
Rapport

Etude d'impact, rapport de synthèse

Mandant

Stocamine SA

Sujet

Etude concernant le traitement du stockage actuel de Stocamine

Numéro de mandat

303517

Auteurs

G.Suter, V.Wehrli, D.Gandini, C.Arnold, C.Munz, A.Vincent, N.Boinet, M.Viard


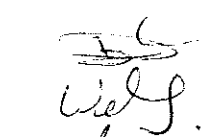

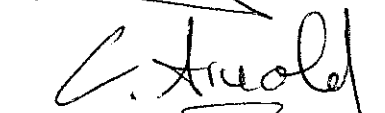
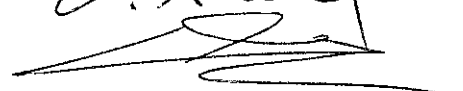
Lieu et date

Bâle, 23 juillet 2004

Document

Rapport de synthèse_final.pdf

Signatures

Nom	Société	Signature
Georg SUTER	Institut suisse pour la promotion de la sécurité	
Didier Gondin	"	
Valérie WEHLI	"	
Christoph Munz	BTG Engineering AG	
Cédric Arnold	BTG Engineering AG	
Michèle VIARD	MICA Environnement	

Contenu

1.	Introduction.....	6
1.1	Situation actuelle.....	6
1.2	Aperçu du cadre réglementaire.....	7
1.3	Investigations précédentes et données disponibles.....	7
1.4	Objectifs poursuivis.....	8
2.	Critères d'évaluation.....	9
3.	Etude géologique, géotechnique et hydrogéologique du site de StocaMine.....	10
3.1	Situation et description des exploitations minières et du stockage.....	10
3.2	Etude Géologique.....	11
3.2.1	Contexte géologique régional.....	11
3.2.2	Les formations du substratum et du secondaire.....	11
3.2.3	Les formations tertiaires.....	12
3.2.4	Présentation de la carte géologique.....	14
3.2.5	Présentation du bassin potassique.....	16
3.3	Etude géotechnique, comportement mécanique du stockage et de la mine de potasse.....	18
3.3.1	Reconnaissance de terrain.....	18
3.3.2	Loi de comportement du sel gemme et caractéristiques géomécaniques.....	18
3.3.3	Comportement à long terme du stockage dans le cas où celui-ci reste sec.....	19
3.4	Etude hydrogéologique.....	20
3.4.1	Généralités : Réseau hydrographique régional.....	20
3.4.2	Contexte hydrogéologique régional.....	20
3.4.3	Historique des venues d'eau dans la mine.....	21
3.4.4	Vecteurs d'entrées d'eau dans la Mine.....	21
3.4.5	Ennoyage de la mine.....	22
3.4.6	Equilibre final du système.....	24
3.4.7	Scénarios accidentels.....	26
3.5	Préconisations pour la fermeture des puits et le confinement du stockage.....	28
3.5.1	Cas du maintien des produits au fond.....	28
3.5.2	Cas du déstockage des produits hors bloc 15.....	30
3.6	Conclusions.....	31
3.6.1	Contexte général.....	31
3.6.2	Evaluation des flux dans la mine : fonctionnement du système.....	32
3.6.3	Discussion.....	33
3.6.4	Validité du modèle.....	35
3.7	Résumé des hypothèses prises en compte.....	35
4.	Description du déroulement technique des variantes évaluées.....	38
4.1	Variante d'exercice de la réversibilité.....	38
4.1.1	Possibilités de valorisation des déchets.....	39



INSTITUT DE SÉCURITÉ

4.1.2	Conditions-cadres pour l'exercice de la réversibilité.....	40
4.1.3	Description des différentes phases de l'exercice de la réversibilité.....	42
4.2	Variante de confinement définitif des déchets.....	47
4.2.1	Conditions-cadres et contraintes pour le confinement définitif des déchets.....	47
4.2.2	Description des phases d'un confinement définitif du stockage.....	47
4.3	Cas particulier du bloc 15.....	50
5.	Evaluation des risques suite au confinement définitif de déchets dans la mine.....	51
5.1	Evaluation des impacts chimiques actuels sur l'environnement.....	51
5.2	Identification des polluants stockés représentant une source potentielle de danger pour l'homme et l'environnement.....	52
5.3	Evaluation toxicologique des polluants et objectifs de protection.....	52
5.4	Modélisation du transport de polluants en direction des biens à protéger.....	53
5.4.1	Evaluation du transport à travers la zone salifère.....	55
5.4.2	Evaluation d'un transport de gaz.....	55
5.4.3	Evaluation d'un lessivage de polluants.....	55
5.5	Quantification de l'exposition des biens à protéger.....	56
5.6	Evaluation d'options de fermeture.....	56
5.6.1	Option pour la fermeture des puits Amélie 1 et 2, variante de confinement définitif.....	56
5.6.2	Serremments de sel pour le confinement de l'ensemble des déchets et galerie de contournement du stockage.....	56
5.6.3	Exercice de la réversibilité et confinement définitif des déchets du bloc 15.....	57
5.7	Scénarios accidentels.....	57
5.8	Caractérisation des risques suite au maintien de déchets, conclusions.....	58
5.8.1	Evolution normale du stockage.....	58
5.8.2	Scénarios accidentels.....	59
6.	Evaluation des aspects de santé et sécurité dans les deux variantes.....	60
6.1	Risques présents dans les deux variantes.....	60
6.2	Risques spécifiques à l'exercice de la réversibilité.....	62
6.3	Risques spécifiques au confinement définitif des déchets.....	64
7.	Comparaison des variantes.....	65
7.1	Sécurité et santé.....	65
7.2	Faisabilité technique et délais.....	65
7.3	Utilisation des ressources et impacts.....	66
7.4	Coûts.....	66
7.5	Vue d'ensemble.....	67
8.	Recommandations pour la diminution des risques et conclusions.....	68
8.1	Mesures préconisées pour la diminution des risques.....	68
8.2	Conclusions.....	69

Annexes :

- Annexe 1 : Figures correspondant à l'étude géologique, hydrogéologique et géotechnique du stockage souterrain
- Annexe 2: Aspiration à la source

1. Introduction

La société Stocamine a exploité entre février 1999 et septembre 2002 un stockage de déchets chimiques ultimes. Suite à un incendie à l'intérieur du stockage, Stocamine a décidé de stopper l'exploitation. Deux solutions sont envisagées pour les déchets : **(i) exercice de la réversibilité** (c.-à-d. reprise et nouveau stockage des déchets dans d'autres centres de stockage de déchets) ou **(ii) confinement définitif des déchets dans le stockage**. Les deux variantes sont évaluées ci-dessous.

1.1 Situation actuelle

Le stockage de déchets ultimes Stocamine est situé dans une exploitation de sel gemme par chambres et piliers, à plus de 500 m de profondeur. Une couche de potasse exploitée par MDPA (Mines de Potasse d'Alsace) est située de 20 à 40 m au-dessus du stockage. Actuellement, environ 44 000 tonnes de déchets sont stockées.

Le tableau suivant donne un aperçu des catégories et quantités de déchets stockés. Il s'agit pour la plupart d'entre eux de produits dangereux (toxiques).

Catégorie	Quantité totale livrée	
	tonnage	%
A1 -Sels de trempe	2 155	5%
A2 -Sels de trempe non cyanurés	1 215	3%
B3 -Déchets arséniés	6 969	16%
C4 -Déchets chromiques	428	1%
B5 -Déchets mercuriels	2 276	5%
B6 -Terres polluées	5 251	12%
D7 -Résidus de l'industrie	138	0%
C8 -Déchets de galvanisation	642	1%
E9 -Résidus d'incinération	20 713	47%
B10-Produits phytosanitaires	128	0%
D11-Catalyseurs usés	0	0%
D12-Déchets de laboratoire	76	0%
E13-Déchets amiantés	3 797	9%
TOTAL	43 786	100%

Suite à un incendie au fond de la mine dans le bloc 15 décelé le 10 septembre 2002, la CLIS (Commission Locale d'Information et Surveillance) de Stocamine a demandé une expertise pour déterminer les causes et conséquences de ce sinistre. Parmi les conclusions de cette analyse, il est important de signaler que:

- Une cause probable de l'incendie a été l'auto ignition de déchets provenant de l'incendie antérieur d'un entrepôt de produits phytosanitaires.



INSTITUT DE SÉCURITÉ

- L'impact sanitaire de l'incendie au niveau de l'environnement en surface ainsi qu'au fond de la mine dans la zone d'entrée d'air est inexistant.
- Les murs et parements de la zone de retour d'air du stockage sont contaminés par des produits de combustion, en particulier par des dioxines à des concentrations supérieures aux seuils tolérables pour le contact avec la peau et l'ingestion de poussières dans le cas de travail prolongé de personnes sans mesures de protection adéquates.
- L'accès au bloc 15 est exclu à cause du risque minier et de la contamination par les résidus et produits de combustion. **Les déchets du bloc 15 ne pourront pas être déstockés et devront dans tous les cas être confinés.**

Dans un communiqué de presse du 8 septembre 2003, Stocamine annonce sa décision de ne pas reprendre l'activité de mise en stock des déchets, suspendue suite à l'incendie du 10 septembre 2002 par les arrêtés préfectoraux du 12 septembre et du 17 décembre 2002. La surveillance permanente du stockage se poursuit, tant sur le plan du risque incendie que du risque minier.

1.2 Aperçu du cadre réglementaire

L'autorisation d'exploitation a été accordée pour une période de 30 ans. Le cadre réglementaire en vigueur prévoyait que la décision de déstocker ou de maintenir définitivement les déchets ne soit prise qu'à l'issue de cette période. Suite à l'adoption d'un nouvel article de loi, cette décision peut être anticipée.

1.3 Investigations précédentes et données disponibles

La liste suivante donne un aperçu des documents et investigations réalisées lors de la demande d'autorisation d'exploitation, pendant le fonctionnement du stockage et à la suite de l'incendie du 10 septembre 2002 qui doivent être pris en compte dans l'étude.

- Ensemble des études effectuées par l'INERIS, par l'ENS des Mines de Paris (Laboratoire de mécanique des roches), par l'ENS de Chimie de Mulhouse et PECSIE au moment de l'établissement de la demande d'autorisation
- Rapport INERIS sur le comportement hydraulique de l'obturation d'un puits par un bouchon de cendres volantes (octobre 2000)
- Analyses effectuées suite à l'incendie, en particulier l'étude ERM (30 mars 2003)
- Rapport établi par les experts désignés par la CLIS (rapport final du 24 juillet 2003), suite à l'incendie du 10 septembre 2002
- Audit triennal effectué par l'INERIS (septembre 2003) et présenté à la CLIS du 8 octobre 2003, concernant le caractère ultime des déchets entreposés
- Travaux effectués par les MDPA sur la fermeture des puits et le projet de stockage de l'ANDRA

Les conclusions principales des études réalisées avant le début de l'exploitation du stockage étaient que les conditions du site sont extrêmement favorables du point de vue de la lithologie et de la tectonique et que l'élément essentiel de la sûreté après une éventuelle fermeture est la qualité du rebouchage des puits.

Le risque incendie au fond s'est avéré être plus important que prévu. Les raisons principales sont les suivantes :

- Dans l'étude de dangers et l'analyse critique de l'étude de dangers, l'hypothèse d'un phénomène d'auto ignition n'a pas été considérée.
- La modélisation d'un possible incendie a été faite en considérant que tous les déchets étaient conditionnés en fûts. Ceci ne correspond pas à la situation actuelle du stockage : la plupart des déchets sont stockés en « big-bags » et non en fûts.

D'un autre côté le scénario accidentel le plus significatif pour la santé du personnel au fond lié à l'activité de stockage a été identifié comme étant la chute d'un colis et rupture de l'emballage ayant comme conséquence l'épandage de produits toxiques. Dans ce cas des mesures de protection individuelle étaient prescrites.

1.4 Objectifs poursuivis

L'objectif principal de cette étude est de fournir des éléments de décision pour une solution qui garantisse sur le court terme comme sur le long terme (50, 100 et 1 000 ans) :

- **La santé et sécurité des populations riveraines**
- **La santé et la sécurité des personnels intervenants**
- **La qualité de l'environnement du site**

Dans ce contexte, deux solutions sont à examiner :

- Exercice de la réversibilité avec reprise, reconditionnement, stockage des produits dans d'autres centres de stockage de déchets et remblayage des puits.
- Confinement définitif des blocs et remblayage des puits.

Dans le cadre des solutions citées ci-dessus, les points suivants devront être traités :

- Analyse de l'état actuel du site et de son environnement
- Etude de la stabilité géologique
- Définition d'un concept de fermeture des blocs et/ou de l'ensemble- évolution des cavités- hydrologie
- Prise en compte des différents scénarios d'évolution ou accidentels
- Analyse des effets directs ou indirects de ces différents scénarios compte tenu des objectifs généraux décrits ci-dessus
- Proposition d'une solution correspondant aux objectifs fixés
- Pour mémoire, évaluation des coûts

La situation particulière du bloc 15 devra être prise en compte dans l'étude des solutions.

Cette étude se limite à établir une base de décision dans le choix de la variante. Une fois la décision prise, il faudra préciser le déroulement des opérations dans le cadre d'un projet détaillé de réalisation.

2. Critères d'évaluation

La solution recherchée doit permettre de garantir la santé et la sécurité des populations riveraines et du personnel intervenant ainsi que la qualité de l'environnement dans le respect de la réglementation en vigueur. **Le choix de la variante optimale se fait donc en premier lieu sur la base d'une évaluation approfondie des risques pour l'homme et l'environnement.** Pour cette raison, ces aspects sont traités dans trois rapports détaillés formant la base technique de l'évaluation :

- Le rapport de Mica Environnement "*Etude géologique, hydrogéologique et géotechnique du centre de stockage de Stocamine, Wittelsheim (Haut Rhin)*" traite de la situation géologique, hydrogéologique et géotechnique du stockage et des mines en communication avec ce dernier.
- Le rapport de l'Institut Suisse pour la Promotion de la Sécurité (ISPS) "*Détermination des dangers*" traite des aspects d'hygiène et de sécurité pour le personnel intervenant.
- Le rapport de BMG Engineering AG "*Stockage souterrain de Wittelsheim : évaluation des risques suite au confinement de déchets dans la mine – Risques dus aux substances chimiques*" traite des risques pour l'homme et l'environnement suite au confinement définitif d'une partie (déchets du bloc 15) ou de l'ensemble des déchets dans la mine.

Outre les aspects relatifs aux risques pour l'homme et l'environnement, les critères suivants sont considérés :

- La *faisabilité technique* des mesures proposées doit être établie pour un site d'échelle comparable à celle du stockage. Les technologies nécessaires à la réalisation des variantes considérées doivent être disponibles soit auprès de l'exploitant des mines soit sur le marché.
- La variante recommandée doit être acceptable pour la société. Ceci implique en particulier la *préservation des ressources* et le choix d'une *solution réduisant globalement les impacts sur l'environnement*.
- Finalement et pour mémoire, les *coûts des mesures proposées ne doivent pas être disproportionnés* par rapport aux gains pour l'homme et l'environnement.

L'évaluation des variantes d'exercice de la réversibilité, respectivement de confinement définitif des déchets selon les critères définis ci-dessus, doit permettre de fournir les éléments de décision dans le choix de la solution optimale. Les solutions envisageables sont présentées dans les présentes études sous forme de *concept*. Une fois le choix de la variante fixé, un projet de réalisation, définissant de manière détaillée le déroulement technique et la logistique des opérations, devra être établi.

