stocamine

Zunächst muss grundsätzlich unterschieden werden zwischen der Flutung der Kaliabbau und einer möglicherweise sicherheitsrelevanten Flutung von Stocamine.

Das System der Kaliminen und der dazugehörigen Schächte bildet ein System kommunizierender Hohlräume. Nach derzeitiger Schätzung beträgt das Hohlraumvolumen im Sektor West noch ca. 10 Mio m³. Die meisten Schächte (bis auf 4, darunter der Zugang zu Stocamine) sind mit einfachen Materialien verfüllt: Beton an der Basis, darüber Schotter und Flugasche. Diese Verschlüsse sind nicht dicht - eine sukzessive Flutung der Kaliabbau ist also vorauszusetzen und langfristig nicht zu verhindern, selbst wenn die verbleibenden Tagesschächte besser verschlossen werden.

Diskutiert wird, ob eine natürlich ablaufende Flutung mit Süßwasser akzeptabel ist oder ob eine gesteuerte Flutung mit Süßwasser oder künstlich erzeugter gesättigter NaCl-Lösung bevorzugt werden soll. Letzteres würde die Bildung neuer Hohlräume durch Lösungsprozesse vermeiden. Die CESAME-Studie [37] kommt zu dem Schluss, dass eine künstlich erzeugte NaCl-Lösung mangels der erforderlichen Ressourcen nicht realisiert werden kann. Eine gesteuerte Flutung mit Süßwasser würde lediglich die Restkonvergenz frühzeitig stoppen. Bei einem natürlichen Volllaufen, das einige Jahrzehnte bis Jahrhunderte dauern kann, minimiert die Konvergenz und Kompaktion der verbliebenen Hohlräume zumindest das insgesamt eindringende Wasservolumen. Durch die Auflösung von Steinsalz in Grundwasser/Süßwasser wird als gegenläufiger Trend mit einer Volumenvergrößerung um ca. 25 % gerechnet, die bei einer kontrollierten Flutung quasi instantan stattfindet, bei natürlicher Flutung sukzessive der Konvergenz entgegenwirkt. Die sich bei natürlicher Flutung ergebende Menge an aufgelöstem Steinsalz (bzw. Hohlraumbildung) ist eine Funktion der Zeit, der Zuflussrate und der Konvergenz, ich schätze dass sie in Summe niedriger sein dürfte als die bei einer gesteuerten Flutung instantan zu erwartende Auflösung.

Im Hinblick auf Stocamine ist zu klären, welchen Einfluss die in jedem Fall stattfindende Flutung des Kalireviers auf die Deponie und die eingelagerten Abfälle haben wird.

Dabei ist festzustellen, dass es derzeit für den Fall des Verbleibs der Abfälle unter Tage noch kein Verschlusskonzept für die Deponie gibt, geschweige den einen Nachweis der langzeitsicheren Verwahrung. Jedenfalls wurden uns bisher nur Überlegungen präsentiert, die eine offene Verbindung zwischen Stocamine und den ehemaligen Kaliabbauen beinhalten. Eine zusätzliche Abschottung von Stocamine gegenüber dem Grubengebäude wäre ein erheblicher Sicherheitsgewinn hinsichtlich des Umschließens der Abfälle durch Salzkriechen. ERCOSPLAN [40] hat diesbezüglich eine Machbarkeitsstudie vorgestellt, die immerhin den geotechnischen Verschluss der Zugangsbereiche zu Stocamine beschreibt. Die Relevanz dieses Dokuments im Kontext eines Schließungskonzepts ist allerdings noch unklar (eben weil kein Schließungskonzept vorliegt).

Meines Erachtens nach muss der dichte Verschluss eine zentrale Randbedingung für ein Szenario sein, dass den Verbleib der Abfälle unter Tage beschreibt. Ziel muss der vollständige (keine

Freisetzung) oder zumindest sichere Einschluss (Emissionen ins nutzbare Grundwasser unterhalb von verbindlichen Schwellenwerte) sein. Stocamine muss in diesem Fall mindestens durch qualifizierte Verschlussbauwerke von den Kaliabbauen getrennt werden, um den Zutritt von Wasser so lange wie möglich zu verhindern und damit der Konvergenz Gelegenheit zu geben, die Abfälle zu umschließen. Nur dann ist überhaupt denkbar, dass das Konzept einer UTD im Salzgestein in dem Sinne, wie es in Deutschland vorgesehen ist, verwirklicht und ein Nachweis der Langzeitsicherheit geführt werden kann. Selbst dann wird noch zu betrachten sein, ob das Vorhandensein einer mit dem Deckgebirge in Verbindung stehenden gesättigten Salzlösung in unmittelbarer Nähe zu Stocamine (ca. 25 m oberhalb der Deponie beginnt das geflutete Kalirevier) ein akzeptables Restrisiko darstellt oder ob das Risiko eine Rückholung erforderlich macht. Hier ergeben sich dann Schnittstellen zur potenziellen Gefährdung des Grundwassers durch die Abfälle und ihre Eigenschaften.

Die derzeitigen Risikobetrachtungen von INERIS laufen im Hinblick auf den Aspekt der Flutung nach meiner Wahrnehmung darauf hinaus zu zeigen, welches Risiko für das oberflächennahe Grundwasser von einer offenen Flutung der Abfälle ausgehen kann. Erst wenn sich dieser Worst Case als nicht akzeptabel erweist, sollen weitere technische Maßnahmen untersucht werden. Bei einer Risikoanalyse ohne vorliegendes Schließungskonzept macht dieses Vorgehen sogar Sinn.

Meiner Meinung nach greift der Ansatz aber dennoch zu kurz. Je schlechter der Informationsstand über die Eigenschaften der Deponie und der eingelagerten Abfälle ist, desto mehr Aufmerksamkeit muss der Maximierung der Sicherheitsfunktionen gegeben werden, wenn die Abfälle tatsächlich unter Tage verbleiben sollen. Der Brand 2002 stellt hierbei beispielsweise die Einhaltung der Annahmekriterien in Frage, die nicht den ursprünglichen Prognosen entsprechende Instabilität und Inhomogenität des Grubengebäudes und des Wirtsgesteins lässt Zweifel an den Einschlusseigenschaften der Deponie aufkommen. Diese Zweifel wären im Rahmen eines Schließungskonzepts bzw. eines Langzeitsicherheitsnachweises systematisch auszuräumen. Soweit sind die Überlegungen zur Schließung der Deponie aber offenbar noch nicht gediehen.

Ich bin der Meinung, dass für einen Vergleich der beiden Optionen - Abfallrückholung auf der einen Seite, Verbleib der Abfälle unter Tage auf der anderen Seite, auch für beide in sich konsistente Konzepte vorgelegt werden müssen.

Stefan Alt, 01. Januar 2011

Synthèse personnelle des discussions sur le retrait ou l'abandon des, dans COPIL Stocamine:

(Traduction d'un texte allemand, soumis à l'attention des collègues du COPIL STOCAMINE le 30 mars 2011)

Retrait et stockage définitif en centre externe

Un retrait des déchets est sans doute techniquement possible. Cela devrait être la première option. Le coût pour cela sera par contre élevé.

Les risques pour la sécurité des mineurs sont importants, mais peuvent être maîtrisés. Pour cela, il existe des technologies appropriées et des entreprises expérimentées. La mise en sécurité des cavités et de la protection des travailleurs contre tout contact avec les polluants sont à prendre en considération en priorité.

Les risques liés au transport ne sont pas différents des risques de transferts de déchets en général.

Des décharges adaptées existent, dans lesquelles, les déchets doivent être conditionnés et emballés selon les critères d'acceptation des décharges. Dans le cas des « UTDs » allemands, outre les décharges existantes, il conviendrait de consulter également la décharge de Herfa-Neurode.

Il n'est pas nécessaire de récupérer tous les déchets et tous les polluants, en particulier l'amiante peu rester dans Stocamine. Pour cela, des colis doivent être transportés et déplacés successivement à d'autres endroits de la mine, pour éviter de faire obstacle à la reprise des autres polluants. Pour se faire, un reconditionnement (films ou « suremballage ») des conditionnement doit être prévu.

Les effets nocifs de l'amiante ne repose pas sur les propriétés chimiques, mais sur sa structure fibreuse. L'amiante ne peut pas entraîner une contamination des eaux souterraines si les big bag d'amiante restent dans Stocamine. Une récupération au jour signifierait plutôt un risque inutile pour les travailleurs et les riverains.

Tous les polluants chimiquement actifs (comme les métaux lourds et l'arsenic) devraient être sécurisés, confinés et être éliminés dans des décharges appropriées. Les polluants organiques (comme les dioxines par exemple) pourraient ainsi être rendus inoffensifs par incinération dans un incinérateur de déchets dangereux.

La récupération des déchets du Bloc 15 est probablement la tâche la plus difficile. Cette opération devrait effectuée à la fin du retrait pour pouvoir profiter de toutes les expériences acquises des travaux précédents. Ce ne sont ni la nature des déchets ni les conséquences de l'incendie qui posent problème mais l'instabilité des toits et des galeries.

Pour assurer la sécurité des cavités, une grande quantité de sel sera produite. En conséquence, il conviendra d'accorder une attention particulière pour que ce sel ne soit contaminé inutilement pour augmenter inutilement la quantité de déchets à traiter.

Par conséquent, le sel doit être analysé pour la recherche des polluants. Le sel non-contaminé peut être stocké dans les cavités libérés.

Stocamine ne peut réaliser seul, le retrait des déchets. D'importants moyens financiers sont nécessaires, de plus des entreprises spécialisées, qui disposeront des compétences nécessaires, des équipements spécifiques et du personnel formés devront être chargés des travaux. Stocamine et les administrations compétentes devront s'assurer que les autorisations nécessaires (par exemple pour la manipulation des déchets sur les lieux de travail) peuvent être accordées.

Devenir des déchets au fond:

L'abandon de tout ou une partie des déchets au fond ne peut être envisagé que dans les conditions suivantes :

1. Si la récupération, le retrait, est techniquement impossible.
2. Si la récupération doit être annulée pour des raisons de sécurité.
3. Si la récupération devrait entraîner des risques plus importants pour l'environnement que leur abandon au fond (par exemple : l'amiante)

Dans le cas d'un abandon de déchets au fond du site de Stocamine, les déchets doivent être encapsulés en toute sécurité sur le long terme. Cela implique que la preuve soit fournie.

Si cela n'est pas possible (les remarques de M. Wildi et M. Buser sur l'état de Stocamine montrent qu'il existe des doutes légitimes sur la sécurité à long terme!), il faudra clairement communiquer et informer le public, que Stocamine représente, à long terme, un risque de rejet de substances polluantes dans les eaux souterraines. En conséquence, Stocamine devra être surveillée à long terme (toujours) pour pouvoir réagir à temps en cas d'une contamination des eaux souterraines.

Dans ce cas également la meilleure possibilité de fermeture devra être mise en œuvre. Un remblayage sans prescriptions particulières n'est pas acceptable. Le contact des déchets avec la saumure doit être évitée aussi longtemps que possible.

Par un confinement (remplissage) aussi complet que possible il faut réduire la quantité de saumure susceptible d'entrer en contact avec les déchets. Cela réduit également la convergence, qui à son tour détermine le taux de libération de la saumure contaminée. Mais comme d'autres mécanismes agissent (par exemple la production de gaz provenant des déchets), il ne sera, sans doute, pas possible d'éviter totalement une sortie de saumures de Stocamine.

Stefan Alt, 30. März 2011

Persönliches Resümee der bisherigen Diskussionen im COPIL Stocamine:

Rückholung und externe Entsorgung:

Eine Rückholung der Abfälle ist wahrscheinlich technisch machbar. Dies sollte die erste Option sein. Der Aufwand hierfür wird aber groß sein.

Die Risiken für den Arbeitsschutz unter Tage sind groß, können aber beherrscht werden. Es gibt dazu geeignete Technologien und erfahrene Firmen. Die Sicherung von Hohlräumen und der Schutz der Arbeiter vor einem Kontakt mit den Schadstoffen stehen hier im Vordergrund.

Die Transportrisiken unterscheiden sich nicht von den Risiken anderer Abfalltransporte.

Es stehen geeignete Deponien zur Verfügung, wobei die Abfälle entsprechend den Kriterien für Annahme in den Deponien konditioniert und verpackt werden müssen. Im Fall der deutschen UTDs sollte neben den bisher betrachteten Deponien noch die Deponie Herfa-Neurode angefragt werden.

Es müssen nicht alle Abfälle und Schadstoffe geborgen werden, insbesondere Asbest in Stocamine verbleiben. Hierzu müssen die Gebinde allerdings sukzessive an andere Stellen im Bergwerk transportiert werden, da sie ansonsten die Bergung der anderen Schadstoffe behindern. Dabei ist eine neue Verpackung (Folien oder „Overpacks“) der einzelnen Abfallbehälter vorzusehen.

Die schädliche Wirkung von Asbest beruht nicht auf chemischen Eigenschaften, sondern auf seiner Faserstruktur. Asbest kann nicht zu einer Grundwasserkontamination führen, wenn er in Stocamine bleibt. Eine Bergung nach über Tage würde stattdessen ein unnötiges Risiko für die Arbeiter und unbeteiligte Personen bedeuten.

Alle chemisch wirkenden Schadstoffe (e.g. Schwermetalle und Arsen) sollten geborgen und in geeigneten Deponien entsorgt werden. Organische Schadstoffe (e.g. Dioxine) könnten dabei auch durch Verbrennung in einer Sondermüllverbrennungsanlage unschädlich gemacht werden.

Die Bergung der Abfälle aus Bloc 15 ist wahrscheinlich die schwierigste Aufgabe. Sie sollte am Ende der Rückholung stehen, um aller Erfahrungen aus den vorherigen Arbeiten nutzen zu können. Dabei sind nicht die Abfälle oder der Brand das Problem, sondern die instabile Decke (Firste).

Durch Arbeiten zur Sicherung der Hohlräume kann eine größere Menge Salz anfallen. Es ist darauf zu achten, dass dieses Salz nicht unnötig kontaminiert wird, um die Abfallmenge nicht unnötig zu vergrößern. Das Salz sollte daher auf Schadstoffe untersucht werden. Nicht kontaminiertes Salz kann in frei werdende Hohlräume eingebracht werden.

Stocamine kann eine Rückholung nicht alleine realisieren. Hier sind erhebliche finanzielle Mittel erforderlich, außerdem müssen geeignete Spezialfirmen beauftragt werden, die über die notwendigen Kompetenzen, Ausrüstung und ausreichendes fachkundiges Personal verfügen. Stocamine und die zuständige Verwaltung müssen dafür sorgen, dass die erforderlichen Genehmigungen (z.B. zum Umgang mit den Abfällen auf dem Betriebsgelände) erteilt werden können.

Verbleib von Abfällen unter Tage:

Ein Verbleib aller Abfälle oder eines Teils dieser Abfälle unter Tage kommt nur dann in Betracht

1. Wenn eine Rückholung technisch unmöglich ist.
2. Wenn eine Rückholung aus Sicherheitsgründen abgebrochen werden muss.
3. Wenn eine Rückholung zu einer größeren Umweltgefährdung führen würde als ein Verbleib (e.g. Asbest).

Für den Fall eines Verbleibs von Abfällen in Stocamine sind folgende Randbedingungen wesentlich:

Die Abfälle müssen langzeitsicher eingekapselt werden. Hierfür muss ein Nachweis erbracht werden.

Falls das nicht gelingt (die Anmerkungen von Herrn Wildis und Herrn Buser zum Zustand von Stocamine zeigen, dass es berechtigte Zweifel an der Langzeitsicherheit gibt!), muss deutlich öffentlich kommuniziert werden, dass Stocamine langfristig das Risiko einer Schadstofffreisetzung in das Grundwasser darstellt. Stocamine wird dann langfristig (ewig!) überwacht werden müssen, um bei einer Grundwasserkontamination rechtzeitig reagieren zu können.

Auch in diesem Fall muss der bestmögliche Verschluss hergestellt werden. Eine Flutung ohne weitere Maßnahmen ist nicht akzeptabel. Der Kontakt der Abfälle mit Salzlauge muss so lange wie möglich verhindert werden.

Durch eine möglichst vollständige Verfüllung muss außerdem die Menge an Salzlauge, die mit den Abfällen in Kontakt treten kann, minimiert werden. Hierdurch wird auch die Konvergenz minimiert, die wiederum die Rate Freisetzung von kontaminierter Salzlauge mit bestimmt. Da hier aber auch andere Mechanismen wirken (e.g. Gasbildung aus den Abfällen), kann eine Freisetzung von Salzlauge aus Stocamine heraus wahrscheinlich nicht ganz verhindert werden.

Stefan Alt, 30. März 2011

Annexe 9 : Contributions de B. Maréchal

Notes de B. MARECHAL suite à la lecture des documents mis à disposition par STOCAMINE

Je me suis concentré sur 2 types de documents :

-les documents généraux (dossier d'enquête publique, rapports d'expertises), avec une lecture orientée évaluation des dangers et des risques, en complément du travail de M. Giovanetti et de MM. Coste et Meyer,

- le suivi environnemental et l'évaluation des risques sanitaires associée.

Ces notes viennent modestement compléter l'excellent travail de mes collègues du COPIL, en particulier la synthèse très développée et complète de M. Berest, dont je partage bon nombre de réflexions et de questionnements.

Mes notes sont volontairement orientées sur ce que l'on peut attendre de STOCAMINE et l'INERIS et sur les points de discussion qu'il me semble important de considérer, en sus des points identifiés par les autres membres du COPIL.

A/ Dossier d'enquête publique et documents associés

Dans cette partie, ressortent certaines réflexions résultant de la lecture des documents suivants:

[1] Le stockage en mine de déchets industriels, StocaMine, février 1996 (dossier d'enquête publique) et annexes associées

[13] Avis d'expert relatif à la demande de création d'un stockage souterrain de déchets industriels ultimes, INERIS, octobre 1996.

[non référencé] Rapport sur la fermeture du stockage de déchets ultimes de StocaMine, Caffet & Sauvalle

Remarque préalable : la notion d'exploitant et d'exploitation couvrent les opérations tant de fermeture que de déstockage partiel ou total.

L'analyse de ces études apporte des éclairages et éléments d'appréciation qui sont à considérer d'une part par STOCAMINE et l'INERIS dans les études complémentaires en cours et l'évaluation des scénarios, et d'autre part par le COPIL dans le cadre de sa mission.

En particulier, la lecture effectuée à laquelle j'associe les observations faites lors de la visite du stockage et les discussions lors des réunions du COPIL, m'amène à penser que l'évaluation des

scénarios doit inclure, pour être "recevable" ou correctement appréciée par le COPIL et, ultérieurement par le tiers-expert, notamment :

1. Une analyse juridique et réglementaire précisant le cadre dans lequel les opérations de fermeture et/ou de déstockage peuvent intervenir, les responsabilités et engagements de l'exploitant. Il s'agit également de s'assurer que le cadre réglementaire est suffisamment précis pour s'assurer que l'exploitant procédera à une mise en œuvre conforme. Par exemple, il est manifeste que lors de l'exploitation jusqu'en 2002 du stockage, malgré le classement ICPE du site, l'arrêté d'exploitation, le contrôle régulier et l'obligation de traçabilité, des irrégularités manifestes ont eu lieu. De plus, il ne serait pas pertinent et mal venu vis-à-vis de l'opinion d'identifier une solution qui serait techniquement acceptable mais réglementairement insuffisamment encadrée.
2. En corollaire, une analyse démontrant la réelle garantie du dispositif de fonds financiers pour couvrir tout dommage ou réparation ultérieure rendue nécessaire par un accident ou un défaut d'exploitation. En effet, une solution technique viable mais pour laquelle la garantie de la disponibilité du budget pour sa mise en œuvre pour n'est pas effective, ou bien dont le montant garanti est très insuffisant (c'est le cas pour la garantie définie dans le cadre de l'exploitation de StocaMine jusqu'à présent), n'est pas une solution sécurisée. Il y a aujourd'hui un discours rassurant laissant entendre que quelle que soit la solution retenue, les moyens financiers seront mis sur la table. D'un point de vue factuel, c'est un énoncé de bonnes intentions et non une garantie.
Si ces deux points ne sont pas à proprement parler dans le cadre exact de notre analyse, il conviendrait d'inclure le traitement de ces questions dans le travail de tiers-expertise, et donc de le signaler en remarques dans notre rapport final.
3. Les implications en terme de servitudes, restrictions d'usages et de conservation de la mémoire doivent être précisément décrites. Il semble que dans tous les cas, la servitude instaurant le "gel" définitif de l'emprise du stockage, à sa profondeur, est inévitable, de par la pollution, à terme, de l'encaissant.
4. L'étude des scénarios et l'évaluation des solutions doivent intégrer le délai possible entre "aujourd'hui" et la date réellement envisageable pour le démarrage des opérations de déstockage et/ou de fermeture définitive, et donc l'évolution possible du stockage pendant cette période, puisque la convergence des parois, le fluage et des désordres se produisent continuellement.
5. Le dossier d'enquête publique initial est particulièrement riche d'enseignements quant aux défauts inhérents de l'approche d'évaluation des dangers et des risques. En effet, même si, aujourd'hui, la démarche est bien plus fine et détaillée, la difficulté réside dans la capacité réelle à pouvoir prétendre à l'exhaustivité des situations de dangers, phénomènes dangereux et incidents ou accidents dans l'évaluation. Ainsi, il ressort dans ce dossier, par exemple:
 - Que la probabilité de survenue d'incendie des déchets était considérée comme nulle car des déchets non stabilisés n'étaient pas admis dans le stockage, ce qui suppose que l'exploitant respecte scrupuleusement la réglementation et son arrêté d'exploitation ! L'écart à cette conformité ou la malveillance n'a pas été prise en compte ;

- Que les fûts ne pouvaient pas être corrodés, sans prendre en compte la possibilité que les fournisseurs pouvaient peut-être fournir des fûts de mauvaise qualité, ou que l'étanchéité au plâtre pouvait générer des désordres...
- Que le fluage était suffisamment limité pour permettre le déstockage, mais, en phase d'exploitation, il semble que l'espace disponible entre les déchets conditionnés et les parois a été minimisé autant que possible, limitant fortement la faisabilité d'une réversibilité "aisée".

Avec ces remarques, il ne s'agit pas de remettre en cause la pertinence des études techniques réalisées en support du dossier d'enquête mais plutôt de montrer comment ces études sont utilisées et transposées par l'exploitant dans la conception et le fonctionnement de son site. Ce transfert du spécialiste à l'utilisateur révèle un manque de recul et l'absence de marge de sécurité dans la mise en œuvre et la phase de réalisation.