3. Etude géologique, géotechnique et hydrogéologique du site de Stoca-Mine

3.1 Situation et description des exploitations minières et du stockage

La société StocaMine exploite depuis 1999 un centre de stockage souterrain de déchets industriels toxiques non radioactifs, à proximité de la localité de Wittelsheim, 10 Km au Nord Ouest de la ville de Mulhouse (voir figure n° 1.1, Annexe 1).

Ce centre de stockage est implanté dans les formations salines profondes du bassin potassique alsacien exploité par les M.D.P.A. depuis 1904 sur plusieurs sièges d'exploitation.

Sur ces sites miniers, les M.D.P.A. ont exploité deux couches de potasse comprises entre les cotes – 200 m NGF et – 700 m NGF (de 450 à 1 100 m de profondeur) :

- La couche supérieure (Cs), épaisse de quelques centimètres à 2 mètres. Cette couche n'a pas fait l'objet d'exploitation lorsqu'elle était trop mince. Elle se situe très régulièrement à 20 – 25 mètres au-dessus de la couche inférieure.
- La couche inférieure (Ci), épaisse de 4 à 6 mètres. Le mur de cette couche inférieure de potasse a servi de niveau altimétrique repère dans la mine, c'est par rapport à ce dernier que sont « calés » tous les travaux.

Les techniques d'exploitation mises en œuvre aux M.D.P.A. ont toutes conduit à un comblement presque total des vides de l'exploitation, soit en raison du remblayage total des chantiers, soit en raison du foudroyage consécutif au torpillage des piliers ou à l'enlèvement des étançons.

Les chambres de stockage de déchets de StocaMine ont été aménagées dans une couche de sel gemme située 23 à 25 mètres sous la couche inférieure de potasse, dans la mine Amélie. Elles ont été creusées par la technique des chambres et piliers selon un agencement géométrique en carré divisé en sous unités ou blocs de stockage (voir figure n° 1.2, Annexe 1). L'exploitation de potasse et le stockage communiquent par des galeries de desserte et par des bures.

L'étude ne peut donc pas se limiter à l'emprise seule du stockage mais doit prendre en compte une bonne part du bassin potassique (bassin de Wittelsheim).

3.2 *Etude Géologique*

3.2.1 Contexte géologique régional

Le site de l'étude se situe en totalité dans le domaine du Fossé Rhénan qui constitue la plaine d'Alsace.

Il s'agit d'un fossé d'effondrement d'âge tertiaire de direction NNE – SSW, long de 300 Km et large de 35 Km. Il est limité de part et d'autre par des failles bordières de même direction qui se relaient ou se dédoublent. Il est bordé par les collines Sous Vosgiennes à l'Ouest et celles de la Forêt Noire à l'Est.

Dans la zone d'étude, la stratigraphie et la lithologie des terrains sont connues par les levés effectués lors du fonçage des puits, par les sondages de recherches de potasse, et par les sondages de recherche pétrolière lesquels ont permis de reconnaître les formations d'âge Primaire et Secondaire qui constituent le soubassement du fossé rhénan.

3.2.2 Les formations du substratum et du secondaire

Le substratum du bassin de Mulhouse – Wittelsheim est constitué d'un socle granitique, recouvert par endroits d'une faible couche de terrains d'âge Permien.

La série secondaire qui les recouvre est épaisse d'environ 1 300 mètres. Elle montre une sédimentation continue du Trias jusqu'au Jurassique supérieur.

Dans cette succession lithologique d'âge secondaire les niveaux gréseux ou calcaires peuvent contenir des aquifères ; il s'agit, de bas en haut :

- Des grès du Trias inférieur (Bundsandstein), situés à près de 2 450 mètres de profondeur, et épais d'une centaine de mètres,
- Des calcaires et dolomies du Trias moyen (Muschelkalk), présents à une profondeur d'environ 2 250 mètres, et épais d'une centaine de mètres,
- Des calcaires du Bajocien supérieur, ou Grande Oolithe, situés à près de 1 900 mètres de profondeur et dont l'épaisseur est de l'ordre de 130 à 150 mètres,
- Des calcaires du Jurassique supérieur. Ils sont constitués par des calcaires blancs ou gris, sublithographiques du Séquanien et du Rauracien. Ils sont situés aux environs de 1 500 mètres de profondeur, et leur épaisseur est de l'ordre de 100 mètres.

3.2.3 Les formations tertiaires

A la fin du Crétacé, les premiers mouvements de l'orogénèse alpine ont plissé le substratum secondaire selon des plis orientés E-NE – W-SW. Ces reliefs ne sont que partiellement érodés lors des premiers dépôts du tertiaire qui vont se déposer dans des cuvettes plus ou moins indépendantes.

Le bassin potassique de Wittelsheim est le plus développé. La base du tertiaire se situe aux environs de 1 600 mètres de profondeur. La figure n° 1.3, annexe 1 donne la succession lithostratigraphique des terrains tertiaires rencontrés dans le bassin potassique.

L'Eocène

Les terrains Eocènes ont été recoupés par les sondages sur des épaisseurs variables allant de 0 à 115 mètres. Le faciès le plus commun est microconglomératique brun rouge à violet, avec quelques intercalations d'horizon de calcaires lacustres à planorbes.

Le toit de ces formations est constitué par des marnes grises à limnées qui sont à considérer comme l'équivalent latéral de faciès de la zone salifère inférieure, considérée d'âge Oligocène dans l'échelle stratigraphique traditionnellement utilisée aux M.D.P.A..

L'Oligocène

Il constitue l'essentiel du remplissage du bassin de Mulhouse et renferme les couches de potasse exploitées.

Dans le détail, le bassin potassique de Wittelsheim comprend, de bas en haut, la succession lithologique suivante :

Le Sannoisien

Le Sannoisien comprend les terrains de la zone salifère inférieure, de la zone salifère moyenne et de la zone salifère supérieure.

La zone salifère inférieure comprend quatre unités constituées principalement de marnes et de niveaux de sel (dont le grand banc de sel gemme, de 200 m de puissance).

La zone salifère inférieure a une épaisseur totale de 700 à 900 mètres dont une épaisseur cumulée de sel de 250 m répartie entre le grand banc qui totalise 100 à 200 m à lui tout seul, et les 57 autres bancs bien individualisés.

La zone salifère moyenne comprend des alternances de marnes bitumineuses et de bancs de sel gemme.

La zone salifère moyenne a une épaisseur totale de 300 mètres, dont 80 m de sel en 22 bancs individualisés.

La zone salifère supérieure comprend trois unités principales : le complexe salin, le complexe salifère, et le complexe marneux sans sel. Le complexe salin se divise en deux parties, le complexe salin, épais de 200 mètres, comportant à la base les deux couches exploitées de potasse et le complexe salifère, épais de 300 mètres environ est composé de marnes, d'anhydrite en gros rognons et de couches de sel gemme. Le complexe marneux, sans sel, de 50 m d'épaisseur, est constitué des marnes à rognons d'anhydrite ou de gypse.

Le Stampien

Le Stampien est divisé en Stampien inférieur, moyen et supérieur. Le Stampien inférieur comprend, la couche de marnes à foraminifères, épaisse de 5 à 12 mètres, et la couche à Amphisiles, épaisse de 2 à 17 mètres, qui forment toutes deux des horizons repères et imperméables importants. Le Stampien moyen comprend une puissante série (300 mètres) dénommée « couches à Melettes », constituée de marnes grises et micacées. Le Stampien supérieur (couches à Cyrènes) est représenté par une alternance de marnes finement sableuses et de couches de grès tendres mal consolidés (100 m).

Le Chattien

Le Chattien est constitué de marnes bariolées à horizons gréseux mal consolidés. Vers le sommet de la série apparaissent des niveaux de calcaires vacuolaires, et les marnes contiennent des nids de gypse en gros cristaux.

Le Plio – quaternaire

Les dépôts Pliocènes sont moins épais que dans le reste de la plaine d'Alsace, et leur épaisseur varie de 20 à 50 mètres ; ils sont formés de limons, sables, graviers et galets d'origine vosgienne et rhénane. Entre le tertiaire et le remplissage alluvial, un niveau d'argile jaune est souvent rencontré ; il est dénommé zone de transition.

3.2.4 Présentation de la carte géologique

Une carte géologique a été dressée par les M.D.P.A. sur la base de la somme de renseignements accumulés lors de la réalisation des travaux de recherches et d'exploitation de la potasse (voir figure n° 1.4, Annexe 1). Cette carte est dressée en supprimant la couverture quaternaire et permet de disposer d'une carte géologique montrant le bassin à la fin de l'Oligocène :

- Le bassin tertiaire est orienté Sud-Ouest – Nord-Est.
- Les terrains les plus anciens affleurent au Sud Ouest, les plus récents au Nord Ouest.
- La zone salifère supérieure (Sannoisien) affleure largement à l'Ouest et dans la zone de Mulhouse.
- L'horizon salifère supérieur est largement recouvert par les formations du Stampien inférieur et moyen, comprenant de bas en haut, la couche à foraminifères, les schistes à poissons et les couches à Mélettes.
- Les formations du Stampien supérieur (couches à Cyrènes) et du Chattien (marnes et grès) affleurent au centre et au Nord Est.

La disposition des affleurements est contrôlée par le découpage du bassin par des failles normales à regard Ouest de direction sensiblement Nord Sud. Les compartiments où affleurent des formations rattachées à l'Oligocène supérieur sont remontés par rapport aux compartiments où affleurent les formations de l'Oligocène inférieur. Le tracé des failles sub-méridiennes mentionnées par la carte est directement interprété des observations réalisées au fond de la mine et par l'interprétation des courbes isohypses du mur de la couche inférieure de potasse. Toute cette fracturation est post-sédimentaire, la série stratigraphique apparaissant à peu près identique dans chaque compartiment.

Le bassin potassique est bordé, à l'Est, par la formation salifère du diapir d'Ensisheim qui constitue une sorte de barrière le long de la vallée de l'III.

Tectonique cassante

Le fossé Rhénan où se situe le bassin de Wittelsheim constitue une cassure majeure de type rift, de la croûte continentale européenne au Nord du domaine orogénique alpin.

L'ensemble du fossé a été le siège de mouvements de distension et de coulissage dont l'évolution tectonique peut être résumée en quatre épisodes :

- Une phase de compression N – S, avec décrochements (Eocène supérieur probable),
- Une phase de distension E – W avec effondrement (Oligocène),
- Une phase de compression NE – SW (Miocène),
- Une phase de compression NW – SE (Plio-Quaternaire).

Dans le bassin de Wittelsheim, le remplissage tertiaire du fossé d'effondrement est affecté d'ondulations de directions sub méridiennes à grand rayon de courbure. Elles sont parfois interrompues par des failles normales de même direction que les plis, le plus souvent anti-thétiques à regard Ouest de pendage 30 à 40°.

A l'exception des accidents bordiers qui sont synsédimentaires, les autres failles sont souvent post sédimentaires, c'est à dire post Chattiennes. L'analogie de ces terrains de part et d'autre de ces accidents le montre. Ces accidents ont un rejet pouvant atteindre 500 mètres et conduisent à couper la série en grands panneaux monoclinaux.

A l'Est de l'III, il se développe une tectonique propre aux formations salifères où de légers replis anticlinaux sont accentués par des phénomènes diapiriques de fluage du sel, et sont accompagnés de failles méridiennes.

Au niveau de StocaMine, la structure des couches est régulière et se présente sous la forme d'un monoclinal à pendage 6 à 10° vers le N-NW. Cette régularité s'interrompt dans le secteur du puits Max où il a été mis en évidence une faille de direction N - S dont le rejet est voisin de 170 mètres au maximum, le bloc Ouest étant effondré par rapport au bloc Est. Au Sud, cet accident s'amortit rapidement.

Le diapirisme

Dans la plaine du Rhin, les conditions ne sont pas très favorables à la mise en place de diapirs, notamment en raison de l'épaisseur trop réduite des bancs de sel individualisés. Le diapir d'Ensisheim est le plus proche du stockage et se situe à une quinzaine de kilomètres au Nord Est ; dans la zone des travaux miniers, aucun diapir n'a été recoupé.

Si un diapir devait se constituer, il lui faudrait un minimum d'un million d'années avant qu'il n'atteigne la nappe des alluvions.

Pour ces raisons, le risque entraîné par le diapirisme est considéré comme négligeable vis à vis de la sûreté du stockage souterrain.

3.2.5 Présentation du bassin potassique

Description

Le bassin potassique est fortement structuré en direction S.SW – N.NE ; il montre trois bandes S.SW – N.NE de panneaux d'exploitation séparées par des zones perturbées soulignées par un fort resserrement des courbes isohypses de la couche inférieure de potasse.

Deux blocs ne communiquant pas entre eux peuvent être individualisés :

- Le bassin de Wittelsheim, le plus à l'Ouest, comprenant, les mines Joseph-Else, Amélie, Marie Louise et Berwiller, ainsi que les mines Max, Rodolphe, Alex et Ungersheim.
- A l'Est, le bassin de Wittenheim – Ensisheim, comprenant, du Sud au Nord, les mines Anna et Fernand, Eugène et Théodore, et Ensisheim.

Ces deux blocs sont indépendants d'un point de vue hydrogéologique. StocaMine se trouve dans le bassin de Wittelsheim, allongé sur 15 Km en Nord Sud et large de 7 Km.

La figure n° 3.5, Annexe 1 donne un aperçu de la structure géologique du bassin de Wittelsheim et de la position de StocaMine dans ce dernier.

Les puits de Mine

Les mines du bassin de Wittelsheim ne communiquent avec la surface que par des puits dont l'étanchéité des cuvelages est assurée par la mise en place de cuvelages étanches réalisés en fonte ou en tôles d'acier noyées dans du béton qui recouvrent la plupart des venues d'eau recoupées lors du fonçage des puits. Les autres types de cuvelage, en béton, briques, ou moellons, n'ont qu'une vocation de soutènement des terrains, mais ne permettent pas de bloquer d'éventuelles venues d'eau.

Les Sondages

De nombreux sondages ont été effectués dans le bassin potassique et en particulier dans la zone du stockage.

- des forages peu profonds, à vocation de contrôle et de suivi de la nappe phréatique du quaternaire.
- des forages réalisés dans le cadre de la recherche de potasse.
- des forages de recherche pétrolière, conduits dans les années 50. Ces forages ont traversé l'ensemble des couches du tertiaire pour aller rechercher les indices d'huile dans les magasins du Jurassique et éventuellement du Trias.

Les travaux miniers du bassin de Wittelsheim ont été recoupés par 33 sondages de recherche de potasse et par 10 sondages de recherche pétrolière.

La réalisation et le rebouchage des sondages de recherche de potasse a fait, dès l'origine, l'objet d'une attention particulière de la part des exploitants, en raison de la grande solubilité de certains horizons traversés.

A l'origine, la technique de rebouchage des sondages consistait à reboucher l'intégralité des sondages avec de l'argile compactée. Cette technique a évolué progressivement jusqu'à la cimentation complète des sondages. Parmi les 33 sondages recoupés, cinq ont donné lieu, au moment de leur intersection, à des coulées de boue dont la plus importante a atteint environ 20 m³. Dans la majorité des cas, les manifestations lors de la rencontre furent limitées à quelques suintements et à de faibles venues d'eau saturée en sel.

Les sondages de recherche pétrolière sont répartis en trois groupes, celui de Reiningue, au Sud, le sondage 1 – 072 isolé, situé en bordure de l'exploitation Nord Est de la Mine Amélie et le groupe de sondages de Staffelfelden. Quelques uns ont été recoupés par les travaux miniers. Aucune venue d'eau ne s'est jamais manifestée, ni au toit, ni au mur des travaux miniers en recoupant ces sondages ; quelques émanations gazeuses ont cependant été relevées.

3.3 Etude géotechnique, comportement mécanique du stockage et de la mine de potasse

3.3.1 Reconnaissance de terrain

Des relevés détaillés des déformations des piliers, toits et mur au sein du stockage ont été réalisés.

Sous l'action des contraintes verticales, les piliers de section 20 x 20 m se déforment. Cette déformation se traduit par l'apparitions de fissures en superficie des piliers dont l'ouverture varie de 0 près des bords fermes à 30 cm en milieu de stockage. Aucune fissure profonde préfigurant la ruine totale des piliers n'a été observée.

Par contre, les piliers allongés situés dans les voies de desserte sont fissurés au cœur. Les toits présentent peu de déformations sauf au niveau des blocs 15 et 23 où la flèche mesurée atteint 30 cm. Celle-ci est accompagnée de fissures. Les toits des blocs 25 et 26 se sont effondrés. Ces effondrements sont situés à l'aplomb d'une zone où les couches inférieures et supérieures de potasse n'ont pas été exploité au-dessus.

3.3.2 Loi de comportement du sel gemme et caractéristiques géomécaniques

Des études sur le comportement du sel ont été réalisées depuis 30 ans par le Centre d'Etude de Mécanique des Roches de l'ENSMP (G. VOUILLE). Ces études ont permis d'affiner les caractéristiques mécaniques ainsi que les lois de comportement du sel gemme.

Le sel gemme est un matériau très particulier qui peut être modélisé par les lois de comportement suivants :

- Le sel gemme est un matériau élastoviscoplastique. Toute excavation réalisée dans le massif rocheux conduit à une perturbation des contraintes dans la structure qui évoluent dans le temps pour tendre vers un état asymptotique qui est celui obtenu par un calcul élastoplastique. La déformation totale est ainsi la somme de deux termes : une déformation élastique qui se déduit de la valeur de la contrainte appliquée par les lois classiques de l'élasticité isotrope caractérisées par un module d'Young et un coefficient de Poisson, et une déformation viscoplastique.
- Le sel gemme a la propriété de se déformer dans le temps sous un état de contraintes invariables (fluage). La loi de comportement retenue pour le sel est la loi de J. Lemaître mise au point pour rendre compte du fluage des métaux. Elle suppose un écrouissage par la déformation déjà acquise et ainsi une vitesse décroissante de la déformation de fluage au cours du temps.
- Les dernières études du Centre d'Etude de Mécanique des Roches de l'ENSMP ont permis de caler les coefficients de la loi rhéologique de Lemaître.

3.3.3 Comportement à long terme du stockage dans le cas où celui-ci reste sec

Le comportement à long terme du stockage sous l'effet du fluage du sel a été modélisé par l'ENSMP par la méthode des éléments finis en élastoviscoplasticité.

En considérant une hauteur de galerie de 2,80 m, une largeur de 5,50 m et des piliers de section 20 m x 20 m, le temps nécessaire pour que la galerie atteigne une hauteur de 1,80 m, c'est à dire la hauteur moyenne des déchets entreposés, est de 413 ans.

Risque de ruine soudaine des piliers

Le déviateur des contraintes (différence entre contrainte verticale et horizontale) dans la partie centrale des piliers demeure relativement faible (5,78 Mpa) suite au calcul de l'ENSMP, et ce même à long terme. Il n'y aura donc pas de rupture brutale des piliers même à très long terme. Il s'en suivra un tassement lent et continu de l'ensemble de la structure.

Risque de remontée de fissures

Un calcul établi en éléments finis dans le domaine élastoplastique à l'aide du logiciel PLAXIS permet d'établir le risque de remontées de fissures à partir des zones foudroyées.

Les fissures apparaissent dès le foudroyage. Le caractère visqueux du sel ne rentre pas en jeu dans ce cas.

Les résultats de la modélisation montrent des remontées de fissures jusqu'à 60 m au-dessus de la couche inférieure de potasse foudroyées au Sud, et jusqu'à 200 m au droit du stockage.

Ces remontées de fissure n'atteignent en aucun cas la surface et restent localisées dans l'horizon salifère.

Les observations visuelles réalisées par les MDPA donnaient des remontées de fissures jusqu'à une vingtaine de mètres au-dessus des zones foudroyées.

3.4 Etude hydrogéologique

3.4.1 Généralités : Réseau hydrographique régional

La zone d'étude correspondant au bassin de Wittelsheim appartient au bassin versant de la rivière de l'Ill et de ses affluents la Doller et la Thur. Cependant, le réseau hydrographique est peu développé et en l'absence d'écoulements naturels bien marqués, l'ensemble du réseau hydrographique local a été aménagé par l'homme par la constitution de réseaux artificiels d'écoulement des eaux de surface.

3.4.2 Contexte hydrogéologique régional

Plusieurs aquifères superposés ont été reconnus dans les différentes formations géologiques. La figure n° 1.6, Annexe 1 montre la position et les caractéristiques des principaux aquifères sur une coupe stratigraphique simplifiée.

Les aquifères du secondaire n'ont été reconnus que par les sondages d'exploration pétrolière. Ces aquifères n'ont pas fait l'objet d'études hydrogéologiques particulières, mais il faut en retenir qu'ils sont pour la plupart artésiens, et que leurs eaux ont une température élevée (80 / 100° C), et qu'elles sont salées. Ces aquifères sont séparés par des horizons quasi imperméables qui assurent l'individualité de chacun.

Les formations tertiaires comprennent des horizons localement perméables pouvant contenir un peu d'eau. Ces horizons perméables ne sont connus que parce qu'ils ont été recoupés par les puits de l'exploitation de potasse.

- Dans le Sannoisien, la Zone salifère inférieure, moyenne et la plus grande partie de la zone supérieure sont considérées comme exemptes d'eau. Dans la zone salifère supérieure, la zone supérieure des marnes à gypse a donné lieu à quelques petites venues d'eau salée dans les puits lors de leur creusement.
- Le Stampien inférieur est considéré comme imperméable.
- Le Stampien moyen et supérieur, constitué des couches à Mélettes et à Cyrènes, présente très souvent des horizons aquifères peu productifs.
- Le Chattien montre des horizons aquifères à la conjonction d'horizons gréseux avec des zones de dislocation.

La plaine alluviale quaternaire renferme un réservoir aquifère d'une exceptionnelle richesse. Les alluvions y atteignent une épaisseur considérable ; elles sont perméables et bien alimentées en amont de la zone d'étude par les rivières vosgiennes et par le Rhin. Les terrains alluvionnaires sont caractérisés par une forte hétérogénéité des matériaux ; il s'agit principalement de sables, graviers et galets d'origine vosgienne, entrecoupés par des niveaux argileux et argilo-sableux dont l'extension latérale est variable et la distribution verticale aléatoire. La base des alluvions est constituée par un niveau argileux plastique, appelé zone de transition et provenant de la décarbonatation des marnes tertiaires sous jacentes qui constituent le substratum imperméable.

L'aquifère quaternaire a une perméabilité de l'ordre de 1.10^{-4} m/s dans la zone d'étude, mais plus généralement, cet aquifère a une perméabilité plus élevée, comprise entre 10^{-3} et 10^{-4} m/s.

Sur la zone d'étude, et à l'échelle d'un bilan annuel, la rivière la Thur draine la nappe alluviale en direction du Nord Est.

3.4.3 Historique des venues d'eau dans la mine

L'historique des venues d'eau dans la mine a permis de déterminer que les venues accidentelles ont été rares et limitées (Le « travers banc T » par exemple, a mis en contact les niveaux d'exploitation avec un aquifère tertiaire ; il a fait l'objet d'un serrement dans les années 40) . Les sondages n'ont été le siège d'aucune venue d'eau importante et durable. Seuls les puits de mine, 15 dans la zone d'étude, ont été et sont encore, des points d'entrée d'eau dans la mine.

La méthode d'exploitation, par foudroyage du toit de la couche, n'a jamais occasionné de remontée de fissure jusqu'à un niveau aquifère et ainsi provoqué une irruption d'eau dans la mine.

3.4.4 Vecteurs d'entrées d'eau dans la Mine

Estimation des vides résiduels

Le gisement exploité par les MDPA est constitué de deux couches de potasse espacées d'une vingtaine de mètres. La couche supérieure a été exploitée sur environ 1,5 m d'épaisseur et la couche inférieure sur environ 4 m d'épaisseur.

L'estimation du vide résiduel dans la mine après l'arrêt de l'exploitation prend en compte :

- Le vide résiduel dans les zones foudroyées (couches exploitées).
- Le vide résiduel dans les voies de communication et de desserte de l'exploitation.

Les affaissements observés en surface ont montré que les vides résiduels après foudroyage étaient d'environ 10%. La porosité diminue ensuite dans le temps sous l'effet de la compaction naturelle des terrains. Les calculs du vide résiduel dans les zones foudroyées ont été systématiquement conduits **pour trois valeurs de porosité fixées à 2%, 5% et 8% de l'épaisseur de chaque couche exploitée.**

Pour le calcul du volume des voies de desserte de l'exploitation, il a été retenu un volume de vides résiduels à 500 ans avec pour hypothèse que les galeries situées en-dessous de la profondeur 650 mètres sont toutes refermées et le vide résiduel nul, tandis que le volume des voies situées au-dessus de 650 m de profondeur ne représente plus que 40% du volume initial.

La durée de 500 ans correspond au temps d'ennoyage le plus probable de la mine.

Ces deux approches permettent d'évaluer les volumes résiduels dans la mine soit :

	Volume de vides (m ³) -2% en zone foudroyée (actuel) -Voies à 500 ans	Volume de vides (m ³) -5% en zone foudroyée (actuel) -Voies à 500 ans	Volume de vides (m ³) -8% en zone foudroyée (actuel) -Voies à 500 ans
BASSIN DE WITTELSHEIM (ensemble du bassin)	5 792 400	10 900 000	17 338 400
MINE AMELIE (considérée comme isolée)	2 898 100	5 490 000	8 083 800

Le site de stockage de StocaMine fait partie intégrante de la mine de potasse Amélie. Il est creusé dans un banc de sel situé 23 à 25 m sous le mur de la couche inférieure de potasse. Ce site de stockage communique avec les vides résiduels des couches de potasses foudroyées par de nombreuses galeries laissées en l'état.

La faible largeur du stot isolant la mine Amélie des autres mines du bassin de Wittelsheim (20 m) **conduit à envisager l'existence d'une relation hydraulique entre les deux exploitations au travers d'une zone foudroyée.** Les calculs sont cependant conduits en considérant chaque fois les cas où il y a communication dans l'ensemble du bassin de Wittelsheim et celui où la mine Amélie reste isolée.

3.4.5 Ennoyage de la mine

Aucune circulation d'eau naturelle n'a jamais été observée dans la mine ; de même, aucune venue d'eau n'a été observée consécutivement au foudroyage des couches de potasse. De ce fait aucune communication hydrogéologique n'est envisagée entre la mine et la surface au travers des terrains en place.

Les techniques de rebouchage mises en œuvre au moment de la réalisation des sondages ou au moment de l'arrêt de l'exploitation dans le cas des sondages pétroliers ont permis de préserver l'exploitation de toute venue d'eau. On peut donc considérer que les sondages anciens ne constituent pas un vecteur d'entrée d'eau dans la mine.

L'analyse des vecteurs d'entrée d'eau dans la mine conduit à ne considérer que les puits d'exploitation comme points de relations entre la mine et l'extérieur et d'alimentation en eau.

Les mines de potasse sont en relation avec la surface par l'intermédiaire de quinze puits de gros diamètre dont 10 (et bientôt 11) sont remblayés définitivement.

Les M.D.P.A. ont mis au point une technique de remblayage qui permet de limiter les entrées d'eau dans la mine. Un calcul des débits de transit dans les puits déjà remblayés, et un calcul prévisionnel dans les puits à remblayer ont été effectués.

- **Dans la mine Amélie, considérée isolément**, le débit d'entrée d'eau par les puits, remblayés intégralement avec des cendres volantes, sera au maximum de **200 m³/mois**. Un tel débit conduit à une durée d'ennoyage de la mine qui s'échelonne entre **1 200 ans et 3 300 ans** selon la valeur de la porosité initiale retenue après foudroyage.
 - Pour une porosité initiale à 5 %, le site de stockage qui est situé entre -300 m et -240 m NGF, sera atteint par l'eau au bout d'environ 1 400 ans. A partir de ce moment les déchets seront susceptibles d'être au contact de l'eau en fonction des conditions de confinement adoptées. Il faudra encore attendre 900 ans pour que la mine soit entièrement remplie.
 - **Ce n'est donc qu'au bout d'environ 2300 ans au minimum** que l'eau sera susceptible de ramener à la surface une éventuelle contamination issue du stockage.
- **Dans le bassin de Wittelsheim, pris dans son ensemble**, les calculs indiquent un débit total d'infiltration par le biais des puits déjà remblayés d' au maximum de 1600 m³/mois. En tenant compte des 200 m³/mois qui s'infiltrent directement dans la mine Amélie, on obtient donc un **débit total d'infiltration de 1 800 m³/mois**.
 - **Avec ce débit de 1800 m³/mois, il faut entre 270 ans et 800 ans pour remplir la totalité des vides miniers** en fonction de la valeur de la porosité initiale retenue après foudroyage.
 - Il faudrait (valeur de porosité de 5%) environ **400 ans** pour que le site de stockage commence à être ennoyé. L'ennoyage total du site de stockage qui s'échelonne entre -300 m et -240 m NGF durerait ensuite une vingtaine d'années.
 - **L'ennoyage total de la mine serait effectif au bout d'environ 500 ans**. Ce n'est qu'à partir de ce moment là, qu'une circulation hydraulique serait susceptible de ramener à la surface une éventuelle contamination issue des déchets du stockage.

Suite à l'obturation définitive par des matériaux très peu perméables de tous les puits, l'air emprisonné dans la mine va être progressivement compressé par l'action du phénomène de convergence des vides miniers sous l'effet du poids des terrains sus-jacents, et de la compression de l'air au fur et à mesure de l'ennoyage des travaux miniers (zones foudroyées + galeries).

Compte tenu de la géométrie de l'exploitation, la quasi-totalité de l'air sera progressivement comprimée vers la zone située au Sud et au Sud-Est des puits Joseph et Else. Il peut y avoir formation d'une zone non saturée en eau dont le volume d'air sera compris entre 88 000 et 255 000 m³. Une poche d'air d'environ 10 000 m³ pourra également se former au pied du

puits Else. Le niveau d'eau devrait se stabiliser vers -180 m NGF et la « poche d'air » serait alors à une pression d'environ 48 bars. Sous l'effet de la convergence des travaux miniers, la pression devrait ensuite augmenter à très long terme jusqu'à une pression maximale finale d'environ 110 bars. Cet air restera prisonnier de la mine.

3.4.6 Equilibre final du système

Equilibre final en considérant la mine Amélie comme un système isolé

L'équilibre hydrodynamique qui s'établit entre les 5 puits de la mine dépend de la géométrie du système, de la charge hydraulique des aquifères concernés et de la densité (salinité) des eaux. **En prenant en compte le cas le plus défavorable, un tel système conduit à un flux maximal transitant dans la mine d'environ 10 m³/an.**

Equilibre final en considérant le bassin de Wittelsheim dans son ensemble

L'équilibre hydrodynamique qui va s'établir entre les 15 puits du bassin dépend de la géométrie du système, de la charge hydraulique des aquifères concernés et de la densité (salinité) des eaux.