Par conséquent, le constat des écarts importants entre les prévisions à la date de soumission du dossier et ce qu'il s'est passé lors de l'exploitation conduit à s'assurer que les études présentées par STOCAMINE et l'INERIS, en particulier l'évaluation des scénarios, doivent inclure:

- Une évaluation précise et quantifiée des incertitudes et des tests de sensibilité sur les paramètres les plus dimensionnant
 - L'intégration de marges de sécurité dans la définition des différents paramètres intégrés dans les scénarios
 - La prise en compte de situations dangereuses résultant de malveillance, mauvaises conditions d'exploitation, déroulement en mode dégradé, etc...correspondant typiquement à des situations hors normes (au sens propre) afin de ne pas retrouver l'écueil du bloc 15, à savoir un incendie tout simplement non considéré dans les scénarios de l'étude de dangers initiale ! En particulier, une grande attention doit être portée au comportement humain et aux défaillances potentielles associées;
 - En corollaire, dans les scénarios, il convient d'intégrer aussi les situations où l'évolution du stockage ou bien l'exploitation ne se passent pas comme cela est attendu d'après les modèles ou l'analyse des risques (par exemple envoi plus rapide) et, pour ces situations, déterminer le "plan de secours" qui peut être mis en place de manière réaliste pour maîtriser les risques pour les personnes et l'impact sur l'environnement. Ce n'est qu'avec la bonne prise en compte de telles situations dégradées et les mesures de maîtrise des risques associées que peut être validé un scénario.
6. L'évaluation des scénarios par l'INERIS doit être fondée sur une analyse croisée (cartographique mais aussi quantifiée) de la nature des déchets, la qualité des contenants (big-bags, fûts...) et de l'état des lieux de stockage ainsi que de leur évolution possible durant le temps de latence entre aujourd'hui et la date possible d'un déstockage. Ceci s'intègre dans la phase de définition du terme source qui doit être présentée prochainement.
 7. L'évaluation des scénarios doit être également précise dans l'identification et la définition des mesures de maîtrise des risques. En effet, on ne peut se contenter de lister des règles générales dont les modalités de mise en œuvre seraient laissées à l'appréciation de l'exploitant. Des modes opératoires et procédures précis, réellement adaptés et sécurisés doivent être établis, au stade projet (ainsi, par exemple, pour la sécurité du personnel intervenant, on ne peut se contenter de lister les EPI à prévoir mais bien définir les conditions et règles de leur utilisation). La définition des mesures de maîtrise des risques doit démontrer une

grande rigueur dans la gestion et la mise en œuvre des opérations, la traçabilité et le contrôle des travaux effectués.

8. Pour le scénario de réversibilité, le retour d'expérience de l'opération de retrait des terres polluées au PCB est à considérer.
9. STOCAMINE et l'INERIS se focalisent sur 2 scénarios extrêmes. Néanmoins, à mon sens, cela ne peut pas suffire. C'est une étape préalable indispensable mais doit conduire à la définition et à l'évaluation d'un scénario de déstockage partiel, évaluation qui doit être réalisée dans le temps qui est prévu pour la mission du COPIL.
10. Aux 2 scénarios, stockage définitif et déstockage, correspondent des dommages et impacts potentiels majeurs, portant respectivement sur l'environnement et la population générale (stockage illimité) et sur la sécurité des travailleurs (déstockage). Ces deux types d'impact correspondent à des échelles de temps et de valeurs extrêmement différentes qui les rendent difficilement, voire impossible, à comparer. Par conséquent, l'acceptabilité de l'une par rapport à l'autre porte donc sur la capacité d'identifier et de pouvoir mettre en œuvre, de manière réaliste, des mesures pour éviter la survenue de tels risques. Aussi, l'évaluation des scénarios doit donc porter, une fois les risques bien définis, sur la faisabilité de ces mesures et la confiance que l'on peut dans ces mesures.
11. Sur la démarche d'évaluation du travail produit par l'INERIS, dans l'évaluation des scénarios, qui incombe au COPIL et, ultérieurement au tiers-expert, nous devons prévoir de discuter:
 - La validité et pertinence de la méthodologie appliquée par l'INERIS
 - La validation ou l'avis porté sur les études et scénarios pour chacune des phases suivantes
 - Sur la synthèse des données disponibles, leur pertinence et représentativité, le besoin de compléments éventuels pour combler des "data gaps" ou bien lever des doutes
 - Sur les hypothèses des scénarios: pertinence, représentativité, exhaustivité
 - Sur le cheminement du raisonnement qui conduit aux résultats présentés
 - Sur les résultats, leur interprétation, leur domaine de validité,
 - Sur les incertitudes précisément évaluées et quantifiées,
 - Sur les implications en terme de solution envisageable pour le devenir du stockage et la mise en œuvre de cette solution.

B/ Suivi environnemental et évaluation des risques sanitaires

Dans cette partie, ressortent certaines réflexions résultant de la lecture des documents suivants:

[14] Réalisation d'un état initial du site de stockage de déchets industriels de StocaMine, INSA division Polden, décembre 1998.

[16a] Evaluation des risques sanitaires : site de Wittelsheim, bilan des émissions au jour et en fond de mine, ERM France, 20 février 2003.

[16b] Evaluation des risques sanitaires : site de Wittelsheim, ERM France, 30 mars 2003.

[20] Analyses environnementales courantes, extraits, StocaMine.

[21] Suivi minier, température et analyses des gaz, StocaMine et MDPA.

Le suivi environnemental appelle peu de remarques. Il a été procédé à des caractérisations des compartiments de l'environnement à plusieurs phases :

- Définition de l'état initial, avant exploitation.
- Suivi courant lors de l'exploitation, puis suite à l'arrêt en 2002, jusqu'à présent. Le suivi est toujours actif
- Campagne spécifique, au fond et au jour, sur site et hors site, suite à l'incendie du bloc 15, données exploitées pour une évaluation des risques sanitaires portant sur les travailleurs de STOCAMINE intervenant au fond d'une part et pour la population générale, au jour, autour du site, d'autre part.

Le suivi environnemental courant est adapté et il ne ressort aucun impact particulier lié à l'activité du site. Les paramètres traceurs du suivi semblent adaptés à la phase d'exploitation du site et à la nature des déchets stockés.

L'évaluation des risques sanitaires a été mise en œuvre conformément à la méthodologie générale de ces études. Il ressort toutefois certaines limites et questionnements importants quant à l'exhaustivité du programme de caractérisation pour évaluer l'impact de l'incendie d'une part et quant à l'origine de certains composés retrouvés :

- Les cyanures n'ont pas été analysés dans les différents milieux, alors qu'il s'agit d'une catégorie de déchets importante
- Dans l'air au fond et/ou en surface, il est retrouvé certains composés organiques dont l'origine n'est pas clairement établie : BTEX, acétone, acétaldéhyde...

Néanmoins, ces remarques préalables n'apportent rien au travail du COPIL.

Il s'agit plutôt de réfléchir à la nature de la surveillance à engager dans les différents scénarios. On distingue d'emblée deux types de surveillance pour des objectifs bien ciblés:

- Une surveillance établie dans le cadre du suivi de l'exploitation, en activité, et quelques temps (quelques années) après la cessation d'activité. Cette surveillance doit être assez similaire à celle mise en œuvre jusqu'à présent, éventuellement renforcée dans le cas du déstockage, du fait de la mise au jour et de la manipulation des déchets stockés. Elle porte sur le suivi analytique de traceurs de pollution;
- Une surveillance sur le long terme, dans le cas du stockage définitif (partiel ou total) afin de suivre l'évolution du stockage d'une part, le comportement des déchets et polluants et l'impact potentiel sur l'environnement.

Ces deux types de surveillance correspondent à des échelles de temps et des programmes de suivi bien distincts. En particulier, pour le second cas (stockage définitif), il est nécessaire d'intégrer des mesures de surveillance sur des paramètres qui permettent de suivre l'évolution physique du stockage (convergence des parois, degré et vitesse d'envoyage...) et de vérifier si cette évolution est conforme aux modèles prédictifs utilisés. La définition du programme de mesures (type de mesure, paramètre, lieu de mesure, fréquence, durée) doit être telle que l'on puisse identifier le plus tôt

possible une dégradation ou une évolution non conforme à ce qui est attendu et anticiper un risque ou un impact majeur, ceci afin de pouvoir mettre en place des mesures de maîtrise soit pour contrecarrer l'évolution défavorable soit pour protéger l'environnement. Ceci conduit également à inclure dans la surveillance la notion de seuils d'alerte ou de seuils d'intervention, afin d'évaluer précisément à quel moment il faut réagir.

Il est donc nécessaire que les évaluations des scénarios réalisées par l'INERIS comportent une partie détaillée et argumentée quant à la surveillance lors de l'exploitation et surtout post-exploitation, pour que nous puissions les considérer comme recevables. Cette description de la surveillance ne peut se limiter à des prescriptions générales mais bien une version "projet" d'un programme de surveillance (paramètres à suivre, où, combien, fréquence, durée, seuils, etc...)

Version 0

Fait à Lyon le 7 décembre 2010

Révision en version 1

Fait à Lyon le 12 janvier 2011

Annexe 10 : Géomécanique, G. Vouille

Analyse des études géomécaniques relatives à STOCAMINE

INTRODUCTION

La réalisation et le devenir à moyen et long terme d'un stockage souterrain de déchets industriels tel que celui de STOCAMINE posent un certain nombre de questions auxquelles les études géomécaniques (essais de laboratoire, modélisations numériques, mesures *in situ*) doivent apporter des éléments de réponse :

- 1) Comment dimensionner les galeries pour garantir la sûreté du stockage pendant la phase d'exploitation
- 2) Pendant quelle durée la réversibilité du stockage est elle garantie
- 3) Compte tenu de la méthode d'exploitation par foudroyage de la potasse, préalablement à la réalisation du stockage, l'étanchéité de la barrière géologique est elle garantie et cette exploitation préalable est elle susceptible, une fois l'ennoyage réalisé, de favoriser la dissémination des polluants contenus dans le stockage
- 4) Quelle est l'amplitude des dégradations du massif provoquées par l'incendie du bloc 15, dans quelle mesure ces dégradations accroissent elles le risque de dissémination des polluants contenus dans le stockage
- 5) Du fait de la viscoplasticité du sel, les déplacements du massif provoquent la fermeture progressive des vides souterrains : peut on évaluer la vitesse d'évolution de ce phénomène dans le cas des exploitations minières et dans le cas du stockage
- 6) A quelle échéance ces mouvements du terrain aboutiront ils, au niveau du stockage, à la fermeture complète des vides souterrains et au rétablissement des propriétés du massif initial, cette circonstance est elle susceptible d'intervenir avant que l'ennoyage atteigne le stockage

PRESENTATION ET ANALYSE DES DOCUMENTS DISPONIBLES

1) Mines de potasse d'Alsace - Etude de sûreté d'un projet de stockage de déchets toxiques dans la mine Amélie – Aspects mécaniques du problème (Ecole des Mines de Paris 1990)

L'étude géomécanique initiale du stockage de déchets industriels de STOCAMINE est celle de l'Ecole des mines de Paris (VOUILLE 1990) qui a été présentée par STOCAMINE à l'appui de sa demande d'autorisation d'exploiter le centre de stockage en 1996. Cette étude comporte une partie d'identification en laboratoire des propriétés mécaniques du sel gemme

de la mine Amélie et une partie de modélisation numérique du comportement des futures galeries de stockage. Nous en rappellerons ici brièvement les conclusions :