L'application de la démarche précédente concernant le positionnement de l'interface eau douce / saumure dans les puits montre que l'équilibre hydrostatique strict n'est plus certain. Cette possible rupture d'équilibre est due à l'existence de circulations aquifères plus profondes au Nord. Ces circulations aquifères recoupées par les puits peuvent provoquer une baisse de la salinité de la saumure au contact des puits et par conséquent entraîner une remontée de saumure au voisinage des puits ou au sein des horizons aquifères du Stampien.

Dans un tel cas, le calcul des flux transitant dans le système **montre que les 5 puits de la mine Amélie et le puits Berrwiller constitueront les entrées d'eau du système. Les autres puits constitueront les exutoires du système avec cependant une incertitude concernant les puits Staffelfelden, Marie et Louise dont les flux pourraient s'avérer négligeables.** Les figures n° 1.7 et 1.8, Annexe 1 montrent respectivement une coupe schématique de fonctionnement du système hydraulique constitué par la mine et les 15 puits à l'équilibre, et une carte matérialisant les flux et les temps de transit dans la mine une fois l'équilibre hydrodynamique atteint.

L'application de la loi de Darcy montre qu'un tel système conduit à un flux maximal compris entre **195 et 238 m³/an** selon que l'on considère ou non la participation des puits dont le sens du flux est incertain. **Un débit moyen de 195 m³/an plus vraisemblable a été retenu.**

Les puits Joseph et Else sont les seules entrées d'eau situées en amont de la zone de stockage. Le flux entrant par ces puits qui est susceptible de lixivier les déchets et d'entraîner une éventuelle contamination est **au maximum de 54 m³/an.**

Les puits Ungersheim 1 & 2 constituent les exutoires majeurs du système en évacuant un flux total d'environ 92 m³/an.

Ces débits sont très faibles et ne s'initieront que dans le cas où les aquifères tertiaires dilueraient l'eau salée accumulées dans les puits.

Le débit mentionné pour chacun des puits exutoires correspond au flux de saumure saturée évacué par le bouchon inférieur de cendres volantes et non au débit réellement évacué par le puits dans la nappe alluviale. Ce dernier est délicat à quantifier, car il dépend de paramètres non maîtrisés tel que le facteur de dilution ou la proportion de saumure entraînée dans les horizons aquifères du Stampien. En toute logique ce débit de saumure diluée serait supérieur à celui issu du bouchon.

Les calculs de débits présentés dans cette étude tiennent compte d'une forte dilution de la saumure au niveau des puits aval, d'au moins un facteur 20. Il a ensuite été considéré que 50% du flux de saumure dilué était entraîné dans le Stampien et 50% vers la nappe alluviale.

Le temps de transit est très long avant qu'une éventuelle eau contaminée par les déchets ne puisse atteindre la nappe alluviale du quaternaire par les six puits constituant l'exutoire du système. Dans les conditions les plus vraisemblables, l'étude des conditions d'équilibre hydrodynamique a montré que les polluants éventuellement lixiviés par les eaux d'infiltration des puits Joseph et Else mettraient au minimum 900 ans avant de ressortir aux puits servant d'exutoire.

En cas de remontée d'eau salée au niveau des puits, la composition chimique du rejet peut dépendre de nombreux paramètres tels que la diffusion dans le matériau de remplissage des fûts des puits, et la vitesse d'écoulement des aquifères (circulations dans les horizons perméables du Stampien et dans la nappe alluviale).

En cas de lixiviation des déchets par un flux d'eau transitant dans les travaux miniers, et de remontée de saumure par les puits, la concentration en polluants du rejet dépendra de la solubilité des substances polluantes dans la saumure, des réactions chimiques pouvant influencer les éléments contaminant au cours de leur transit dans les travaux miniers et de la dilution des éléments contaminant en fonction des flux et de la géométrie des travaux miniers.

Au final, la saumure saturée contaminée sera susceptible d'atteindre en premier lieu les horizons perméables du Stampien via les puits, puis éventuellement après une forte dilution la nappe alluviale, qui assure le drainage général vers le Nord de la zone d'étude.

Il convient toutefois de rappeler que ces scénarios découlent d'une chaîne d'hypothèses volontairement pessimistes et qu'il est fortement probable que les puits présenteront en réalité des débits de filtration nuls ou nettement plus faibles que ceux envisagés.

Conséquences d'une éventuelle pollution des aquifères

La remontée d'un faible débit éventuellement contaminé de saumure au niveau d'un puits, entraînerait la formation d'un panache de pollution localisé à l'aval du puits par dilution de l'effluent dans la nappe alluviale.

Cette éventuelle pollution suivrait l'écoulement de la nappe et se dirigerait vers les exutoires naturels de la nappe (rivières, sources) et éventuellement vers les captages d'eau (puits, forage).

La qualité de l'eau puisée dans la nappe dépendra des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe alluviale, du débit et de la concentration en polluant de l'effluent rejeté, et de la situation des captages et de leur débit d'exploitation.

Le facteur de dilution augmente avec l'importance du débit exhauré, on en conclue qu'un important captage (alimentation en eau potable de collectivité, irrigation) sera moins vulnérable qu'un ouvrage placé juste en aval du rejet et peu sollicité (puits et forage de particuliers).

Différentes modélisations des concentrations en polluants en cas de rejets, ont été réalisées par le bureau BMG.

3.4.7 Scénarios accidentels

Rupture du bouchon d'un puits situé en amont du stockage suivie d'une entrée brutale d'eau douce

Un scénario de rupture d'un bouchon du puits Joseph ou du puits Else suivi d'une intrusion d'eau brutale dans la mine a été étudié. Un tel événement provoquerait l'entrée importante d'eau douce et entraînerait d'importantes dissolutions, principalement à proximité de la base du puits.

Cet événement a plus de chance de survenir à long terme lorsque la mine sera presque entièrement remplie, et quand les déchets auront déjà été en grande partie lessivés. Les polluants issus des déchets ne pourraient remonter à la surface que par les puits aval. Les bouchons des puits aval auront un rôle majeur dans la limitation du débit de sortie estimé au maximum à 1 220 m³/an.

Rupture du bouchon d'un puits situé en aval du stockage et entrée d'eau brutale

Ce scénario envisage les conséquences sur les flux à l'équilibre de la rupture du bouchon d'un des puits Ungersheim qui constituent les exutoires potentiels les plus bas du système minier.

Si un tel événement survenait une fois la mine remplie, il est probable que le puits deviendrait le point de sortie unique des eaux du système minier. Le flux total serait essentiellement contrôlé par le débit d'entrée des bouchons des puits introducteurs d'eau, estimé entre 375 m³/an et 700 m³/an selon le mode de remblayage des puits Amélie 1 et 2.

Forage atteignant l'aquifère secondaire artésien et entrée brutale d'eau douce

Les sondages déjà réalisés ne semblent plus devoir constituer un risque pour la mine et le stockage.

Dans le cas d'un nouveau forage sur lequel interviendrait un accident avec remontée d'eau des aquifères secondaires, le débit d'intrusion, à l'origine d'environ 700 000 m³/an diminuerait progressivement vers 4 500 m³/an à 2 000 m³/an tant que le niveau de l'eau dans la mine resterait sous le point d'intrusion de l'eau. La position du forage par rapport au stockage sera alors primordiale dans les effets de dispersion des polluants.

Forage dans le stockage

Si un forage venait à recouper la mine Amélie soumise à une surpression liée à l'ennoyage et à la convergence des travaux miniers, il pourrait se produire une brutale expulsion d'air et / ou de saumure pouvant être préjudiciable aux foreurs.

Si le forage recoupe la zone exondée située au Sud du stockage, la quasi-totalité de l'air initialement emprisonné (environ 11 millions de mètres cube pour l'estimation moyenne du bassin de Wittelsheim) serait violemment expulsé en quelques jours.

Si le forage recoupe le stockage déjà ennoyé, environ 150 000 m³ de saumure pourrait être expulsés en quelques jours si aucune action n'était entreprise.

Un tel forage détubé, non bouché et abandonné conduirait ensuite à une intrusion d'eau d'environ 5 à 10 m³/h dans les travaux miniers. L'impact d'un tel accident dépendrait de la période à laquelle il surviendrait et du lieu (mine ennoyée ou pas, déchets déjà lixiviés...). L'éventuel débit de sortie des eaux estimé au maximum à 1220 m³/an, serait contrôlé par la perméabilité des bouchons des puits aval.

En conséquence, des précautions doivent être prises pour qu'un tel forage ne soit pas réalisé quelque soit le scénario retenu de maintien ou non des déchets au fond de la mine.

Altération de l'étanchéité du barrage du Travers Banc T

Ce scénario envisage le cas où le barrage en béton mis en place pour obturer la galerie du Travers Banc « T » ne s'avérerait plus efficace à moyen ou long terme.

Le débit d'intrusion maximal peut être estimé à 1 l/s (31 104 m³/an) tant que les travaux miniers ne seront pas totalement remplis. Le temps de remplissage des travaux miniers serait alors compris entre 110 et 330 ans suivant la porosité initiale retenue.

A l'équilibre, et à condition que l'eau réussisse à s'infiltrer par les puits amont, l'eau de la mine pourrait être évacuée dans l'aquifère du Stampien via le TBT. Le débit de fuite dans le Stampien est difficile à quantifier, mais compte tenu des faibles perméabilités probables on peut estimer qu'il sera inférieur à 1 000 m³/an.

L'impact d'un éventuel transfert de polluant dans les horizons aquifère du Stampien via le TBT serait très inférieur à celui envisagé pour l'aquifère alluvial, car le temps de séjour et la dilution y seraient plus importants.

Failles et séismes

Aucune venue d'eau par le biais de failles existantes ou à la suite d'un séisme n'a de raison d'être envisagée compte tenu de la nature essentiellement marneuse des terrains et de l'absence de recoupement de venues d'eau au cours de l'exploitation.

3.5 Préconisations pour la fermeture des puits et le confinement du stockage

Les préconisations pour la fermeture des puits et le confinement du stockage prennent en compte les deux hypothèses :

- Maintien des produits stockés au fond.
- Déstockage des produits entreposés, à l'exception du bloc 15 pour des raisons d'impossibilité à reprendre les résidus de l'incendie (risque pour la santé des travailleurs, risque minier en raison de la fragilisation du stockage)

3.5.1 Cas du maintien des produits au fond

Préconisations pour la fermeture des puits

Pour allonger la durée de l'ennoyage de la mine et diminuer les flux potentiellement pollués transitant dans la mine une fois l'équilibre établi en fin de période d'ennoyage, il est préconisé de remblayer les fûts des puits de la mine Amélie avec des cendres volantes, depuis le blocage de la recette la plus haute et son massif filtrant, jusqu'à l'aquifère quaternaire où le remblai est constitué de graviers.

Les chiffres évoqués précédemment correspondent au remblayage des puits Joseph, Else, Amélie 1 et Amélie 2 en cendres volantes sur la plus grande hauteur possible.

Toutefois, les puits Amélie 1 et Amélie 2 peuvent être remblayés suivant la manière conventionnelle aux M.D.P.A. (c'est à dire en remblayant les puits avec des graviers, sauf au niveau des cuvelages étanches où le remblai est constitué de cendres volantes), sans que cela modifie fondamentalement le modèle élaboré sur la base d'un remblayage de ces deux puits comme énoncé au paragraphe précédent, avec des cendres volantes.

L'étude d'un scénario de rupture accidentel d'un bouchon a conduit à proposer un schéma de remblayage ultra-sécuritaire pour les puits Joseph et Else situés en amont du stockage, de façon à rendre encore plus improbable la survenue d'un tel évènement catastrophique.

Ce remblayage diffère du précédent, par la mise en place de serrements en béton, plus épais, ancrés dans les galeries d'accès au puits (recette, puisard), ainsi que par le remblayage de toute la partie basse du puits par des cendres volantes.

La réalisation de lumières dans la paroi maçonnée du puits, entre la recette supérieure et la base du cuvelage étanche, est également recommandée pour permettre aux cendres volantes de fluer derrière la parois du puits et obturer toute circulation d'eau qui s'effectuerait entre le cuvelage et les terrains encaissant.

Préconisations pour le confinement du stockage

Pendant pratiquement toute la durée de l'ennoyage de la mine, le stockage restera pratiquement hors d'eau.

Lors de l'arrivée de l'eau, le stockage ne se sera pas naturellement complètement refermé par les phénomènes de convergence, c'est pourquoi il est proposé d'isoler le stockage par fermeture de ses accès au moyen de serrements réalisés en sel. La figure n° 1.9, Annexe 1 montre l'implantation des différents serrements destinés au confinement du stockage.

Cet isolement a pour but de favoriser pendant la période d'ennoyage de la mine, la circulation de l'eau dans les voies hors déchets et selon les lignes de plus grande pente, et de transformer le stockage en un bloc résistant au passage de l'eau afin de limiter les transferts de polluants, même lorsque l'ensemble de la mine sera noyé.

Ces serrements, au nombre de 12, sont adaptés à la configuration des galeries qu'ils doivent bloquer : 20 mètres pour une galerie simple, 20 à 50 mètres pour une galerie double en fonction de l'espacement entre les passages entre piliers.

Le volume total de sel à mettre en œuvre est compris entre 8 500 et 12 000 m³ à extraire vraisemblablement dans la partie du stockage qui était en cours d'aménagement lors de l'arrêt de l'exploitation, ou encore en créant une voie de cheminement préférentiel entre les puits Else, Joseph et le reste de la mine.

Conséquences des travaux de confinement sur les flux d'eau dans la mine à l'ennoyage et en régime à l'état final

Pendant l'ennoyage de la mine, tant que l'eau n'aura pas atteint la cote du stockage, les débits susceptibles de transiter par le stockage seront nuls car l'eau issue des puits Joseph et Else contournera le stockage.

Pendant l'ennoyage de la partie haute de la mine Amélie, les eaux remontant du fond de la mine vont transiter dans le stockage avec un volume estimé au maximum à 20 m³/an.

Une fois l'équilibre atteint, les flux d'eau transitant par le stockage sont estimés au maximum entre 1 et 5 m³/an selon que l'on considère la mine Amélie comme un système isolé, ou l'ensemble du bassin de Wittelsheim.

3.5.2 Cas du déstockage des produits hors bloc 15

Préconisations pour la fermeture des puits

Dans le cas du déstockage des produits, hors bloc 15, les puits de la mine Amélie peuvent être remblayés de manière similaire aux puits du bassin de Wittelsheim, sans mettre de cendres volantes sur toute la hauteur du fût, mais constituer uniquement des bouchons de part et d'autre de la base des cuvelages étanches, et au niveau de la nappe des alluvions quaternaires.

Préconisations pour le confinement du bloc 15

Le confinement du bloc 15 concerne principalement la protection immédiate des travailleurs pendant les opérations de déstockage. Ce confinement est réalisé par construction de murs en béton, épais de 2 mètres, installés aux entrées des allées du bloc, côté entrée et sortie d'air. Un tel mur réalise une bonne étanchéité aux gaz à court terme.

Pour le long terme, la nécessité d'un confinement n'est pas prouvée mais celui-ci sera complété par le doublage des murs en béton par des bouchons en sel de 5 mètres d'épaisseur, capables de garantir une meilleure étanchéité à l'eau (saumure saturée).

La figure n° 1.10, Annexe 1 donne l'implantation des serremments de béton et de sel pour isoler le bloc 15 en cas de déstockage des autres déchets du stockage.

Conséquences sur les flux d'eau

En cas de déstockage, si tous les puits sont remblayés de façon classique, les flux à l'équilibre seront légèrement augmentés de 195 m³/an à 410 m³/an si l'on considère le bassin de Wittelsheim et de 10 m³/an à 44 m³/an si l'on considère la mine Amélie isolée.

3.6 Conclusions

3.6.1 Contexte général

Le stockage de StocaMine a été implanté dans la mine Amélie, au sein de formations salifères très épaisses isolées du milieu extérieur par des formations imperméables.

Le Stockage a été creusé 23 à 25 mètres en dessous de l'exploitation des couches de potasse. Cette exploitation, réalisée à grande profondeur, n'a pas d'autre incidence en surface qu'un léger affaissement de type souple, aucune fissuration n'étant susceptible de remonter au delà d'une centaine de mètres au dessus du stockage.

Le stockage, et les produits qu'il contiendrait en cas de maintien des déchets au fond ne présente un risque d'émission de polluants que par lixiviation et transport par l'eau.

Le seul vecteur d'eau dans la mine est constitué par les 15 puits dont 11 sont déjà remblayés. L'eau qui va percoler au travers des remblais des puits est susceptible d'envoyer la mine. Il a été considéré deux hypothèses, celle que la mine Amélie constitue un système isolé, et celle, la plus vraisemblable, qui considère que la Mine Amélie communique avec les mines voisines qui constituent le bassin de Wittelsheim.

Ennoyage de la mine

L'ennoyage du bassin de Wittelsheim se fait par infiltration d'eau dans les remblais des puits, avec un débit qui a été estimé au maximum à 1800 m³/mois.

Durée de l'ennoyage

Pour une porosité initiale de 5 %, l'ennoyage du bassin de Wittelsheim va se poursuivre sur une durée d'environ 500 ans, le stockage se noyant progressivement au bout d'environ 400 ans. Cet ennoyage se fait progressivement, depuis les parties basses du bassin au Nord, vers le Sud, le stockage se trouvant à proximité des parties hautes.

Equilibre final

Une fois la mine pleine, il peut s'établir un régime de circulation de l'eau dans la mine, selon un scénario basé sur des hypothèses défavorables, mais cependant plausibles, avec un débit maximal de l'ordre de 195 à 260 m³/an selon que les puits Amélie 1 et 2 sont remblayés avec des bouchons de cendres très épais ou conventionnels.

Ces considérations ont conduit à préconiser un confinement de la zone de stockage par fermeture des voies d'accès, afin de limiter les possibilités de lixiviation des déchets contenus.

3.6.2 Evaluation des flux dans la mine : fonctionnement du système

Le stockage de StocaMine constitue un réservoir de polluants pour lesquels on souhaite, en cas de maintien au fond, limiter la mobilité et la diffusion vers la surface. L'évaluation des flux maximum de remplissage et de transit servent de base à l'étude réalisée par BMG.

Phase de remplissage de la mine

L'eau rentre dans le bassin de Wittelsheim par le biais des 15 puits. Seuls les puits Joseph et Else apportent des eaux susceptibles de transiter par le stockage.

De par sa position topographique, le stockage n'est que très faiblement noyé lors de la phase d'ennoyage de la mine. Les travaux de confinement empêchent par ailleurs, pratiquement toute circulation d'eau par le stockage.

L'ennoyage de la mine progresse du Nord vers le Sud. L'eau qui remonte finit par atteindre la base du stockage et l'ennoeie progressivement. Le peu d'eau qui arrive à circuler dans le stockage le fait en remontant vers la partie haute de la mine, au Sud, et diffuse les contaminants éventuellement lixiviés dans cette partie haute de la mine Amélie. Parallèlement, il se forme une poche d'air au Sud, à peu près au niveau de la cote -180 mètres N.G.F..

Equilibre final

Juste à la fin du remplissage de la mine, la situation dans l'ensemble du bassin est la suivante :

- Les mines du Nord du bassin et la partie basse de la mine Amélie sont envahies par de la saumure pratiquement exempte de polluants issus du stockage, celui-ci étant resté exondé durant l'ennoyage et ayant été confiné.
- Le stockage, bien que confiné, est rempli de saumure qui a réussi à passer par les fissures. Cette saumure a un certain potentiel de dissolution sur les déchets entreposés (lesquels commencent à être encapsulés dans le sel par le phénomène de convergence).
- La partie haute de la mine Amélie contient de la saumure qui peut contenir des polluants lixiviés lors de la traversée du stockage au moment de la remontée des eaux (lequel est confiné, ce qui limite beaucoup les flux susceptibles de le traverser). Cette saumure diffuse dans la partie haute de la mine.

Une fois la mine pleine, il peut s'établir du fait de la différence de cote entre les niveaux piézométriques des puits du bassin, et des phénomènes de dilution de saumures dans les puits aval, une circulation entre les puits topographiquement les plus hauts et les puits topographiquement les plus bas. Une toute petite fraction des eaux entrant par les puits Joseph et Else est susceptible, par le biais de fissures, de percoler au travers des déchets. Cette saumure, éventuellement contaminée, va transiter dans la mine pendant une durée de 1 000 ans environ selon un cheminement relativement rectiligne. Cette saumure peut disséminer ses polluants à distance rapprochée de son trajet, puis remonter par les puits exutoires et diffuser dans les aquifères tertiaires et éventuellement quaternaires.

3.6.3 Discussion

L'étude des caractéristiques hydrogéologiques du bassin de Wittelsheim a permis d'établir un schéma de dissémination éventuelle des polluants du stockage en cas de maintien de ces derniers au fond. Ce schéma est appuyé sur des certitudes, mais aussi sur des hypothèses ou des données qui peuvent être sujettes à discussion.

Les éléments les plus probables

Les mines de potasse du bassin de Wittelsheim sont encaissées dans des formations géologiques qui garantissent leur isolement vis à vis des venues d'eau.

Le comportement de ces formations géologiques a été modélisé à l'aide d'un mode de calcul par éléments finis : la formation de fissures survient immédiatement après le foudroyage. La modélisation a été effectuée dans le domaine élastoplastique (la viscosité du sel n'entrant pas en jeu dans le mode de formation des fissures). Les calculs montrent que des fissures pourraient se former jusqu'à au maximum 200 m au dessus du stockage, en restant dans les horizons salifères (les observations au fond n'indiquent pas de remontées de fissures au delà d'une trentaine de mètres). Au-delà, les terrains s'adaptent de manière plastique aux déformations et aucune fissure ne peut se propager jusqu'à la surface. De cette manière, l'air emprisonné dans la partie Sud de la mine restera confiné.

Les ouvrages réalisés dans le sel ou la potasse se referment progressivement sous l'effet de la pression des terrains et de la viscosité du sel, pour aboutir à terme à une fermeture quasi-totale des vides souterrains (cette fermeture est déjà très poussée à échéance de 10 000 ans).

Les nombreux sondages effectués dans le bassin ont tous été refermés et ne constituent plus des voies de communication entre le fond et la surface.

Les puits remblayés constituent les seuls vecteurs d'entrée ou de sortie d'eau de la mine.

Les éléments incertains et leur degré de fiabilité

Perméabilité des cendres volantes

La perméabilité des cendres volantes a été évaluée par l'INERIS à la valeur de $5,8 \cdot 10^{-7}$ m/s.

- Cette valeur semble être pénalisante par rapport aux observations faites lors des remblayages des puits Anna et Fernand, où aucune venue d'eau à la base de ces puits n'a été constatée durant la période d'observation d'environ deux années.
- En cas d'autocolmatage des cendres volantes, ou de recristallisation de sel ou de potasse, leur perméabilité pourrait descendre en-dessous de $1 \cdot 10^{-8}$ m/s. Or en deçà de cette limite, l'application de la loi de Darcy devient théorique, car en pratique il n'y a plus assez de place entre les grains pour laisser circuler librement l'eau gravitaire. Toute l'eau est piégée sous forme d'eau de rétention (eau adsorbée et eau pelliculaire).

Confinement du stockage

Les circulations d'eau au contact des déchets ont été évaluées sur la base de la présence de fissures permettant une circulation de l'eau dans le stockage confiné. Cette hypothèse permet de faire des quantifications indispensables à l'élaboration d'un scénario.

Dans la pratique, il est vraisemblable d'envisager que cette eau cheminera presque exclusivement dans les voies où elle ne rencontrera pas de résistance. Il est vraisemblable que l'eau ne circule pratiquement pas dans le stockage confiné.

En revanche, le confinement du stockage peut être remis en cause par des phénomènes d'effondrement localisé qui le mettraient en contact avec des infrastructures sus-jacentes.

Etablissement d'une circulation d'eau dans la mine

Pour pouvoir circuler dans la mine, à l'équilibre, une condition est nécessaire pour amorcer la circulation de l'eau. Les eaux des aquifères tertiaires recoupés doivent pouvoir diluer la saumure remontée dans ou au contact des puits à la suite de l'installation de l'équilibre hydrostatique. Les calculs ont été conduits en considérant que la saumure saturée issue du bouchon de cendres volantes serait diluée d'au moins un facteur 20. Ce flux de saumure diluée **se répartirait pour moitié entre le Stampien et la nappe alluviale.**

Tant que les cuvelages feront leur office, et sous réserve que les aquifères recoupés aient une circulation effective, l'interface saumure / eau douce restera tranché et aucune circulation ne pourra s'établir. La très faible perméabilité des cendres volantes limitera également beaucoup ce phénomène qui peut également se produire à l'extérieur des cuvelages des puits.

L'établissement d'une circulation d'eau entre les puits amont et les puits aval n'est donc pas certain, et, s'il se produit, le phénomène « d'amorçage » du système peut s'avérer très long, et être bloqué par les phénomènes de fermeture de la mine avant d'avoir pu s'établir.

3.6.4 Validité du modèle

Le modèle réalisé, d'intrusion et de circulation d'eau dans les mines du bassin de Wittelsheim, peut être considéré comme sécuritaire vis à vis des risques de remontée de saumure et de polluants en cas de maintien des déchets dans le stockage : les hypothèses prises sont les plus pénalisantes dans le domaine des scénarios possibles.

La probabilité de voir remonter vers la surface ces eaux salées et potentiellement chargées en polluants (dont les concentrations sont évaluées dans l'étude BMG) apparaît comme très faible ; le phénomène surviendra à échéance très longue alors que les prévisions que l'on pourra faire ne seront plus fiables, notamment en raison de la fermeture progressive des vides miniers sous le poids de la forte épaisseur des terrains de couverture.

3.7 Résumé des hypothèses prises en compte

Contexte général	
Géologie	Stockage implanté dans des horizons salifères très épais, surmontés par une couverture imperméable.
Tectonique	Compartimentage du bassin ayant conduit à l'individualisation de deux bassins d'exploitation distincts, Wittelsheim et Wittenheim-Ensisheim ne communiquant pas entre eux. Risques liés au diapirisme ou aux séismes négligeables pour la sécurité des travaux miniers souterrains.
Hydrogéologie	Aquifère quaternaire important. Aquifères tertiaires dans les formations du Stampien. Aquifères artésiens dans le socle sous jacent.
Voies de pénétration de l'eau dans la mine.	Aucune voie naturelle, notamment par le biais de failles. Sondages de recherches correctement obturés dès l'origine Seuls les puits remblayés constituent des voies de pénétration de l'eau dans la mine



INSTITUT DE SÉCURITÉ

Hypothèses et estimations	
Puits	<p>Puits Joseph, Else, Amélie 1 et 2 remblayés intégralement par des cendres volantes de perméabilité $K = 5,8 \cdot 10^{-7}$ m/s.</p> <p>Après étude, il est envisageable de remblayer Amélie 1 et 2 de manière conventionnelle aux MDPA</p> <p>Pour les autres puits, prise en compte de leur remblayage effectif</p>
Volumes de vides résiduels dans la mine	<p>2 cas ont été pris en compte : mine Amélie isolée et mines du bassin de Wittelsheim communicantes : cette dernière situation est la plus probable.</p> <p>Vides résiduels dans les zones foudroyées calculés pour 2%, 5% et 8% du volume de vides initial lors de l'exploitation. La valeur de 5% est la plus probable.</p> <p>Vides résiduels dans les galeries de desserte considéré pour les galeries situées au dessus de 650 mètres de profondeur, et à échéance de 500 ans.</p>
Durée d'ennoyage de la mine	<p>Les entrées d'eau sont calculées par infiltration dans les remblais des puits, selon leur mode de remblayage déjà défini.</p> <p>Durée la plus probable : 400 ans pour atteindre le stockage, 500 ans pour noyer l'ensemble du bassin de Wittelsheim</p>
Equilibre du système	<p>L'établissement d'une circulation d'eau entre les puits les plus hauts du bassin et les plus bas n'est pas certain, mais est possible.</p> <p>Condition : dilution et entraînement des saumures dans ou à l'extrados des fûts des puits aval par les eaux des aquifères tertiaires.</p> <p>Probabilité d'occurrence : faible</p> <p>Débit maximum attendu : 195 m³/an</p>


INSTITUT DE SÉCURITÉ

Scénarios acciden- tels	
Rupture bouchon puits amont du stockage	Augmentation des débits d'entrée d'eau pendant la phase d'ennoyage. En équilibre final, débit de transit dans la mine contrôlé par le débit possible dans les puits aval (1200 m ³ /an). Parade : remblayage « ultrasécuritaire » des puits Joseph et Else. Probabilité d'occurrence : faible, pratiquement nulle une fois la mine ennoyée
Rupture bouchon puits aval du stockage	Ce puits devient vraisemblablement l'exutoire unique de la mine. débit de fuite contrôlé par le débit d'entrée entre 300 et 700 m ³ /an)
Forage dans aquifère artésien	Forage ancien : probabilité quasi-nulle Nouveau forage : intrusion brutale d'eau chaude et salée dans la mine. Parade : institution d'une servitude au droit du stockage ; contrôle des forages au dessus du bassin potassique.
Forage dans le stock- age	Risque de dégazage brutal de la mine avec remontée de saumure potentiellement contaminée. Parade : institution d'une servitude au droit du stockage
Altération d'étanchéité TB T	Cet ancien travers banc a été le siège d'une venue d'eau accidentelle il y a 70 ans. Il est à l'aval du stockage ; il peut mettre directement en contact les saumures de la mine avec les eaux des aquifères tertiaires (débit possible à l'équilibre 1000 m ³ /an). Probabilité d'occurrence : faible
Failles naturelles ou fissures dues à l'exploitation	Non susceptibles de pouvoir occasionner des entrées d'eau dans la mine en raison de l'amortissement dans les terrains marneux ou dans le sel
Séismes	Mouvements très faibles en profondeur, non susceptibles, dans ces terrains marneux et salifères, de créer des fractures importantes susceptibles de provoquer des entrées d'eau.
Préconisations	
<i>Hypothèse</i>	Maintien de l'ensemble des déchets au fond
Remblayage des puits	Joseph et Else : blocage plus important de la base du cuvelage Joseph et Else : remblayage en totalité avec des cendres volantes.
Stockage	Etablissement de serrements dans les voies d'accès au stockage
Bloc 15	Etablissement de serrements en béton dans les allées d'accès au stockage (prévention à court terme pour la sécurité des travailleurs)
<i>Hypothèse</i>	Déstockage des déchets, hors bloc 15
Remblayage des puits	Aucune préconisation ; remblayage « traditionnel » MDPA
Stockage	Aucune préconisation
Bloc 15	Doublement des serrements béton par des serrements en sel

4. Description du déroulement technique des variantes évaluées

Le présent chapitre décrit le déroulement technique et les options de réalisation pour la variante d'exercice de la réversibilité et la variante de confinement définitif des déchets au fond de la mine. Sur la base des conditions-cadres techniques, logistiques et réglementaires, le déroulement des deux variantes est décrit. La faisabilité technique, les ressources en personnel et la durée de réalisation sont estimées. Ce chapitre forme l'une des bases pour la comparaison des deux variantes (chapitre 7).