Le sel de la mine Amélie, de masse volumique 2160 kg/m^3 , est un matériau élasto-viscoplastique caractérisé par un module de Young de $25\,000 \text{ MPa}$ et un coefficient de Poisson de $0,23$. La viscoplasticité a été mise en évidence par deux essais de fluage sous compression triaxiale d'une durée de un mois : les conditions de l'essai (Température 40°C – Pression de confinement 12 MPa) ont été choisies proches de celles régnant dans le gisement au voisinage de la profondeur du stockage soit 550 m (au paragraphe 2131 de l'étude technique du projet on mentionne une température des terrains de 38°C à 550 m de profondeur ; en ce qui concerne les contraintes à cette profondeur, des mesures in situ réalisées dans les mines de potasse (BRENIAUX et al. 1986) ont abouti à la relation $\sigma_{\text{MPa}} = 0,0235 \times Z_m$ ce qui donne une pression de $12,9 \text{ MPa}$ à la profondeur de 550 m). Le déroulement de l'essai consiste, en partant d'un état de contraintes isotrope où pression axiale et pression latérale sont égales à 12 MPa , à porter successivement la pression axiale à $17, 19,5, 22$ et $24,5 \text{ MPa}$ chaque palier ayant une durée de 7 jours. Dans ces conditions le sel présente un comportement viscoplastique (déformation continue sans rupture) et l'évolution des déformations en fonction de l'historique des contraintes est très correctement représentée par le modèle rhéologique de LEMAITRE et l'évolution en fonction du temps de la déformation sous contrainte constante est donnée par la formule :

$$\varepsilon = (\sigma/K)^\beta \cdot t^\alpha$$

En exprimant le temps en jours, la contrainte en MPa et la déformation en microns par mètre les paramètres prennent les valeurs suivantes :

$$K = 0.266 \quad \beta = 2.296 \quad \alpha = 0.270$$

Les modélisations numériques par la méthode des éléments finis utilisant les paramètres mécaniques déduits des essais ont conduit l'Ecole des Mines de Paris (ENSMP) à recommander le schéma d'exploitation qui a été effectivement réalisé en prédisant des déviateurs relativement modérés au cœur des piliers, un écaillage des parements à moyen terme et une loi d'évolution des convergences horizontales et verticales des galeries à vitesse décroissante (loi en t^α avec $\alpha \approx 0.23$). Conformément à cette loi il faudrait près de quatre siècles pour obtenir un rapprochement du toit et du mur des galeries de l'ordre du mètre.

Les remarques restrictives que l'on peut faire a posteriori, notamment au vu de l'évolution des chantiers, concernent les hypothèses suivantes qui sous tendent implicitement ou explicitement cette étude :

- l'homogénéité supposée du massif salifère n'a pas permis de prévoir l'effet néfaste sur la stabilité locale des petits lits marneux situés à proximité du toit et du mur des galeries.
- L'aptitude du sel à se déformer de manière continue, sans rupture, quel que soit l'état de contraintes auquel il est soumis, n'est pas remise en question même lorsqu'une des contraintes principales est proche de zéro ce qui est le cas à proximité des parois des galeries. Or, lorsqu'on étudie en laboratoire l'évolution du comportement mécanique du sel en fonction de la plus faible des contraintes principales auxquelles il est soumis, on observe une « transition fragile-ductile » qui se situe au voisinage d'une contrainte de quelques MPa. Une telle transition est certes difficile à modéliser mais le fait de l'ignorer n'a pas permis de prévoir les ruptures des bancs du toit et du mur notamment pour les chantiers où les toits sont situés à 25 m au dessous de la couche inférieure de potasse
- La validité de l'extrapolation à des durées de l'ordre du millénaire d'un comportement observé en laboratoire sur une durée de un mois peut être mise en doute même si, jusqu'à présent, l'ordre de grandeur des déformations mesurées n'est pas fondamentalement différent de ce que le calcul avait prévu ; on observe néanmoins une évolution des convergences horizontales et verticales à vitesse constante alors que le calcul prédisait leur ralentissement, ce qui implique que l'écart entre prévision et réalité va s'accroître au cours du temps. D'un point de vue plus théorique on peut se demander si les essais réalisés par l'ENSMP, en raison de leur courte durée, n'ont pas mis uniquement en évidence un comportement à court terme ou transitoire, parfaitement modélisé par la loi de LEMAITRE, mais qui ne peut rendre compte du comportement à très long terme du massif.

2) Avis d'expert relatif à la demande de création d'un stockage souterrain de déchets industriels ultimes (INERIS 1996)

Dans l'avis d'expert émis par l'INERIS en octobre 1966 les auteurs de ce texte, commentant le rapport de L'ENSMP, indiquent que « Cette étude très précise et reposant sur un modèle de comportement du sel éprouvé dans de nombreux cas est bien démonstrative de la stabilité à attendre des cavités » ; ils signalent toutefois une différence entre la résistance en compression uniaxiale mesurée par l'ENSMP (31,7 et 34,1 MPa) et la résistance à long terme du sel de la mine Amélie mesurée par G3S (\approx 15 MPa) : Cette différence n'est pas surprenante dans la mesure où les essais de l'ENSMP, réalisés avec une vitesse de chargement de 1MPa/mn, n'étaient pas destinés à mesurer une résistance à long terme qui, en outre, est une quantité dont le caractère intrinsèque n'est pas évident.

Les auteurs de cet avis d'expert relèvent que l'ENSMP n'a pas pu caler son modèle de calcul sur des mesures de déformation réalisées dans la mine et recommandent vivement l'implantation de stations de mesure de convergence au fur et à mesure de la réalisation du

stockage (ce qui a effectivement été réalisé par la suite). Toutefois, ayant pu retrouver des mesures réalisées dans une voie au mur de la mine Amélie sur une durée de 14 années (voie AJE-D) qui mettent en évidence sur cette durée des convergences verticales comprises entre 5,5 et 15,8 cm et constatant que le calcul réalisé par l'ENSMP sur une voie analogue conduit à une convergence de 24 cm au bout d'une quinzaine d'années, les auteurs de l'avis en concluent que les calculs réalisés par l'ENSMP sont relativement pessimistes et, en se plaçant dans une perspective de réversibilité, ils en déduisent que « l'accessibilité [des galeries de stockage] est assurée pour une durée largement suffisante »

Les études complémentaires abordant les problèmes géotechniques sont toutes postérieures à l'incendie du bloc 15 et à l'arrêt de l'exploitation du stockage.

3) Etude géologique, hydrogéologique et géotechnique du centre de stockage de Stocamine (I.S.P.S. - Bâle - Suisse – MICA Environnement 2004)

MICA a réalisé une cartographie des phénomènes de déformation et d'écaillage des piliers ainsi que des phénomènes de chute des toits et de soufflage des murs des galeries du stockage. Il est à noter que MICA attribue une origine différente à ces deux derniers phénomènes : selon les auteurs de ce rapport le soufflage des murs serait dû au poinçonnement du sol par les piliers alors que les chutes de toit seraient consécutives au flambement et à la rupture par traction des bancs du toit séparés par les lits marneux. Après examen des chantiers, il nous semble au contraire que les deux instabilités sont de même nature et résultent de la déformation horizontale excessive que subissent les bancs de sel individualisés par des lits marneux de faible épaisseur qui se trouvent aussi bien dans le toit que dans le mur des galeries. Le déplacement horizontal des extrémités de ces bancs sous l'effet du mouvement du massif vers le vide provoque leur flambement et leur rupture en traction au milieu de la portée et au voisinage des parements des galeries. La seule différence provient des forces de gravité qui provoquent la chute des toits rompus alors que les murs restent en place. On peut ajouter que, pour qu'il puisse y avoir poinçonnement, il faudrait que le mur soit d'une moindre résistance mécanique que les piliers ce qui n'est manifestement pas le cas, puisque piliers et mur sont situés dans le même horizon salifère.

S'agissant de l'écaillage des parements des piliers, MICA indique que cet écaillage est pratiquement nul aux limites du quartier - ce qui s'explique évidemment par la proximité du massif vierge qui soulage les piliers - mais peut atteindre 15 à 30 cm à proximité du centre du stockage. MICA indique n'avoir observé aucune fissure profonde au cœur des piliers, ce qui est bien cohérent avec le fait qu'il y règne un état de compression triaxiale pour lequel le sel a un comportement viscoplastique ; en revanche la fissuration apparaît à proximité des parements, là où la contrainte principale mineure est pratiquement nulle. L'écaillage des piliers centraux des voies doubles, même s'il est spectaculaire, n'est pas vraiment préoccupant dans la mesure où ces piliers ont vocation à s'affaisser et constituent en fait le soutènement

central d'une galerie unique plus large qui serait formée par la réunion des deux voies adjacentes.

MICA présente également une synthèse des mesures de convergence horizontale et verticale. On peut observer tout d'abord que les vitesses de convergence horizontale et verticale sont du même ordre de grandeur ce qui est conforme aux calculs de l'ENSMP. Les auteurs du rapport ne présentent pas les courbes d'évolution des convergences en fonction du temps mais signalent que « les vitesses de convergence au fond évoluent rapidement juste après le creusement des allées de stockage pour atteindre une vitesse constante au bout de quelques années, voire légèrement décroissante ». L'analyse des vitesses de convergence n'est pas très affinée, notamment un phénomène tel que l'influence de la proximité des bords fermes n'est pas pris en considération, les auteurs considèrent des vitesses moyennes dans les divers blocs et ne retiennent que le fait que les blocs ouverts le plus anciennement (1988) ont des vitesses de convergence plus faibles que les blocs ouverts plus récemment (2001 et 2002)

La partie de ce rapport consacrée au comportement mécanique du stockage reproduit pratiquement in extenso le rapport de l'ENSMP avant de confronter les résultats de la modélisation exposée dans ce rapport avec les mesures de convergence, l'idée étant encore de mettre en évidence l'influence de l'âge des divers blocs. Selon cette grille de lecture, les vitesses de convergence verticale théoriques obtenues en appliquant la formule proposée par l'ENSMP sont plus faibles que les vitesses mesurées, ce que MICA interprète logiquement en évoquant le fait que l'ENSMP n'a pas pris en compte le soufflage du mur. En revanche MICA indique une « concordance parfaite » entre la formule de l'ENSMP et les mesures de convergence horizontale. En réalité cette « concordance » est due à une erreur d'interprétation de MICA qui, sous prétexte que la modélisation de l'ENSMP ne comportait qu'une demi galerie, a cru à tort que les convergences horizontales indiquées dans le rapport n'étaient que des demi convergences alors que l'auteur avait bien pris soin de doubler le déplacement horizontal du milieu du parement pour le convertir en convergence (l'examen des déformées des terrains au bout de 1370 ans [fig 103 du rapport ENSMP par exemple] permet de s'en convaincre). Finalement MICA adopte les formules de convergence proposées par l'ENSMP pour extrapoler à 20 000 ans les déformations prévisibles des allées de stockage (les convergences ainsi calculées sont alors de l'ordre de 2,50 m)

Enfin, pour évaluer le risque de remontée des fissures en surface et pour expliquer l'importance des déformations affectant la partie Sud-Est du stockage, MICA a réalisé une modélisation numérique par éléments finis en déformations planes ; les caractéristiques mécaniques des divers terrains introduits dans le modèle ne sont pas précisées, on indique simplement que « les marnes et le sel seront considérés comme des matériaux élastoplastiques répondant au critère de Coulomb ». La manière dont est représenté le foudroyage ainsi que les caractéristiques mécaniques des terrains foudroyés ne sont pas indiquées non plus. Le calcul

est fait par étapes en simulant, successivement, le creusement par tranches de la couche supérieure de potasse, puis le creusement de la couche inférieure et enfin le creusement des galeries de stockage. Les résultats de cette modélisation sont présentés en termes de champ de déplacement et de zones où apparaissent des déformations plastiques et des ruptures en traction. Les conclusions tirées de cette modélisation concernent d'une part l'influence du stot abandonné au niveau de l'exploitation de potasse et d'autre part les conséquences du foudroyage. En ce qui concerne le premier point, les auteurs du rapport évoquent une concentration de contrainte verticale sur les piliers situés à l'aplomb du stot qui entraînerait « un champ de déplacement vers le haut du mur du stockage en bordure de cette zone (soufflage) ». Cette remarque sur le champ de déplacement est déduite à tort de la figure jointe. Celle ci représente effectivement un champ de déplacement mais c'est le champ des déplacements totaux c'est à dire la somme des déplacements qui se sont produits à la suite de l'exploitation des deux couches de potasse et des déplacements consécutifs au creusement des galeries de stockage or il n'y a que cette dernière fraction du déplacement qui pourrait valablement être interprétée en termes de descente du toit et de remontée du mur des galeries de stockage. On peut constater que c'est la première fraction du déplacement qui est la plus importante, même au niveau du stockage, puisqu'à l'aplomb du stot le champ de déplacement montre que le toit et le mur des galeries de stockage se déplacent vers le bas. En fait cette représentation du champ de déplacement total traduit principalement les mouvements du terrain vers les zones foudroyées.