Indépendamment de la variante considérée, l'entretien des installations minières et la surveillance du stockage devront être maintenus jusqu'à la fermeture définitive des puits. Les barrages souples actuellement en place garantiront le confinement provisoire des blocs jusqu'au démarrage des travaux d'exercice de la réversibilité ou de confinement définitif des déchets. La mise en place de murs en béton ou en briques ne semble pas judicieuse pour les raisons suivantes :

- l'expérience de l'exploitant démontre que l'étanchéité à court terme de tels barrages est inférieure ou égale à celle des barrages souples employés actuellement;
- la mise en place de murs en dur compliquerait notablement la surveillance de l'air et des déchets jusqu'au début des travaux (de déstockage ou de confinement);
- en cas de confinement définitif des déchets, les murs seront écrasés et n'amélioreront pas le confinement des déchets;
- les murs devront être démontés en cas d'exercice de la réversibilité.

4.1 Variante d'exercice de la réversibilité

Les opérations d'exercice de la réversibilité correspondent, dans l'ordre inverse, à celles réalisées lors du stockage des déchets. Le déroulement des opérations est présenté schématiquement à la figure 4.1.

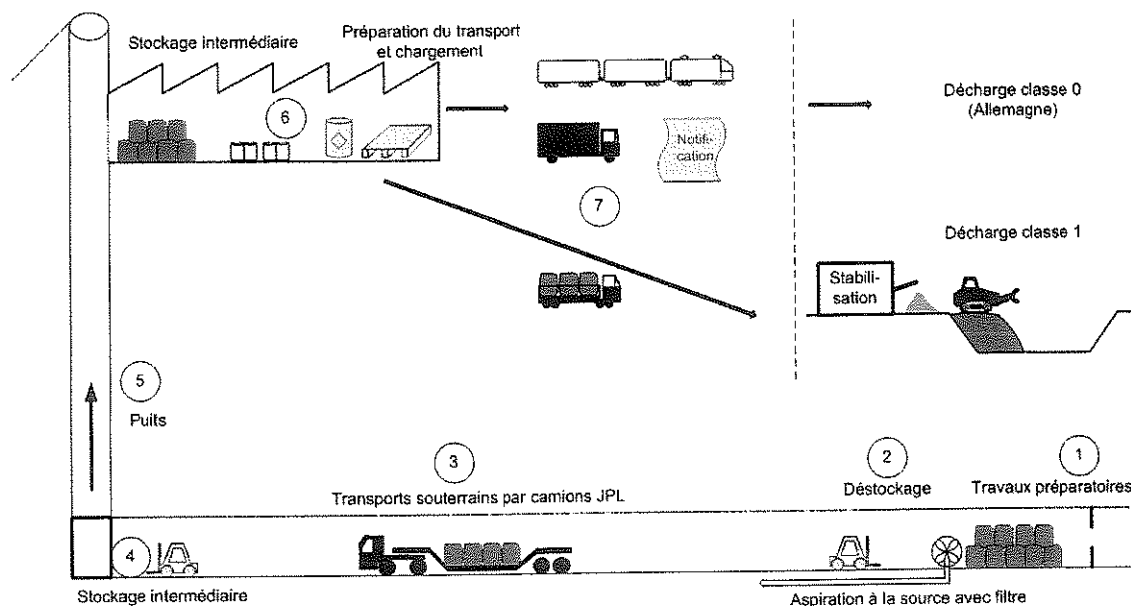


Fig. 4.1 : Déroulement de la variante d'exercice de la réversibilité

L'ensemble des opérations d'exercice de la réversibilité est conditionné par les possibilités de valorisation et d'élimination des déchets, c.-à-d. par la dernière étape des opérations. Ces possibilités sont discutées au paragraphe 4.1.1. Les conditions-cadres spécifiques au site de Wittelsheim sont présentées au paragraphe 4.1.2.

4.1.1 Possibilités de valorisation des déchets

Les déchets stockés par Stocamine sont considérés comme "ultimes" au sens du code de l'environnement, c.-à-d. qu'ils ne sont pas susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques du moment. Afin de réaliser un point sur l'évolution des techniques alternatives, un audit a été mené en 2003 par l'INERIS. Cet audit conclut qu'il n'existe actuellement pas de technologie susceptible de traiter à l'échelle industrielle et à des coûts économiquement supportables les déchets stockés. En conséquence, après un déstockage, les déchets devraient être restockés dans une ou plusieurs décharges.

4.1.1.1 Catégories de déchets

Les critères d'admission dans les différents types de décharges de l'Union Européenne (UE) sont définis dans la "Décision du conseil du 19 décembre 2002 établissant des critères et procédures d'admission des déchets dans les décharges" (2003/33/CE). Les paramètres et les seuils d'admission des déchets dans les décharges (de surface) pour déchets dangereux correspondent à ceux définis pour la France dans l'arrêté du 30 décembre 2002 pour les Centres d'Enfouissement Technique de classe 1 (CET 1).

Stocamine a procédé à une *classification préliminaire* des déchets entre la classe 0 (déchets destinés au stockage souterrain) et la classe 1 (déchets pouvant être éliminés en CET 1). Les déchets chromiques (cat. C4, 428 t stockées), les déchets de galvanisation (cat. C8, 642 t), les résidus d'incinération (cat. E9, 20 713 t) et les déchets amiantés (cat. E13, 3 797 t) sont considérés comme des déchets de classe 1. Le reste des déchets fait partie de la classe 0.

Les CET 1 sont équipés pour procéder à la stabilisation des résidus d'incinération et leur prise en charge n'est donc pas problématique. De même, les déchets amiantés peuvent être stockés en CET 1. En revanche, avant un éventuel stockage des déchets chromiques et des déchets de galvanisation en décharge de classe 1, il serait nécessaire de procéder à des tests de lixiviation pour chaque type de déchets. Vu les quantités relativement réduites des déchets concernés, la réalisation de tels tests et le tri de ces déchets entre classe 0 et classe 1 n'est, à notre point de vue, pas judicieuse. Pour la suite des évaluations, il est admis que les déchets chromiques et les déchets de galvanisation soient traités comme des déchets de la classe 0.

La quantité totale de déchets pouvant être éliminés en décharge de classe 1 en cas d'exercice de la réversibilité est donc de 24 510 t. Même si le stockage de déchets de classe 1 en décharge souterraine est en principe possible, cette solution n'est pas considérée dans le présent document.

Les autres déchets (19 276 t) devront obligatoirement être éliminés en décharge souterraine en cas d'exercice de la réversibilité. Comme un tel stockage souterrain n'a été réalisé en France que sur le site de Stocamine, les déchets de classe 0 devront en cas d'exercice de la réversibilité être exportés en Allemagne. Les critères d'admission des mines de sel allemandes accueillant des déchets de classe 0 sont discutés ci-dessous, sur la base des critères appliqués, à titre d'exemple, par Kali & Salz pour le stockage souterrain de Herfa-Neurode.

4.1.1.2 Critères d'acceptation dans les mines allemandes

Les déchets exclus sont les suivants :

- déchets explosifs,
- déchets pouvant s'enflammer spontanément,
- déchets inflammables,
- déchets pouvant former des gaz dans les conditions de stockage,
- déchets présentant une odeur pénétrante,
- déchets liquides,
- déchets réagissant avec le sel et formant des substances nocives,
- déchets volumétriquement instables,
- déchets radioactifs,
- déchets pathogènes.

A l'exception du critère d'odeur (pouvant être respecté au moyen d'un emballage adéquat), ces critères d'exclusion correspondent à ceux appliqués par Stocamine. En conséquence, les seules limitations à prendre en compte concernent l'emballage des déchets.

Comme ceci était le cas pour Stocamine, les mines allemandes acceptent les déchets en big-bags, en conteneurs métalliques ou en fûts, lesquels doivent être placés sur des palettes en bois. Sur la base des premières évaluations menées auprès de Kali & Salz, il apparaît que dans la mesure où l'emballage est intact, les déchets, tels que conditionnés dans le stockage de Stocamine, pourraient être restockés en mine(s) allemande(s). Cet état de fait est confirmé par TREDI qui utilise les mêmes emballages pour les déchets stockés en Allemagne que pour ceux stockés antérieurement à Wittelsheim.

Avant l'expédition des déchets vers l'Allemagne, il sera nécessaire de masquer le marquage actuel. Les déchets devront être étiquetés conformément aux exigences pour le transport et l'élimination. En cas d'exercice de la réversibilité, des contacts devront être pris avec les repreneurs de déchets afin de fixer définitivement les conditions de prise en charge.

4.1.2 Conditions-cadres pour l'exercice de la réversibilité

Outre les exigences des repreneurs de déchets, le cadre réglementaire, les exigences de sécurité, l'infrastructure et le personnel disponibles sur le site conditionnent les opérations d'exercice de la réversibilité.

4.1.2.1 Cadre réglementaire

L'arrêté préfectoral du 3 février 1997 fixe les conditions du stockage (et d'un déstockage) des déchets. En cas d'exercice de la réversibilité, il faudra en particulier tenir compte des limitations suivantes :

- seul le puits Joseph peut-être utilisé pour le transport de déchets; l'équipement et l'utilisation d'un autre puits devraient faire l'objet d'une nouvelle autorisation;
- la durée du stockage intermédiaire des déchets au jour (dans la halle de manutention à proximité du puits Joseph) est limitée à 48 h;
- des installations de reconditionnement ne sont pas prévues dans l'arrêté préfectoral et devraient faire l'objet d'une nouvelle autorisation;
- l'autorisation pour les véhicules servant au transport souterrain du sel échoit en 2004.

Les mouvements transfrontaliers de déchets sont réglementés par la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination. Cet accord est concrétisé dans l'UE par le Règlement CEE 259/93 sur les transferts transfrontaliers de déchets. Une procédure de notification est nécessaire à l'obtention des autorisations d'exportation.

Le transport des déchets vers l'Allemagne par rail ou par route est soumis aux prescriptions RID (Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses) et ADR (Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route). Le transport des déchets est soumis en France aux exigences du Règlement pour le transport des matières dangereuses par chemins de fer, par voies de terre et par voies de navigation intérieure (RTMD).

4.1.2.2 Exigences de santé et sécurité

La sécurité du personnel intervenant doit être garantie. Les contraintes suivantes doivent en particulier être considérées en cas d'exercice de la réversibilité (voir aussi chapitre 6) :

- l'équipement utilisé au fond doit être anti-déflagrant;
- le port d'un équipement de protection individuelle adéquat sera nécessaire durant les travaux;
- le déroulement des travaux doit être planifié de telle manière qu'un aérage suffisant puisse être garanti;
- afin de limiter les conséquences en cas d'épandage accidentel de déchets, la mise en place d'un système d'aspiration à la source, en sus du système d'aérage existant, est recommandée; le concept de mise en œuvre du système d'aspiration est présenté à l'annexe 2;
- suite aux risques miniers et sanitaires, il n'est plus possible d'accéder au bloc 15; les déchets de ce bloc demeureront donc dans tous les cas dans la mine (voir paragraphe 4.3).

4.1.2.3 Infrastructure disponible

Le parc de machines dont disposent MDPA et Stocamine n'est suffisant que pour procéder à l'exercice de la réversibilité sur un seul emplacement à la fois. Pour l'exercice de la réversibilité en parallèle sur plusieurs emplacements, de nouveaux engins devraient être acquis ou des engins existants adaptés (ce qui impliquerait des délais supplémentaires).

Seul le puits Joseph est actuellement équipé pour le transport de déchets. Il est possible de transporter environ 120 colis par jour par ce puits. Pour augmenter le rythme de la remontée des déchets, il serait envisageable d'équiper un second puits. Ce puits pourrait alors permettre la remontée d'environ 60 colis supplémentaires par jour. L'obtention des autorisations, l'équipement du puits et la mise en place des installations de manutention au jour et impliqueraient cependant un délai supplémentaire.

La capacité d'un stockage intermédiaire au fond, avant la remontée des déchets, est limitée à environ 100 colis. La place disponible dans les installations de surface permet le stockage d'environ 120 colis. Les capacités de stockage intermédiaire sont donc très limitées. L'exercice de la réversibilité devrait se faire quasiment en flux tendu. La logistique des opérations de déstockage est donc complexe, malgré le fait que l'exploitant connaisse précisément l'emplacement de chacun des déchets dans la mine.

4.1.2.4 Autres contraintes

Il n'y a plus de personnel minier qualifié disponible aux MDPA partir du milieu de l'année 2007.

Le personnel disponible d'ici là est trop restreint pour déstocker les déchets en parallèle sur plusieurs emplacements.

4.1.3 Description des différentes phases de l'exercice de la réversibilité

Sur la base des contraintes présentées ci-dessus, les opérations pourraient se dérouler selon les phases décrites à la figure 4.2 (page suivante, voir aussi figure 4.1).

Les principales opérations des différentes phases sont brièvement décrites ci-dessous. Le besoin en temps et en personnel pour chacune des opérations est estimé sur la base de l'expérience acquise par Stocamine lors du déstockage (partiel) de déchets du bloc 11. *Vu les mesures de sécurité supplémentaires proposées au chapitre 6, le rythme des travaux de déstockage pourrait être inférieur aux estimations présentées ci-dessous.*

4.1.3.1 Travaux préparatoires (phase 1)

Avant de pouvoir démarrer les opérations d'exercice de la réversibilité, différents travaux préparatoires de nature administrative et technique devront être réalisés.

Travaux administratifs :

- obtention des autorisations nécessaires;
- définition des repreneurs potentiels;
- planification détaillée du déroulement et de la logistique des opérations de déstockage;
- appel d'offres et adjudication;
- procédure de notification pour les déchets de classe 0;
- définition, en collaboration avec les repreneurs, des déchets des conditions de transport et de prise en charge (wagons et/ou camions, emballages, palettes, étiquetage des déchets, etc.).

Travaux techniques :

- préparation/sécurisation des aspects miniers;
- préparation des accès et du chantier (éclairage, aérage, etc);
- installation d'un système d'aspiration à la source (voir le concept de mise en œuvre à l'annexe 2);
- confinement du bloc 15 avec des serrements en béton (voir paragraphe 4.3).

Pour les travaux préparatoires, y compris l'obtention des autorisations, il faut compter avec un délai d'environ une année après la prise de la décision de l'exercice de la réversibilité.