En ce qui concerne les conséquences du foudroyage le rapport indique une fissuration affectant les terrains sur une épaisseur de 60 m au dessus des couches de potasse dans la zone Sud-Est de l'exploitation et sur une épaisseur de 200 m au droit du stockage. La figure jointe ne permet malheureusement pas de justifier ces conclusions elle n'indique en effet que des « points plastiques » qui sont les endroits où le critère de Mohr Coulomb est atteint et aucun point correspondant à une rupture en traction.

En conclusion cette modélisation est trop peu renseignée pour qu'on puisse en apprécier la validité et l'interprétation des résultats n'est pas très convaincante.

4) Actualisation de l'étude de stabilité du stockage de déchets toxiques dans la mine Amélie – (Ecole des Mines de Paris 2006)

Cette étude a pour but l'actualisation de l'étude initiale de 1990 en tenant compte des observations et des mesures réalisées in situ.

Les auteurs rappellent d'abord les principes et les conclusions de l'étude initiale en indiquant en préambule que la caractérisation du comportement mécanique du sel est correcte et qu' « une nouvelle campagne de mesures n'est pas nécessaire »

Le rapport relate en détail les observations faites au fond, soulignant en particulier l'écaillage intensif du pilier central des voies doubles de desserte, l'écaillage des piliers carrés (il est fait

mention d'un écaillage sur une profondeur de 1,5 à 2 m pour les piliers du centre du stockage, ce qui est nettement plus important que les valeurs indiquées par MICA), la flexion des bancs du toit des galeries et le soufflage des murs notamment dans les zones où le toit de ces galeries est à 25 m au dessous du mur de la couche inférieure de potasse.

L'analyse des mesures de convergence horizontale et verticale est faite en termes de vitesses, elle montre que les vitesses des convergences horizontales et verticales sont du même ordre de grandeur et atteignent leur maximum au niveau des blocs 15 et 25. En règle générale les vitesses mesurées sont de l'ordre du double de celles prédites à l'aide des formules établies dans le rapport initial. Les auteurs expliquent cette différence par des phénomènes affectant localement les allées tels que la proximité des voies de desserte, la flexion amplifiée des bancs du toit, le soufflage des murs des allées et l'écaillage des piliers au voisinage des points de mesure de la convergence horizontale, en soulignant que tous ces phénomènes n'avaient pas été pris en compte dans l'étude initiale qui postulait la continuité du massif et la régularité du découpage des piliers. Les auteurs insistent également sur le fait que les convergences mesurées évoluent de façon linéaire en fonction du temps alors que le modèle du rapport initial prédisait une évolution à vitesse décroissante.

Le rapport aborde ensuite l'influence sur la stabilité des allées du stot abandonné au niveau des exploitations de potasse au dessus des blocs 15, 25 et 26 du stockage. La modélisation numérique réalisée montre clairement, à l'aplomb de ce stot, une majoration des contraintes verticales au niveau du stockage qui, jointe au feuilletage plus important du toit au niveau des blocs 15, 25 et 26, peut expliquer les fortes déformations observées dans ces zones.

L'influence de la voie double de desserte sur les convergences n'est pas clairement cernée par les modélisations numériques mises en œuvre, mais il semble qu'elle soit relativement modérée.

En conclusion de cette partie du rapport, les auteurs indiquent que « le modèle élaboré [dans l'étude initiale] ... en dépit de sa simplicité décrit convenablement le comportement des ouvrages dans les blocs de stockage qui ont un toit situé à -23 m sous la couche inférieure de potasse ». Cette conclusion n'est plus valable pour les blocs dont le toit est situé à -25 m sous la couche inférieure de potasse en raison du feuilletage accru du toit et du mur des allées de stockage ainsi que de l'augmentation locale des contraintes verticales associée à la présence du stot surplombant ces blocs.

Le rapport aborde enfin le problème de la stabilité à long terme du stockage en considérant d'une part les piliers et d'autre part les galeries. En ce qui concerne les piliers, leur écaillage étant superficiel et concentré dans les angles, les auteurs considèrent qu'à long terme ils évolueront vers une forme cylindrique se rapprochant ainsi du modèle étudié dans le rapport de 1990, ils en concluent que les résultats des calculs présentés dans ce rapport « sont donc valables et peuvent être utilisés ».

La stabilité des toits des galeries et des carrefours est abordée sous l'angle de l'autorembayage dû au foisonnement des terrains susceptibles de s'ébouler. Dans tous les cas les calculs réalisés montrent que, si des éboulements survenaient, la hauteur des cloches d'éboulement correspondantes ne devrait pas atteindre la couche de potasse située au minimum à 23 m au dessus du toit des allées. Il convient toutefois d'observer que ce résultat dépend beaucoup du coefficient de foisonnement des terrains qui est un paramètre assez mal connu. Dans le cas présent où le coefficient de foisonnement retenu est de 1,4, il suffit de réduire de 10% ce facteur pour accroître de 54% la hauteur des cloches

En conclusion, pour les auteurs du rapport, la stabilité à long terme des piliers est assurée ; en revanche la stabilité des toits des galeries et des toits des carrefours est très problématique mais leur éventuel éboulement ne devrait pas affecter les couches de potasses sus-jacentes. Dans le cas particulier du bloc 15, les auteurs soulignent les facteurs défavorables à la stabilité évoqués plus haut et indiquent, sans que l'on sache s'il s'agit d'une hypothèse de départ ou d'une préconisation de leur part, que de toutes façons les déchets de ce bloc ne seront pas déstockés.

5) L'ennoyage des mines de potasse – dossier commun : secteurs Est et Ouest (Bureau d'études CESAME 2008)

Ce document, essentiellement consacré – comme son titre l'indique – à l'ennoyage du bassin minier, comporte des indications utiles, déduites de l'expérience de l'exploitant, sur les répercussions de l'exploitation de la potasse par foudroyage et les mouvements de terrain correspondants : on y lit notamment que « l'exploitation d'une couche de minerai affecte et fracture les terrains sus-jacents, elle provoque des fissures dans le massif sur plusieurs dizaines de mètres au dessus de l'exploitation et quelques mètres en dessous. Au dessus de l'exploitation, au delà de la zone fissurée (de 40 à 60 m d'épaisseur), la déformation souple prend le relais et se répercute de proche en proche sur les terrains sus-jacents jusqu'à produire en surface les affaissements miniers ». Le rapport indique que « l'exploitation par foudroyage a produit des affaissements de surface de 90% de la hauteur exploitée sans altérer le caractère étanche de la couverture dont l'épaisseur (quelques centaines de mètres) dépasse largement l'emprise de la fissuration induite par l'exploitation (quelques dizaines de mètres) ». Ces observations confirment qu'il n'y a pas de risque d'intrusion d'eau dans le stockage autre que celle amenée par les puits et elles montrent que la zone qui isole le stockage des exploitations sus-jacentes peut être endommagée sur quelques mètres à sa partie supérieure.

Se penchant sur la compaction des vides foisonnés par le foudroyage, le rapport reprend d'une part des résultats obtenus par G.VIGIER (1981) montrant une évolution de la hauteur d'échantillons testés sous charge constante, en termes d'exponentielle décroissante du temps et d'autre part les résultats de l'étude initiale de l'ENSMP (VOUILLE 1990). Selon une méthode dont la justification théorique paraît assez discutable, G.VIGIER passe de la réduction de longueur d'un échantillon soumis à une charge égale à la pression lithostatique à 600 ou 700 mètres de profondeur, à la réduction de section d'une galerie située à cette même profondeur, en doublant le coefficient multiplicateur du temps dans l'exponentielle. Pour la réduction de section, ce coefficient (qui est en fait la vitesse de déformation initiale) s'établit à 3,2 % par an pour une profondeur de 600 m et à 13.2 % par an pour une profondeur de 750 m. La comparaison avec les résultats de l'ENSMP montre que la fermeture complète des galeries selon G.VIGIER est obtenue au bout de 40 ans pour la profondeur de 750 m alors qu'à cette même date, la réduction de section des galeries du stockage n'est que de 28% selon les formules proposées par l'ENSMP. Il est intéressant d'observer que si, au lieu de 750 m, on prend la formule de G.VIGIER pour la profondeur de 600 m – plus proche de la profondeur du stockage – on trouve la même réduction de section de 28 % au bout de 40 ans.

CESAME justifie l'approche de G.VIGIER par des observations de l'exploitant concernant les parties profondes de l'exploitations de potasse selon lesquelles « d'ancien champ d'exploitation [vieux] d'une trentaine d'années ont été recoupés par de nouveaux travaux sans détecter de vides (convergence [initiale]de l'ordre de 10 %/an) et certaines galeries proches des zones profondes et tectonisées se refermaient excessivement rapidement (créant

des problèmes d'entretien à l'échelle de quelques mois [avec une] convergence [initiale] de l'ordre de 100 % par an ». Finalement, le rapport, se fondant sur l'expérience de l'exploitant, propose, en reprenant l'approche de G.VIGIER, de retenir pour l'ensemble de la mine de potasse une valeur moyenne de réduction des vides de 0,8 %/an (comme précédemment ce chiffre doit être compris comme la vitesse initiale de réduction des vides résiduels pour la loi exponentielle). Le rapport explique que ce choix correspond à une évolution intermédiaire entre d'une part, la formulation de l'ENSMP pour la fermeture des galeries du stockage et d'autre part la formulation de VIGIER pour la fermeture d'une galerie située à la profondeur de 750 m.). La démarche adoptée pour aboutir à cette valeur n'est absolument pas convaincante dans la mesure où elle se fonde sur des analyses relatives à la fermeture des galeries alors que, pour l'ensemble de la mine, il s'agit du tassement d'un tas d'ébouillis résultant de la méthode d'exploitation par foudroyage, ce qui est fondamentalement différent de la convergence d'une galerie. En fait, la seule véritable justification que donne le rapport est que cette vitesse de fermeture est compatible avec l'expérience de l'exploitant. Selon la formulation proposée par le rapport, le vide minier résiduel subirait une réduction de l'ordre de 99% au bout de 500 ans.

6) Etude géomécanique du stockage de Stocamine (INERIS Décembre 2010)

Cette étude se situe dans la problématique de l'évaluation des risques liés aux scénarios actuellement envisagés pour la fermeture du stockage de Stocamine à savoir :

- Le stockage illimité des déchets industriels entreposés sur le site
- La mise en œuvre de la réversibilité avec un déstockage partiel ou total de ces déchets

Ainsi, l'étude de la stabilité mécanique du site de stockage et de ses ouvrages d'accès a pour but d'évaluer les possibilités d'accès au site - et donc d'un déstockage - à court ou moyen terme. L'étude des vitesses de fluage à l'échelle du stockage et à l'échelle de toute l'exploitation de potasse fournit des informations permettant, dans l'hypothèse d'un stockage illimité des déchets, de mieux évaluer la durée de l'ennoyage du site laquelle varie évidemment en raison inverse du volume de vides disponible. Cette étude de la cinétique du fluage permet également d'évaluer le risque de transport à long terme de polluants vers l'extérieur une fois le site noyé.