INSTITUT DE SÉCURITÉ

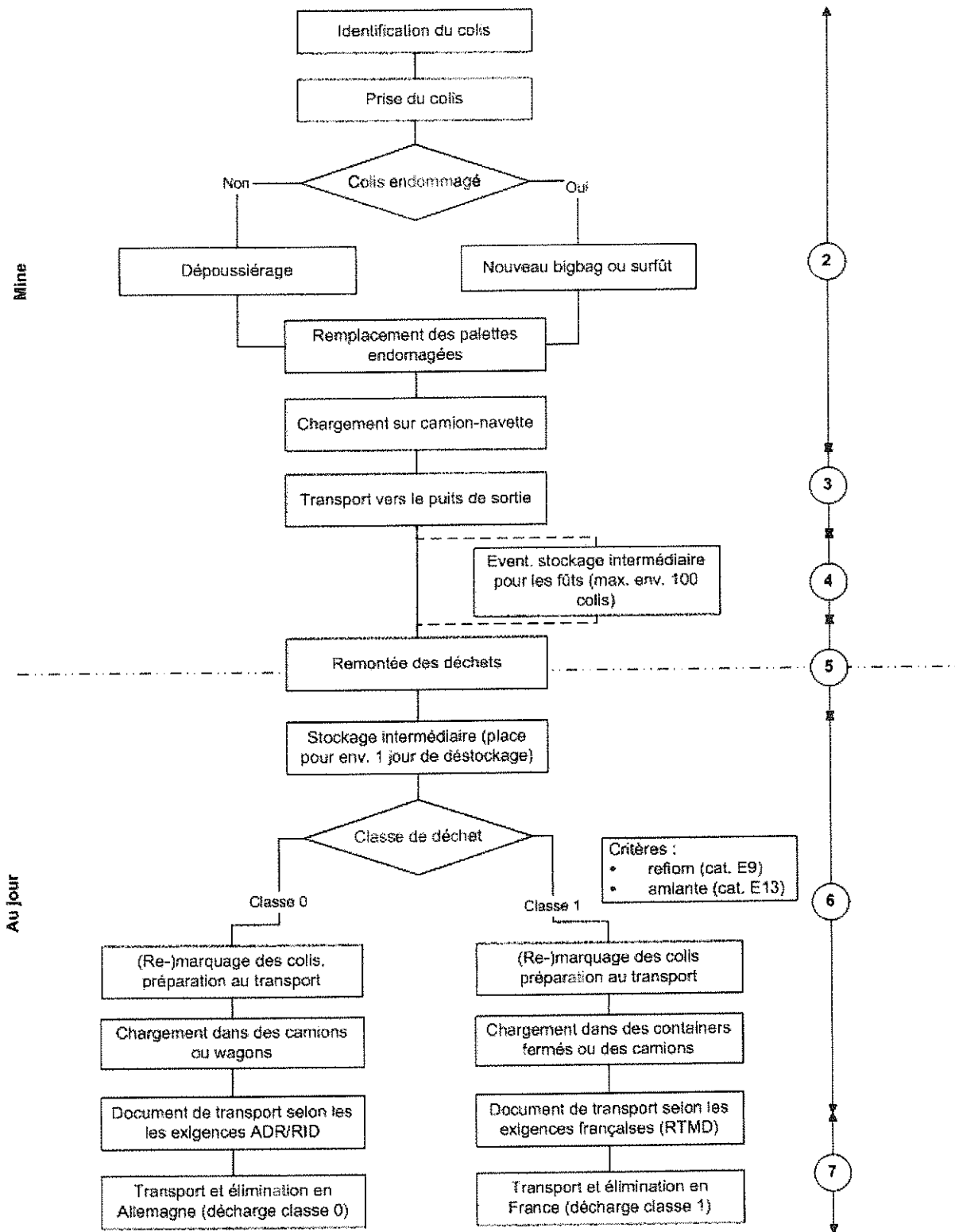


Fig. 4.2 : Phases pour l'exercice de la réversibilité

4.1.3.2 Déstockage (phase 2)

Le déstockage à proprement parler, c.-à-d. la saisie des déchets et leur chargement sur le camion-navette, peut être divisé de la manière suivante :

- identification des colis et des types de déchets (dans la mesure où le marquage des déchets est placé sur le côté correspondant au front de déstockage);
- contrôle de l'état des colis;
- si le colis est endommagé ou instable, prise des mesures adaptées pour la protection du personnel (voir chapitre 6);
- saisie des colis avec un chariot élévateur en utilisant la palette en bois et/ou les oreilles des big-bags;
- réensachage des big-bags endommagés (environ 10% des big-bags selon l'expérience du bloc 11);
- placement des fûts endommagés dans des surfûts;
- marquage provisoire des colis ayant été réemballés;
- remplacement des palettes endommagées (environ 30% des palettes selon l'expérience du bloc 11);
- si nécessaire, dépoussiérage de l'emballage;
- chargement sur le camion-navette.

Pour réaliser ces opérations, environ 5 personnes doivent être présentes par emplacement de déstockage. Il est possible de déstocker environ 40 colis par poste de 7h de travail.

4.1.3.3 Transports souterrains (phase 3)

Les déchets chargés sur le camion-navette devront ensuite être transportés en direction du puits par lequel ils seront remontés. Si nécessaire (voir ci-dessous), les déchets pourront être stockés de manière intermédiaire à proximité du puits.

Le transport de déchets requiert deux personnes par poste. Il est possible de transporter environ 40 colis par poste de 7h de travail.

4.1.3.4 Stockage intermédiaire souterrain (phase 4)

Pour éviter la corrosion, les déchets en fûts doivent être évacués le plus rapidement possible après leur sortie de la mine. Afin de garantir que suffisamment de colis soient disponibles pour le chargement d'un wagon ou d'un camion, un stockage souterrain intermédiaire des déchets en fûts peut s'avérer nécessaire. La place disponible est suffisante pour une centaine de colis.

Le stockage intermédiaire sera géré par le même personnel que celui assurant le transport dans la mine et la remontée par les puits.

4.1.3.5 Transports au jour (phase 5)

Comme indiqué précédemment, seul le puits Joseph est actuellement équipé pour le transport de déchets. Le transport au jour des déchets requiert la présence de trois personnes par poste. Il est possible de transporter environ 120 colis par jour par le puits Joseph.

En équipant un second puits, il serait possible de remonter environ 60 colis supplémentaires par jour en doublant les effectifs.

4.1.3.6 Stockage intermédiaire au jour et chargement (phase 6)

La place disponible dans les installations de surface correspond environ à la quantité de déchets pouvant être déstockés en 24h. Les opérations suivantes devront donc être réalisées quasiment en flux tendu :

- remplacement des palettes et éventuellement des big-bags en fonction des exigences du repreneur;
- étiquetage et marquage pour le transport et l'élimination;
- chargement sur wagon ou sur camion.

Ces opérations requièrent la présence de 3 à 4 personnes par poste de 7h.

4.1.3.7 Transport et élimination des déchets (phase 7)

Les déchets de classe 0 devront être transportés en Allemagne par rail ou par route. Les déchets de classe 1 (résidus d'incinération et amiante) seront transportés dans une ou plusieurs décharges de surface en France (CET 1). Le transport et l'élimination se feront sous la responsabilité des entreprises mandatées et ne requièrent pas la participation du personnel de Stocamine.

4.1.3.8 Besoin en personnel et cadence des travaux : synthèse

Le tableau 4.1 (page suivante) résume les cadences de travail et les besoins en personnel pour les étapes 1 à 7, en envisageant l'utilisation d'un ou de deux puits pour la remontée des déchets.

Sur la base de ce tableau, il apparaît que la cadence moyenne de travail serait d'environ 80 colis par jour en travaillant sur un seul emplacement durant 2 postes de 7h. 28 à 30 personnes seraient occupées par ces travaux. Ce dernier chiffre ne comprend pas le personnel administratif ni celui responsable de l'entretien des installations. L'exercice de la réversibilité pour les 70 000 colis actuellement stockés serait réalisable en 3 à 4 ans en utilisant uniquement le puits Joseph. Cette durée correspond approximativement à celle du stockage des déchets.

En doublant les équipes et en utilisant deux puits pour la remontée des déchets, les travaux seraient réalisables en environ 2 ans. Vu que l'équipement d'un second puits impliquerait un délai supplémentaire (voir paragraphe 4.1.2.3) et que le parc de véhicules devrait être complété, l'utilisation de deux puits ne permettrait qu'un gain de temps limité.

Après la fermeture définitive du bloc 15 et l'exercice de la réversibilité pour les déchets des autres blocs, les puits Amélie, Joseph et Else devront être remblayés selon la technique employée couramment et avec succès par MDPA. Pour les opérations de fermeture des puits, il faut compter avec une durée d'environ 1 année.

La durée minimale pour l'exercice de la réversibilité peut donc être estimée à environ 5 ans à partir de la décision administrative.

INSTITUT DE SÉCURITÉ

Tab. 4.1 : Besoins en personnel et cadences de travail pour l'exercice de la réversibilité

Activité et phase	Besoin en personnel	Nombre maximal de colis	Besoin en personnel par jour	Nombre maximal de colis	Besoins en personnel par jour	Nombre maximal de colis
	par poste et par site		Utilisation du puits Joseph			
Déstockage (2)	5	40	10 (2 postes et 1 site)	80 (2 postes et 1 site)	20 (2 postes et 2 sites)	160 (2 postes et 2 sites)
Transports souterrains (3)	2	40	4 (2 postes et 1 site)	80 (2 postes et 1 site)	8 (2 postes et 2 sites)	160 (2 postes et 2 sites)
Stockage souterrain intermédiaire (4)	-	Place pour env. 100 colis	-	Place pour env. 100 colis	-	Place pour env. 200 colis
Transports au jour (5)	3	120 par Joseph 60 par Amélie II	6 (2 postes et 1 site)	120	12	120 + 60 = 180
Stockage intermédiaire et chargement (6)	3 à 4	Place pour env. 120 colis	6 - 8	Place pour env. 120 colis	12 - 16	Place pour env. 200 colis
Élimination des déchets (7)	hors site	hors site	hors site	hors site	hors site	hors site
Total			26 -- 28 personnes	80 colis	52 - 56 personnes	160 colis

4.2 Variante de confinement définitif des déchets

La variante de confinement des déchets dans la mine consiste à isoler de manière définitive les déchets de la biosphère :

- la zone de stockage est à isoler du reste des travaux miniers à l'aide de serrements de sel autour du stockage;
- les travaux miniers sont isolés de la biosphère grâce au remblayage des puits.

4.2.1 Conditions-cadres et contraintes pour le confinement définitif des déchets

4.2.1.1 Cadre réglementaire

Comme défini dans l'arrêté préfectoral du 3 février 1997, le confinement définitif des déchets doit faire l'objet d'une nouvelle autorisation à durée illimitée. Pour les opérations de confinement, il faudra en outre tenir compte du fait que l'autorisation pour les véhicules servant au transport souterrain du sel échoit en 2004.

4.2.1.2 Exigences de santé et sécurité

La sécurité du personnel intervenant doit être garantie. Les contraintes suivantes doivent en particulier être considérées en cas de confinement définitif des déchets (voir aussi chapitre 6) :

- l'équipement utilisé au fond doit être anti-déflagrant;
- le confinement du stockage doit être planifié de telle manière qu'un aérage suffisant puisse être garanti durant toute la durée des travaux;
- l'accès aux zones polluées par les fumées de l'incendie du bloc 15 est soumis à des restrictions suite à la présence de dioxines (voir chapitre 6).

4.2.1.3 Infrastructure disponible

Le parc de machines dont disposent MDPA et Stocamine est adapté à la réalisation des travaux de confinement. Comme mentionné ci-dessus, l'autorisation d'exploitation des véhicules servant au transport du sel échoit en 2004 et devra être renouvelée. Si cette autorisation ne peut être renouvelée, il sera nécessaire d'acquérir de nouveaux véhicules, ce qui impliquerait un délai supplémentaire d'environ 10 mois.

4.2.1.4 Autres contraintes

Comme les travaux à réaliser sont des opérations de type "minier", il est hautement souhaitable que ces travaux puissent être accomplis par du personnel expérimenté. Dans ce contexte, il faut rappeler que les contrats de travail du personnel arriveront à échéance au milieu de l'année 2007.

4.2.2 Description des phases d'un confinement définitif du stockage

Les opérations de fermeture définitive peuvent être divisées selon les phases suivantes :

- i) travaux préparatoires;
- ii) confinement définitif de la zone de stockage;
- iii) remblayage des puits.

4.2.2.1 Travaux préparatoires

Les travaux préparatoires sont, outre les travaux d'entretien des installations, d'ordre administratif (obtention des autorisations nécessaires, commande éventuelle de nouveaux équipements, etc.).

4.2.2.2 Confinement définitif de la zone de stockage

L'objectif des mesures de confinement du stockage est d'isoler ce dernier du reste des travaux miniers.

Comme mentionné précédemment, les blocs demeureront fermés au moyen de barrages souples jusqu'à la prise de décision quant à l'avenir du stockage. En cas de confinement définitif des déchets, la mise en place de serrements au niveau de chacun des blocs n'est, à notre point de vue, pas nécessaire. En revanche, nous proposons d'isoler le secteur du stockage du reste des travaux miniers à l'aide de serrements de forte épaisseur.

Différents matériaux ont été évalués pour ces serrements. Trois types de barrages sont en principe envisageables :

- en dur (béton);
- cendres volantes (comme pour les puits);
- sel.

La mise en place de barrages en dur, par exemple en béton, n'est pas recommandée. Même si ces barrages peuvent être dimensionnés pour avoir une tenue mécanique suffisante, ils représenteront une discontinuité (et donc une source de fissuration). Leur étanchéité à long terme est incertaine.

La mise en place de cendres volantes n'est pas intéressante non plus car il faudrait placer des serrements de béton pour tenir les cendres. La tenue à long terme de ces murs de soutien est incertaine.

La mise en place de serrements de sel représente la meilleure solution puisque que de tels barrages auront un comportement plastique lors de l'écrasement des mines sous le poids des terrains. L'efficacité des serrements dépend beaucoup de leur mise en œuvre (voir rapport technique de MICA).

Comme indiqué dans le rapport technique de MICA, les serrements suivants sont proposés :

- galeries triples : serrement long de 50 mètres (1 serrement nécessaire);
- galeries doubles : serrement long de 30 mètres (8 serrements nécessaires);
- galeries simples : serrement long de 20 mètres (3 serrements nécessaires).

L'emplacement des serrements de sel à mettre en place autour du stockage est rapporté à l'annexe 1.9. Le volume de sel nécessaire est de 8 500 à 12 000 m³. Ce sel pourrait en principe être acheté à l'extérieur et amené sur place. Cependant, l'extraction du sel sur place paraît plus judicieuse aussi bien d'un point de vue économique qu'écologique.

Le sel peut être extrait dans la partie du stockage qui était en cours d'aménagement lors de l'arrêt de l'exploitation. Cette zone d'exploitation est proche des zones d'implantation des serrements et permet d'utiliser les engins diesel disponibles de petite capacité.

Le sel pourrait également être extrait dans une galerie à creuser, dont le tracé pourrait permettre de réaliser une voie hydraulique directe entre la recette du puits Joseph et la mine en aval du stockage. Ce projet est plus éloigné du centre de stockage et ne pourrait se réaliser que si le matériel dont disposent encore MDPA et Stocamine est adapté. Cette galerie assurerait encore un meilleur confinement du stockage par détournement de la plus grande partie des eaux susceptibles d'y transiter.

Les travaux de mise en place des serremments de sel prendraient environ 1 année. Si l'achat d'équipement supplémentaire devait être nécessaire, celui-ci entraînerait un délai supplémentaire d'environ 1 année.

4.2.2.3 Remblayage des puits

Les travaux miniers sont à isoler de la biosphère grâce au remblayage des puits. Ce remblayage en cendres volantes sera effectué selon la méthode appliquée par MDPA pour les autres puits. Cette technique de remblayage a été approuvée par la DRIRE.