L'analyse des mesures de convergence des galeries de stockage réalisée par l'INERIS montre que ces convergences évoluent désormais linéairement en fonction du temps avec une vitesse moyenne de 0,53 % par an pour la convergence horizontale et 0,92 % par an pour la convergence verticale et que ces valeurs passent respectivement à 0,73 % par an et 1,52 % par an pour le bloc 15 .

L'inconvénient de la définition d'une valeur moyenne des vitesses sur tout le stockage est que l'on mélange les convergences mesurées en bordure du stockage où le voisinage du massif vierge a un effet de soutènement et les convergences mesurées au voisinage de l'allée centrale où l'on peut considérer que s'exerce la pleine charge sur les piliers : en ne retenant que ces dernières valeurs, les vitesses moyennes de convergence (hors bloc 15) qui nous semblent plus représentatives du comportement du stockage sont de 0,59 % par an pour la convergence horizontale et 1,17 % par an pour la convergence verticale.

Concernant le bloc 15 l'INERIS remarque à juste titre que la structure plus feuilletée du toit situé à 25 m sous les exploitations de potasse sus-jacentes ne peut expliquer l'accroissement des vitesses de convergence par rapport au reste du stockage puisque cet accroissement se

manifeste aussi bien dans la direction horizontale que dans la direction verticale. Les raisons de cet accroissement restent donc d'une part la présence du stot sus-jacent dans l'exploitation de potasse qui concentre à son aplomb les contraintes verticales et d'autre part l'incendie qui a affecté ce bloc, cette dernière cause ne pouvant être prouvée de manière indiscutable faute de mesures antérieures au sinistre.

En préambule aux modélisations numériques présentées dans la suite du rapport, l'INERIS rappelle les propriétés caractéristiques du sel gemme et les deux modèles rhéologiques censés représenter son comportement, à savoir le modèle de Lemaitre utilisé par l'ENSMP selon lequel la vitesse de fluage diminue au cours du temps et le modèle de Norton pour lequel cette phase de diminution de la vitesse de fluage n'est que transitoire et précède une évolution à vitesse constante. L'INERIS présente également un modèle d'endommagement qui rend compte de l'augmentation de volume associée à la microfissuration du sel lorsqu'un seuil de contraintes est dépassé : ce modèle a été utilisé par L'INERIS pour évaluer les conséquences de l'incendie du bloc 15 sur le massif environnant.

L'INERIS constate que les deux modèles rhéologiques, lorsqu'ils sont calés sur les résultats d'essais de laboratoire, conduisent, sur une durée de l'ordre du siècle, à des convergences relativement proches mais que ces convergences sont significativement plus faibles que les convergences obtenues en extrapolant celles effectivement mesurées sur le site depuis sa création. Finalement l'INERIS a choisi de recalculer les paramètres du modèle de Norton de manière à ce qu'il conduise à une vitesse de convergence constante intermédiaire entre les vitesses extrêmes mesurées sur le site. L'INERIS a vérifié la validité de ce calage par un calcul par éléments finis en déformations planes sur une coupe SW-NE du stockage : en ce qui concerne les convergences des galeries les résultats de ce calcul montrent une bonne concordance entre valeurs calculées et valeurs mesurées et, de l'évolution de ces convergences au cours du temps, on déduit que le contact entre le toit et les déchets interviendrait au terme d'un délai d'une trentaine d'années après la création du stockage (dans l'hypothèse d'une garde initiale de 0,80 m). Les auteurs précisent toutefois que ce calcul ne prend pas en compte les décollements des bancs du toit et du mur et que, de ce fait, les prévisions de ce modèle sont certainement optimistes quant à la fermeture différée du stockage.

L'INERIS présente aussi les résultats d'un autre calcul par éléments finis relatif à la fermeture des galeries d'accès au stockage : le modèle réalisé met en évidence pour les voies doubles situées à 550 m de profondeur une vitesse de convergence verticale de 0,9 % par an. A partir de ce résultat les auteurs évaluent à près d'un siècle le temps nécessaire à la fermeture complète de ces galeries. En tenant compte des lois d'évolution de la vitesse de déformation du sel en fonction de la contrainte et de la température, les auteurs extrapolent les résultats du calcul initial pour n'importe quelle profondeur et montrent en particulier que la fermeture complète des voies doubles situées à 1000 m de profondeur interviendrait en seulement quelques années ce qui est bien en accord avec les observations des mineurs.

En ce qui concerne la réduction au cours du temps de la porosité des terrains foudroyés à la suite de l'exploitation de la potasse, phénomène qui, comme on l'a dit plus haut, conditionne le temps au bout duquel l'eau qui s'infiltré dans le gisement atteindra le stockage, L'INERIS souligne à juste titre qu'il n'existe pas de modèle reconnu de la compaction à long terme du foudroyage des terrains salifères. Les auteurs du rapport ont donc choisi de s'appuyer sur les données d'affaissement des MDPA pour évaluer l'évolution au cours du temps de la porosité des terrains foudroyés. L'INERIS a évalué la vitesse d'affaissement résiduelle des terrains sur

les six courbes communiquées par Stocamine : Les auteurs indiquent que les courbes disponibles correspondent à une période d'environ dix ans après l'exploitation, que l'affaissement résiduel est quasi linéaire en fonction du temps et que sa vitesse est voisine de 1 cm par an quelle que soit la courbe considérée. Compte tenu des hauteurs de vide initiales selon qu'une ou deux couches de potasse ont été exploitées le chiffre précédent conduit à une vitesse relative (rapportée à l'ouverture initiale) de 0,1 à 0,2 % par an. En conclusion de cette analyse l'INERIS préconise de considérer pour les études d'envoyage une vitesse de compaction de 0,1 % par an dans la phase précédant l'envoyage.

Nous considérons que cette partie du rapport comporte une part non négligeable de subjectivité et que la vitesse de compaction annoncée doit être considérée avec réserve : en effet, en reprenant sans idée préconçue les mêmes courbes fournies dans le document MDPA « Bassin potassique alsacien – Affaissements et dégâts de surface – Direction de l'Environnement – Janvier 2007 » nous avons constaté que la partie résiduelle ne couvre qu'une période de 1,5 à 5 ans au lieu des dix ans annoncés, que les vitesses que nous avons mesurées sont différentes pour chaque courbe et s'étagent entre 1,2 et 3,3 cm par an avec une moyenne de 2,1 cm par an et en valeur relative de 0,5 % par an. Nous pensons qu'il faut retenir de cette comparaison qu'il y a une grande part d'incertitude dans l'évaluation de la vitesse de compaction et qu'il serait souhaitable d'affecter d'un intervalle d'incertitude la valeur proposée de 0,1 % par an.

L'INERIS signale à juste titre que cette vitesse de compaction sera considérablement réduite après l'envoyage et avance dans ce cas la valeur de 0,01 % par an.

Les calculs d'endommagement des ouvrages souterrains présentés dans ce rapport montrent que cet endommagement affecte principalement le toit et le mur des allées du stockage sur une hauteur d'environ 3 m, les piliers séparant ces allées n'étant affectés que superficiellement. Cette modélisation confirme en revanche que les piliers séparant les voies doubles de desserte du stockage sont fortement endommagés comme le montre bien l'examen visuel de ces voies. Ces mêmes calculs d'endommagement conduits sur le bloc 15 en supposant les parois des galeries de ce bloc maintenues à une température de 100°C ou de 300°C pendant une durée de 90 jours montrent que dans l'hypothèse majorante (300°C) la zone endommagée peut remonter localement jusqu'au foudroyage sus-jacent. Les auteurs du rapport estiment que cet endommagement fait croître de près de cinq ordres de grandeur la perméabilité du massif de sel qui reste encore modérée ($\sim 10^{-15} \text{ m}^2$). Selon ces calculs l'augmentation de perméabilité ne concernerait qu'une zone de 12 m au toit des allées de stockage et n'atteindrait donc pas le foudroyage sus-jacent.

Il faut cependant noter la réserve de l'INERIS selon laquelle « *Ce calcul ayant été effectué sans prendre en compte le décollement éventuel des bancs de toit, nous ignorons dans quelle mesure il est représentatif de la réalité, faute d'une vérification in situ* ».

CONCLUSION

Les modèles théoriques mis en œuvre dans les études de conception du stockage ont conduit à un dimensionnement qui a permis de garantir jusqu'à présent la stabilité générale du stockage même si localement des phénomènes de rupture sont apparus au toit et au mur des galeries, phénomènes que des soutènements appropriés permettent de maîtriser.

Les observations relatives à la fermeture des vides souterrains (mesures des convergences horizontales et verticales) montrent une évolution dans le temps différente des prévisions des modèles théoriques mis en œuvre au moment de la conception du stockage. Ces différences, qu'elles soient dues aux instabilités locales évoquées ci-dessus, à l'existence dans les exploitations sus-jacentes d'un stot qui accroît les contraintes verticales à l'aplomb des blocs 15, 25 et 26 ou à un défaut de calage de modèles établis uniquement à partir d'essais de laboratoire se traduisent actuellement par des vitesses de déformation de l'ordre du double de celles prévues sans qu'apparaisse clairement le ralentissement qui serait cohérent avec le modèle rhéologique utilisé dans les études initiales.

Ces considérations ont un impact évident sur l'éventuelle mise en œuvre du retrait des déchets : celle-ci suppose que la manutention des fûts et des big bags soit relativement aisée or, en considérant les vitesses de convergence observées à l'heure actuelle, la réduction de hauteur et de largeur des allées où sont stockés les déchets est de près de 5 cm par an pour le bloc 15 à proximité de l'allée centrale et de 3 cm par an pour les blocs 12 et 22 on voit donc que si la réversibilité du stockage est actuellement envisageable, sa mise en œuvre, compte tenu de l'espace encore disponible entre les déchets et les parois des allées, deviendra de plus en plus problématique dans les années à venir et sans doute impossible au delà d'une dizaine d'années.

Toutes les observations faites depuis le début de l'exploitation de la potasse par foudroyage montrent que le gisement est protégé des venues d'eau provenant des nappes de surface. Les dégradations du massif associées à l'exploitation n'affectent qu'une zone d'au plus 60 mètres de hauteur au dessus de l'exploitation et de quelques mètres au dessous, seule cette zone inférieure pourrait interagir avec le stockage dans le cas où le toit des galeries viendrait à s'effondrer. De toutes façon, au cas où des déchets auraient été abandonnés dans le stockage, la dissémination des polluants associée à l'engorgement survenant après l'effondrement des toits de galeries envisagé ci-dessus ne pourrait pas s'étendre au delà de la zone de 60 mètres évoquée plus haut. En d'autres termes il n'y a pas d'autre possibilité d'intrusion des polluants dans la nappe phréatique que celle qui est associée à une éventuelle remontée de saumure dans les puits Joseph et Else.

Les dégradations provoquées par l'incendie du bloc 15 sont difficiles à évaluer, l'hypothèse majorante envisagée par l'INERIS qui considère que ce bloc a été soumis à une température de 300° pendant trois mois conduit à mettre en évidence une zone endommagée de l'ordre d'une douzaine de mètres au dessus du toit des galeries où la perméabilité du massif aurait augmenté significativement. Faute de mesures de convergence préalablement à l'incendie on ne peut pas évaluer la répercussion de cet endommagement sur les vitesses de déformation des terrains dans cette zone, cependant les divers facteurs défavorables évoqués à propos de ce bloc (creusement relativement récent, toit feuilleté par suite du passage à 25 m sous la couche de potasse, existence du stot abandonné à l'aplomb de ce bloc) suffisent à expliquer l'importance des vitesses de convergence qui y sont observées.

On ne dispose pas d'éléments théoriques convaincants permettant de simuler la vitesse de fermeture des vides miniers qui subsistent après l'exploitation de la potasse par foudroyage. L'expérience de l'exploitant citée dans l'étude CESAME montre que 90% de la puissance de la couche se retrouve en subsidence des terrains de surface dans un délai de trois années et qu'il faut environ un siècle pour réduire les vides résiduels de 50%, en proposant une évolution en terme d'exponentielle décroissante plus ou moins calée sur cette expérience minière, CESAME indique que le vide minier résiduel serait de l'ordre de 1% au bout

d'environ 500 ans . Selon l'INERIS les vides résiduels se combent à la vitesse de 0,1 % par an (cette vitesse est exprimée en termes de pourcentage de l'ouverture initiale) il faudrait donc un siècle pour refermer les 10 % résiduels.

En ce qui concerne le stockage proprement dit, si l'on tient compte des mesures de convergence existantes pour caler le modèle initial, on est amené à doubler les vitesses de déformations et on trouve que la fermeture des vides est complète au bout d'environ 1400 ans, si l'on se contente d'extrapoler linéairement les mesures moyennes des blocs 12 et 22 on trouve une fermeture complète (toit et mur des galeries viennent au contact) en un siècle environ, enfin, si l'on considère les vitesses de convergence actuelles comme les vitesses initiales d'une évolution en exponentielle décroissante on obtient une fermeture pratiquement complète (la hauteur des galeries n'est plus que 1% de la hauteur initiale) en 150 ans. Compte tenu des hypothèses qui sous tendent le calcul théorique on pourrait éventuellement interpréter le délai de 1400 ans comme le temps nécessaire pour rétablir la continuité du massif salifère en réalisant l'encapsulation des déchets éventuellement abandonnés dans le stockage. En tout état de cause, compte tenu du délai pour que l'ennoyage du secteur ouest soit réalisé (de l'ordre de 150 ans d'après CESAME et entre 100 et 600 ans d'après INERIS) les conditions de sollicitations du stockage seront radicalement modifiée avant que cette fermeture complète ne soit réalisée et le calcul initial ne sera plus représentatif de la réalité.

Gérard Vouille

14 juin 2011

Annexe 11 : Résumé des entretiens avec les syndicats et les délégués mineurs

Entretien du 23 mai avec les représentants des organisations syndicales et les délégués mineurs

Lors de la réunion de la CLIS le 4 avril 2011 à Wittelsheim, les syndicats de mineurs ont demandé à rencontrer le COPIL. Les délégués mineurs ont fait la même demande. La rencontre a eu lieu lors de la réunion du COPIL du 23 mai 2011 à Strasbourg. Les syndicats CGT, CFDT et CFTC ont présenté une position commune, favorable au déstockage. Le syndicat CGC a présenté une position plus nuancée, favorable à un retrait partiel. Les délégués mineurs ont exposé que, selon leur expérience, le travail de déstockage serait très difficile.

Le Compte Rendu ci-dessous a été soumis aux intervenants mais est rédigé par le COPIL.

Intervention des représentants des syndicats CGT, CFDT et CFTC

Les syndicats CGT, CFDT et CFTC étaient représentés par MM. Jean Marie Dubel, Henri Leininger, Jean-Pierre Hecht, Olivier Delacourt, Joseph Giovinazzo ; M. Michel Eidenschenk ne pouvait pas être présent mais s'associait à la délégation.

Ces trois syndicats ont présenté une position commune. Ils ont fait valoir qu'ils avaient donné en 1996 un avis favorable au projet Stocamine au vu notamment de l'avis d'expert de l'Ineris. Puis, entre 1996 et 2011, ils ont fait un ensemble de constatations : le sondage historique W1, à leur sens, traverse le bloc 16 ; les 22 puits de mine rebouchés ne sont pas étanches ; Stocamine n'a pas respecté le cahier des charges relatif aux déchets, ce qui a été à l'origine de l'incendie de 2002 ; les sacs d'amiante n'ont pas été contrôlés à la descente, ce qui nécessite d'en vérifier le contenu ; l'opérateur a creusé des galeries de stockage à moins 25 m sous la couche de potasse, ce qui a entraîné l'effondrement de certaines galeries ; le risque sismique a été minimisé, comme en témoignent, selon l'analyse qu'en font ces syndicats, les effets de la secousse du 15 juillet 1980. Ils estiment donc que Stocamine, MDPa et l'Ineris « se sont discrédités ».

Ils jugent donc que les calculs de concentration présentés par l'Ineris seront théoriques et peu crédibles, compte tenu du précédent de 1996 ; pour la même raison ils ne font pas confiance à Stocamine qui proposera le stockage illimité. Ils jugent que la saumure polluée par le mercure, le cyanure et l'arsenic remontera inévitablement dans la nappe phréatique.

En conclusion les trois syndicats jugent que le retrait est possible, en suivant un mode opératoire progressif, et souhaitent que le COPIL rende un avis qui aille dans ce sens.

Intervention du représentant du syndicat CGC

Le syndicat CFE-CGC était représenté par M. Alain Journet qui remercie le COPIL de lui donner l'occasion d'exprimer le point de vue de la CFE-CGC (Etam- Ingénieurs). Il indique que des représentants de leur syndicat ont effectué une visite de Stocamine le 22 mars 2011. Ils ont observé que la convergence est assez uniforme sur la longueur d'une allée. Ils ont constaté les difficultés à opérer en sécurité et sont soucieux du problème posé par le bilan environnemental global. Le syndicat CFE-CGC (Etam-Ingénieurs) a été informé sur le fait que l'INERIS et l'exploitant ont présenté leurs

études aux diverses réunions du COPIL depuis Novembre 2010. Il attend les conclusions du COPIL pour se positionner sur une solution qui pourrait être mise en œuvre.

Suite à la visite du site du 22 Mars dernier, la CFE-CGC signifie clairement son opposition au déstockage du bloc 15.

Parmi les solutions envisageables, le syndicat n'exclut pas la possibilité du déstockage partiel.

Entretien avec les délégués mineurs

Le COPIL a également rencontré à leur demande le délégué mineur des MDPA, M. Francis Hamerla et son suppléant, M. Thierry Lapp. (Les délégués à la sécurité des ouvriers mineurs sont élus par ces derniers ; ils visitent les travaux souterrains des mines ou carrières dans le but d'en examiner, d'une part, les conditions de sécurité et d'hygiène pour le personnel et, d'autre part, en cas d'accident, les conditions dans lesquelles cet accident se serait produit)

Monsieur Hamerla fait part de son expérience de délégué mineur, et de sa satisfaction de n'avoir eu aucun accident grave à déplorer pendant son mandat. Il rapporte notamment son expérience de l'incendie de 2002, pendant lequel il est descendu dans le bloc 15 parmi les premiers, comme sauveteur, puis après l'incendie pour réaliser (pour le bureau d'études ISS) des prélèvements. Il décrit la difficulté du travail, strictement limité à 35 minutes, compte tenu des protections individuelles encombrantes, de la vision limitée, de la transpiration abondante sous la protection individuelle complète, de la progression rendue très lente et de l'effondrement d'une partie du toit dans le bloc 15.

Il estime que le retrait du bloc 15 doit être considéré comme très dangereux. Le risque majeur est lié aux risques d'effondrements supplémentaires. Les conditions chimiques obligent de plus à porter des protections individuelles très encombrantes. Il ne croit pas à l'utilisation des machines actuelles qui servent à creuser, traiter les voies et non à déstocker. Il insiste sur la compétence particulière que requiert le travail en mine, et plus particulièrement en mine de sel où une expérience distincte de celle acquise dans d'autres mines est nécessaire. A son sens, peu de personnels inscrits aujourd'hui dans l'effectif de Stocamine sont aptes à effectuer ce travail.

Pour les autres blocs, la présence de nombreuses fissures et décollements de bancs compliquera le travail. Les mineurs ont l'expérience d'aller rechercher du matériel minier dans des conditions difficiles, mais ici il s'agit de retirer des colis mous, facilement éventrables. Les parements et le toit sont déjà au contact, voir en pression sur de nombreux fûts et bigs-bags, ce qui créera irrémédiablement de la casse supplémentaire. A son sens les conditions sont beaucoup plus difficiles qu'en 2001, quand on a retiré des colis du bloc 11.

Il souligne que pendant 100 ans d'exploitation et jusqu'à la fermeture des autres mines du bassin, hors Stocamine, des substances potentiellement polluantes sont abandonnées au fond lors de l'arrêt des chantiers. Il reste par exemple au fond des machines complètes dont les réservoirs d'huile et de fuel n'ont pas été vidangés, des quartiers de havage intégral complets, des unités de traçage complètes, des kilomètres de bandes avec réducteurs, des locos etc.

Monsieur Lapp et Monsieur Hamerla insistent sur le problème du transfert de compétence minière, spécifique au travail en mine de potasse et sel. Dans le cas où l'on ferait appel à des mineurs étrangers, ils pointent les difficultés, du point de vue de la sécurité, liées à la barrière de la langue, difficultés dont on a déjà l'expérience avec les mineurs polonais de Kopex.

Ils estiment qu'un retrait complet fait en deux ans seulement « c'est un rêve ».

A la suite de la réunion, Monsieur Hamerla a fait part de son expérience des tremblements de terre du 5 septembre 1984, pendant lequel il était au fond, et indique « qu'il n'y a eu aucun ressenti au fond » et de celui du 22 février 2003 qui n'a pas impacté les puits et galeries ».

Annexe 12 : Problème du puits W1

Lors de leur entretien avec le COPIL du 23 mai 2011, les représentants syndicaux CFTC, CGT et CFDT ont fait valoir que : « *Le lieu de stockage souterrain choisi n'est pas le meilleur, car le sondage historique W1 traverse le bloc 16, contrairement aux affirmations de 1996, qui le situait en dehors du stockage. Les mineurs d'Amélie ont encore en mémoire l'incident du quartier 20, qui en rencontrant le sondage Cernay II a failli noyer toute la mine.* ».

La position et la qualité du rebouchage du forage W1, comme celles des autres forages ayant traversé la mine, sont importantes du point de vue de la vitesse d'ennoyage de la mine. En principe, l'ennoyage de la partie ouest se fera par les 15 puits, tous rebouchés, à l'exception de Joseph et Else qui seront rebouchés à leur tour quand on fermera la mine. Les puits rebouchés sont peu perméables et, dans le scénario normal, l'ennoyage sera donc lent (plusieurs siècles). Si un forage débouchant dans le stockage ou dans la mine devenait susceptible de faire circuler un débit important d'eau, l'ennoyage pourrait être beaucoup plus rapide. C'est un accident dont on a plusieurs exemples dans d'autres mines. Ce point a été abordé par l'Ineris et dans le chapitre « Option du stockage illimité » du présent rapport, paragraphe « Mécanismes d'ennoyage des mines de sel » le COPIL indique :

« Dans le cas de Stocamine, l'Ineris a examiné, en s'appuyant notamment sur les archives des MDPA, les risques de transfert de saumure au sein du « bloc-hôte », c'est-à-dire la série salifère du Sannoisien comprise entre environ 250 à 300 m de profondeur (toit du sel) et 1500 m de profondeur (toit des terrains du Secondaire). Il conclut :

- ...
- *qu'environ 200 sondages ont atteint depuis l'origine le bloc hôte. Quand on les a recoupés au fond à la faveur des travaux miniers, ils ont rarement été producteurs d'eau et dans ce dernier cas ont pu être traités ; toutefois la qualité du rebouchage des plus anciens est sans doute médiocre. Le risque de venue d'eau hors de sondages colmatés ne peut jamais être complètement exclu ; un siècle d'observation paraît établir qu'il est très peu probable. »*

Sur les plans anciens, il apparaissait clairement que le puits W1 devait se trouver à 75 m au sud du point le plus au sud du bloc 16, et qu'il avait été protégé lors de l'exploitation de la couche de potasse située 25 m environ au dessus du stockage par un stot. Néanmoins, s'agissant d'un élément important pour la durée de l'ennoyage, le COPIL a demandé aux syndicats concernés et à Stocamine de lui fournir des précisions. Il a reçu les réponses suivantes :

Extrait d'un message électronique de Stocamine du 15 juin 2011 (A.Rollet à P.Bérest)

« Ce sondage a été foré en 1904 sous période impériale allemande tout comme les puits Joseph et Else qui ont été foncés d'avril 1911 à octobre 1912 et de juin 1911 à novembre 1912.

Toutes les positions des anciens sondages de reconnaissance, initialement exprimées en coordonnées « Alsace-Lorraine » ont été traduites en coordonnées actuelles et vérifiées ultérieurement lors de l'élaboration du dossier d'arrêt de travaux des MDPA.

Ce fut aussi le cas du sondage W1 qui ne souffrait d'aucune anomalie.

Nous avons par ailleurs demandé au technicien du DPSM/BRGM qui avait mené cette vérification avec l'ingénieur des MDPA de faire ressortir par le SGR d'Alsace l'historique de ce sondage afin de procéder à une nouvelle vérification, si possible en même temps que les deux puits datant de la même époque.

*Nous avons de plus joint l'agent de maîtrise des MDPA responsable des creusements du stockage ainsi que son ingénieur et **ils nous ont indiqué que le sondage W1 n'avait nullement été recoupé** mais que des mesures de sécurité supplémentaires avaient néanmoins été prévues lors du creusement du retour d'air RAT1 au cas où ce sondage aurait beaucoup dévié et aurait été recoupé. Je vous joins une copie des consignes correspondantes.*

*Enfin, le **non recouplement du sondage W1** est également confirmé par d'autres anciens membres du personnels des MDPA directement concernés par le découpage du secteur, à savoir : le Chef Géomètre et son adjoint, 3 mineurs dont le Délégué Mineur actuel. »*

Extrait d'un message électronique du 15 juin 2011 (J.M. Dubel à P.Bérest)

« Stocamine a eu connaissance de cette difficulté.

L'on peut voir sur le plan de stockage de Stocamine en bas du bloc 16, que deux recoupes et demie n'ont pas été creusées. C'est l'endroit où l'opérateur craignait de rencontrer ce sondage. Un malaxeur à béton et différents matériels ont été stockés prêts à intervenir en cas d'incident du type quartier 20, dans la voie RAS1.

La nouvelle étude d'envoyage 2011 de l'INERIS repose sur le fondement des plans français, indiquant le sondage W1 en dehors de l'aire de stockage en mine.

Il en résulte que ces études sont forcément erronées et que le risque d'envoyage de cet aire de stockage en mine est plus accru que prévu dans un bureau ou un laboratoire.

Il se rajoute deux facteurs aggravants, à savoir la convergence des galeries deux fois plus rapide que celle prévue par l'INERIS et la non prise en compte des risques sismiques.

Le site de Stocamine est donc dans une situation d'envoyage proche de la mine d'Asse 2, c'est à dire quelques dizaines d'années et non dans des temps géologiques, selon les hypothèses tout à fait théoriques et fautées de l'Ineris !!! »

Conclusions du COPIL

Il est certain que, s'agissant d'un forage et de plans datant de 1904, il existe une certaine incertitude sur la position exacte du puits W1, les moyens de mesurer les déviations de forage il y a un siècle étant très inférieurs à ceux dont on dispose aujourd'hui. L'exploitant a pris des précautions particulières pendant le creusement du bloc 16, à juste titre, compte tenu des conséquences très sérieuses que peut entraîner dans une mine de sel la rencontre d'un forage ancien. Mais ces précautions justifiées ne peuvent constituer par elles – mêmes une preuve que la position de ce forage soit très différente de celle donnée par les plans. Le cas particulier du forage W1 ne paraît donc pas susceptible de remettre

en cause la position générale prise par le COPIL au point 3.1 de ses *Conclusions et recommandations*, qui envisagent le cas d'une accélération de l'ennoyage :

« ... l'ennoyage de la mine se fait et se poursuivra avec un débit vraisemblablement lent. Il est probable qu'il se fera principalement par les puits et prendra plusieurs siècles. Une accélération de l'ennoyage par les puits ou, moins vraisemblablement, par d'autres accès, ne peut toutefois être exclue ; elle est plutôt moins probable dans le quartier ouest des MDPA que dans beaucoup d'autres mines de sel et de potasse car le stockage est surmonté d'une épaisse couche de sel et d'argiles peu perméables. »

Par ailleurs le COPIL, au point 5.2 de ses conclusions, attire l'attention sur l'intérêt d'une surveillance qui permettrait le cas échéant d'être alerté sur un accroissement du débit d'ennoyage :

« La remontée de la saumure dans la mine peut être surveillée en mesurant le niveau de l'interface air/saumure dans des sondages. Le COPIL estime que, pour une surveillance efficace, il faudrait plusieurs forages, dont l'un qui atteigne les niveaux de la mine déjà ennoyés et apporte de l'information immédiatement utilisable. Cette solution a plusieurs avantages. Elle permet de mieux connaître la vitesse d'ennoyage et de vérifier les modèles de calcul. Elle permet de détecter une anomalie telle qu'une accélération de l'évolution, peu probable mais non exclue. Un autre mérite d'un tel programme de surveillance est qu'on le mettra probablement en œuvre de toute façon, sous une forme éventuellement allégée, même en cas de retrait des colis. »

Annexe 13 : Documentation fournie au COPIL en début d'expertise

- 1) Le stockage en mine de déchets industriels, StocaMine, février 1996.
- 2) Etude de sûreté d'un projet de stockage de déchets toxiques dans la mine Amélie. Aspects mécaniques du problème, G. VOUILLE, Ecole des Mines de Paris, document non daté (antérieur à février 1997).
- 3) Estimation des mouvements sismiques à la cote 500m, Institut de physique du globe de Strasbourg, document non daté (antérieur à février 1997).
- 4) 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).
- 5) Stockage profond : évaluation des flux de déchets admissibles, Agence Nationale pour la Récupération et à l'Élimination des Déchets (ANRED, juillet 1990).
- 6) Stockage profond de déchets industriels : études des dangers, Projet Etudes Conseils Services Industrie Environnement (PECSIE), 27 mars 1991.
- 7) Mines de Potasse d'Alsace : tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph, Electricité de France, 11 mars 1991.
- 8) Etude de sécurité chimique, J. MULLER, G. KILLE, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse, 30 novembre 1990.
- 9) Etude de sécurité chimique sur le projet MDPA de stockage profond des déchets industriels dans la mine Joseph-Else à Wittelsheim, comportement à long terme, G. KILLE, S. WALTER, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse, document non daté.
- 10) Stockage en mine de déchets toxiques : déchets à exclure, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), 14 septembre 1993.
- 11) Stockage en mine de déchets toxiques : déchets à exclure, INERIS, 21 septembre 1993.
- 12) Etude de sécurité chimique, procédure d'acceptation et de suivi des déchets, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse, 21 janvier 1991.
- 13) Avis d'expert relatif à la demande de création d'un stockage souterrain de déchets industriels ultimes, INERIS, octobre 1996.
- 14) Réalisation d'un état initial du site de stockage de déchets industriels de StocaMine, INSA division Polden, décembre 1998.
- 15a) Etude de comportement hydraulique de l'obturation d'un puits par un bouchon de cendres volantes, étude bibliographique, INERIS, 21 décembre 2001.
- 15b) Etude de comportement hydraulique de l'obturation d'un puits par un bouchon de cendres volantes, synthèse (projet), INERIS, 15 octobre 2002.
- 16a) Evaluation des risques sanitaires : site de Wittelsheim, bilan des émissions au jour et en fond de mine, ERM France, 20 février 2003.
- 16b) Evaluation des risques sanitaires : site de Wittelsheim, ERM France, 30 mars 2003.
- 17) StocaMine : rapport final d'expertise, Experts nommés par la Commission Locale d'Information et de Surveillance (CLIS), 24 juillet 2003.
- 18) Audit triennal de StocaMine, 1999-2002, INERIS, septembre 2003.

- 19) Suivi des lots, StocaMine, février 1999 à septembre 2002.
- 20) Analyses environnementales courantes, extraits, StocaMine.
- 21) Suivi minier, température et analyses des gaz, StocaMine et MDPA.
- 22) Arrêtés préfectoraux du 03/02/1997, 10/07/2001, 12/09/2002, 17/12/2002, préfecture du Haut-Rhin.
- 23) Rapport d'activité, StocaMine, décembre 1999 à décembre 2002.
- 24) Manuel Qualité/Environnement, StocaMine, 02 juillet 2002.
- 25) Plan des travaux du fond et aérage, MDPA.
- 26) Affaissement et dégâts de surface dans le bassin potassique alsacien, MDPA, 07 juillet 1999 et juillet 2007.
- 27) Caractérisation des cendres volantes, MDPA, 30 mars 2004.
- 28) Etude géologique, hydrogéologique et géotechnique du centre de stockage de StocaMine, Wittelsheim (Haut-Rhin), MICA Environnement, avril 2004.
- 29) Détermination des dangers, Institut Suisse pour la Promotion de la Sécurité, juillet 2004.
- 30) 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.
- 31) Etude d'impact, rapport de synthèse, Institut Suisse pour la Promotion de la Sécurité, juillet 2004.
- 32) Etude de sécurité au travail et de protection de la santé dans le cadre de la mise en oeuvre de la réversibilité, Institut Suisse pour la Promotion de la Sécurité, juin 2006.
- 33) Rapport de synthèse Etude approfondie de la variante de la mise en oeuvre de la réversibilité, Institut Suisse pour la Promotion de la Sécurité, juin 2006.
- 34) Stockage souterrain de Wittelsheim : évaluation technique de la variante de la mise en oeuvre de la réversibilité, BMG Engineering AG, juin 2006.
- 35) Actualisation de l'étude de stabilité du stockage de déchets toxiques dans la mine Amélie, F. HADJ-HASSEN, M. TIJANI, Ecole des Mines de Paris, février 2006.
- 36) Etude technique détaillée du confinement complémentaire du bloc 15, StocaMine, SOLETANCHE-BACHY, juillet 2006.
- 37) Synthèse sur l'ennoyage de la mine de potasse Secteur Ouest, CESAME, septembre 2006.
- 38) Plan d'Urgence Interne, StocaMine.
- 39) L'ennoyage des Mines de Potasse. Dossier commun : secteurs Est et Ouest, CESAME, avril 2008.
- 40) Rapport final ERCOSPLAN, 02 septembre 2008.
- 41) Rapport GEOSTOCK
- 44) Modes opératoires du laboratoire de StocaMine, juin, août, et octobre 2000.
- 45) Dossier santé, sécurité (DSS) des MDPA, juin 2008.
- 46) Bibliographie