Dans le cadre de la présente étude, le concept de fermeture reste inchangé, mais, pour l'adapter au cas particulier de Stocamine, l'épaisseur du bouchon de cendres volantes sera considérablement augmentée pour le remblayage des puits Joseph et Elise afin de réduire au minimum les éventuelles entrées d'eau, à partir de puits situés en amont du stockage.

L'utilisation de cendres volantes sur toute la hauteur des puits Amélie 1 et 2 n'est pas indispensable à la sécurité à long terme du stockage (voir chapitre 5 et rapport BMG sur l'évaluation de risques). Un remblayage "traditionnel" des puits Amélie 1 et 2 est suffisant.

Afin d'éviter un "débouillage" des cendres volantes (c.-à-d. afin d'éviter que les cendres des bouchons ne se déversent dans les mines), la mise en place de barrages en béton d'épaisseur suffisante au niveau des recettes des puits est indispensable. Pour garantir la bonne étanchéité des bouchons de cendres, il faudra en outre permettre le fluage des cendres entre le cuvelage des puits et l'encaissant (voir rapport MICA).

4.2.2.4 Faisabilité et durée des travaux de fermeture : synthèse

Les travaux de fermeture du stockage et des puits sont réalisables en utilisant des techniques maîtrisées par l'exploitant, en tenant compte des aménagements proposés ci-dessus.

Comme la sécurité à long terme du stockage est tributaire de l'efficacité et de la durabilité des serremments de sel et des bouchons des puits, ces ouvrages miniers doivent être planifiés et exécutés avec un soin tout particulier sous la responsabilité de l'exploitant.

La durée totale pour les travaux préparatoires, la mise en place des serremments de sel et la fermeture des puits peut être estimée à environ 2 ans après la décision administrative. En cas de décision rapide (1^{er} semestre 2005), les travaux de fermeture pourraient être réalisés par le personnel expérimenté dont disposent Stocamine et MDPA.

4.3 Cas particulier du bloc 15

Suite aux risques miniers, il n'est plus possible d'accéder au bloc 15; les déchets de ce bloc devront donc dans tous les cas être confinés au fond.

La mise en place de serrements en béton d'environ 2 m d'épaisseur doit permettre de limiter la circulation d'air jusqu'au choix d'une variante (exercice de réversibilité pour les autres blocs ou confinement définitif de l'ensemble des déchets).

En cas d'exercice de la réversibilité pour les déchets stockés dans les autres blocs, la mise en place de 6 serrements de sel autour du bloc 15 permettrait d'assurer le confinement définitif des déchets de ce bloc. L'emplacement des serrements de sel à mettre en place autour du bloc 15 est rapporté à l'annexe 1.10.

En cas de confinement de l'ensemble des déchets, des mesures spécifiques pour le confinement du bloc 15 ne sont pas nécessaires.

5. Evaluation des risques suite au confinement définitif de déchets dans la mine

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

- (i) évaluation des impacts chimiques actuels sur l'environnement;
- (ii) identification des polluants stockés représentant une source potentielle de danger pour l'homme et l'environnement;
- (iii) évaluation toxicologique de ces polluants et définition d'objectifs de protection;
- (iv) modélisation du transport de polluants en direction des biens à protéger;
- (v) quantification de l'exposition des biens à protéger;
- (vi) évaluation d'options de fermeture;
- (vii) évaluation de scénarios accidentels;
- (viii) caractérisation du risque et conclusions.

Le détail des évaluations est présenté dans le rapport technique de BMG "Evaluation des risques suite au confinement définitif de déchets dans la mine – Risques dus aux substances chimiques". Seuls les principaux résultats sont présentés ci-dessous.

5.1 *Evaluation des impacts chimiques actuels sur l'environnement*

L'eau, l'air et les sols aux environs du stockage ont fait l'objet de nombreuses analyses chimiques. Ces analyses ont été réalisées avant le démarrage des opérations de stockage, durant la phase d'exploitation ainsi que pendant et après l'incendie de 2002.

Les analyses des eaux de surface réalisées avant le début de l'exploitation ont mis en évidence des traces d'arsenic (44 µg/L) et de plomb (31 µg/L).

Des traces de plomb (13 µg/L), de cadmium (14 µg/L) et de mercure (3 µg/L) ont été mesurées localement dans les eaux souterraines. Ces substances ne proviennent cependant pas du stockage, puisqu'elles ont été mesurées en amont de ce dernier et/ou avant le début de l'activité de Stocamine. Les substances mesurées proviennent vraisemblablement de l'activité industrielle régionale.

Des traces d'arsenic (de 3 à 5 µg/L, correspondant approximativement à la limite de détection) ont également été mesurées ponctuellement dans les eaux souterraines. Une variation des concentrations, suite à l'activité de Stocamine, n'est pas observable dans la mesure où les analyses réalisées avant le début de stockage avaient une limite de détection relativement élevée (60 µg/L). Il peut cependant être raisonnablement admis que l'arsenic mesuré ne provient pas du stockage mais est d'origine naturelle (c.-à-d. géogène), comme le suggèrent les analyses des eaux de surface et du sol.

A l'exception d'un échantillon prélevé avant le début du stockage, toutes les teneurs en métaux lourds dans le sol étaient inférieures aux valeurs de constat d'impact (VCI) pour un usage sensible. Il est à noter que la teneur géogène du sol en arsenic est relativement éle-

vée (jusqu'à 35 mg/kg, teneur mesurée avant le début de l'activité de stockage). Les mesures réalisées après l'incendie n'ont pas mis en évidence d'impact sur les sols.

Les seuls impacts du stockage sur l'air furent des rejets durant l'incendie de 2002. Les mesures des rejets d'air de 2003 et 2004 ne montrent en revanche aucune augmentation des émissions par rapport à la situation avant le début du stockage.

En conclusion, à l'exception des rejets durant l'incendie (mais plus à l'heure actuelle), aucun impact du stockage sur l'environnement n'a été mis en évidence.

5.2 Identification des polluants stockés représentant une source potentielle de danger pour l'homme et l'environnement

Le contenu du stockage est documenté de manière détaillée par l'exploitant. Pour chaque type de déchets, les fiches de déclaration des clients et les analyses réalisées par Stocamine ont été systématiquement évaluées. Afin d'identifier les polluants prioritaires, c.-à-d. les substances représentant le danger potentiel le plus important pour l'homme et l'environnement, les critères suivants ont été appliqués :

- quantités stockées,
- mobilité des substances considérées,
- toxicité des substances et
- persistance dans l'environnement.

En outre, les polluants prioritaires ont été choisis de manière que les différentes catégories de substances soient représentées :

- Parmi les métaux, le *chrome*, l'*arsenic* et le *mercure* ainsi que, dans une moindre mesure le *cadmium* et le *plomb* sont les polluants prioritaires.
- Parmi les sels, les *cyanures* sont, d'autant par leur quantité que par leur mobilité, à considérer comme substances prioritaires. Les cyanures sont cependant biodégradables.
- La fraction de polluants organiques dans les déchets représente moins de 1% de la masse stockée. Les polluants organiques peuvent être considérés comme secondaires. Par souci d'exhaustivité, les *dioxines* et les *PCB* ont été pris en compte pour la suite des évaluations.

5.3 Evaluation toxicologique des polluants et objectifs de protection

En cas de dissémination de polluants selon les cheminements exposés au paragraphe 5.4, les biens à protéger potentiellement exposés sont la nappe phréatique et les eaux de surface drainant la nappe. Des objectifs de protection, respectivement des valeurs d'immissions tolérables, ont été établis pour un éventuel captage d'eau potable et pour la Thur. Les critères suivants ont été appliqués :

- exigences réglementaires actuelles pour l'eau potable;
- "bruit de fond", c.-à-d. état actuel de la pollution;
- seuils pour une toxicité chronique.

Pour l'établissement du seuil de toxicité chronique, la concentration, en dessous de laquelle aucun effet inacceptable sur la santé n'est à attendre, a été établie, en partant de l'hypothèse

qu'un individu consomme pendant 70 ans l'eau d'un captage de la nappe. Afin d'évaluer les risques éventuels pour l'environnement aquatique, les concentrations en dessous desquelles aucun effet sur l'environnement n'est à prévoir (valeurs PNEC, Predicted No Effect Concentration) ont été compilées pour les polluants prioritaires.

Les objectifs de protection établis sont présentés ci-dessous et comparés avec la masse totale de polluants dans le stockage.

Tableau 5.1 : Masse de polluants dans le stockage et objectifs de protection

Polluants	Masse (t) Stockage	Objectifs de protection (µg/L)	
		Captages	Eaux de surface
Arsenic	2566	10 (norme réglementaire)	4-40 (PNEC - bruit de fond)
Cadmium	138	5 (norme réglementaire)	0.2-4 (PNEC - bruit de fond)
Chrome et Cr(VI)	103	50 (norme réglementaire)	4 (PNEC)
Mercuré	47	1 (norme réglementaire)	0.2-3 (PNEC - bruit de fond)
Plomb	237	10 (norme réglementaire)	5-30 (PNEC - bruit de fond)
Cyanures	159	50 (norme réglementaire)	0.5 (PNEC)
PCB	0.25	0.2 (toxicité)	(la pollution potentielle par le biais de la mine est négligeable par rapport aux autres sources de pollution)
Dioxines	4.1E-04	2.0E-06 (toxicité)	

Les objectifs de protection pour un captage d'eau correspondent aux valeurs limites pour les eaux de consommation, telles que définies dans le décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine. Ces objectifs correspondent également aux valeurs de constat d'impact (VCI) définies pour les eaux à usage sensible. En l'absence d'un tel seuil, la concentration tolérable d'un point de vue toxicologique est définie comme objectif de protection.

Pour les eaux de surface, les concentrations en dessous desquelles aucun effet sur l'environnement n'est à prévoir (valeurs PNEC, Predicted No Effect Concentration) ont été retenues. Le tableau 5.1 indique également le bruit de fond actuel (voir aussi paragraphe 5.1).

Les mécanismes de transport potentiel de polluants sont présentés au paragraphe 5.4. Les émissions potentielles de polluants sont comparées aux objectifs de protection au paragraphe 5.5.

5.4 Modélisation du transport de polluants en direction des biens à protéger

Après la mise en place de serremments de sel autour du stockage et le remblayage des puits, les déchets seront isolés de la biosphère par les barrières suivantes :

- emballage des déchets,
- serremments de sel,
- zone salifère et
- remblais des puits en cendres volantes.

L'évaluation des risques à long terme pour l'homme et l'environnement repose donc sur l'analyse de l'efficacité des différentes barrières. La barrière formée par l'emballage des déchets est négligée (hypothèse pénalisante). Les barrières formées par les serrements de sel à mettre en place et par les remblais des puits sont prises en compte pour la suite des calculs.

Les déchets sont stockés sous forme solide. Le transfert éventuel de polluants ne peut se faire qu'après une remobilisation soit par dissolution dans de l'eau soit sous forme gazeuse.

Après cette remobilisation, un transport de polluants peut être envisagé selon les cheminements suivants :

- 1) transport de composés dissous ou gazeux à travers la zone salifère;
- 2) transport de gaz à travers les zones salifères perturbées par les travaux miniers;
- 3) transport de polluants dissous par des eaux circulant à travers le système minier.

La figure ci-dessous présente de manière simplifiée le système minier et les cheminements de polluants envisageables.

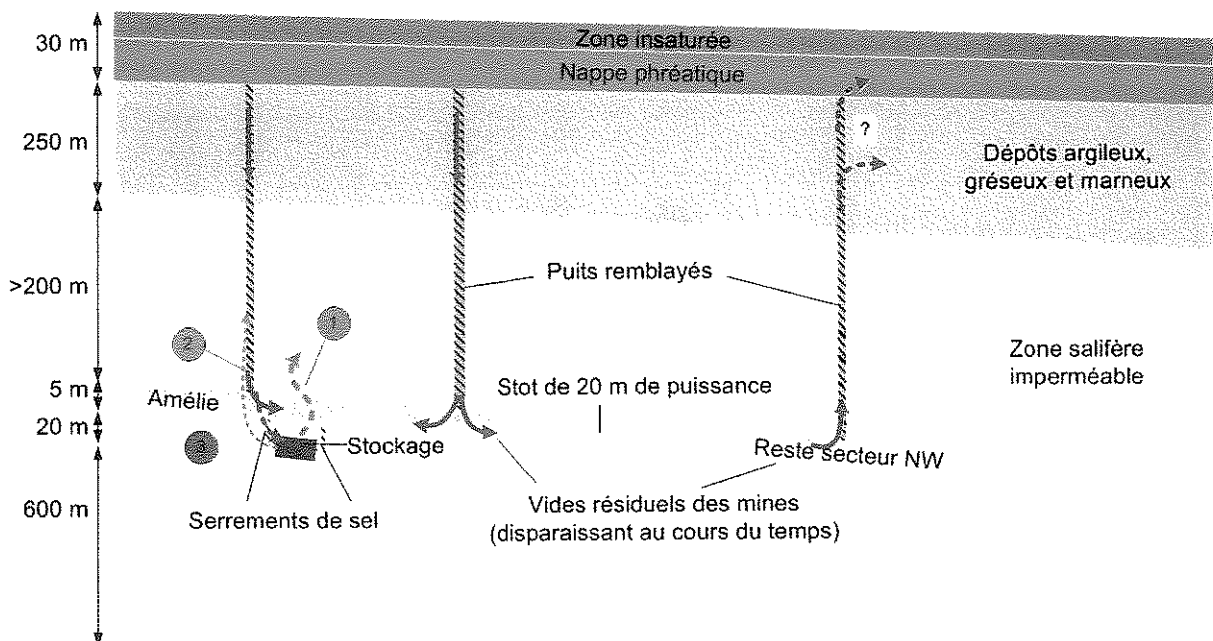


Fig. 5.1 : Schéma simplifié des mines (remarque : la figure n'est pas à l'échelle)

Il est à noter que pour tous les cheminements envisagés, les polluants doivent transiter par la nappe phréatique, car cette dernière recouvre toute la région. Les eaux de la nappe sont captées par différents ouvrages. Ces eaux s'écoulent en direction du Nord-Est et sont drainées par la Thur.

Toutes les évaluations reposent sur diverses hypothèses pénalisantes (voir paragraphe 5.8.1). Les modèles appliqués sont sécuritaires. En conséquence, les flux calculés de polluants surestiment fortement les flux probables.

5.4.1 Evaluation du transport à travers la zone salifère

Les évaluations menées démontrent qu'un transport à travers la barrière naturelle formée par la zone salifère ne peut se faire que par diffusion (c.-à-d. par un mécanisme de transport dû à l'agitation moléculaire). Un tel transport est très lent et le flux engendré à 50, 100 ou 1 000 ans est quasiment nul.

5.4.2 Evaluation d'un transport de gaz

Les résultats de la modélisation montrent que les fissures apparues lors du foudroyage des terrains ne remontent pas au-delà des couches salifères. Les observations de terrain de MDPA ont mis en évidence des remontées de fissures jusqu'à une vingtaine de mètres au-dessus des zones foudroyées. Un transport de gaz jusqu'à la surface ne peut donc pas se faire le long de ces fissures. Le seul secteur par lequel des gaz pourraient théoriquement transiter est la zone perturbée de l'encaissant le long des puits. Ce transport a été quantifié sur la base d'études menées en Allemagne.

Les évaluations montrent qu'à l'exception de l'acide cyanhydrique, le transport de gaz en direction de la nappe phréatique est négligeable. Les émissions potentielles d'acide cyanhydrique demeurent très modestes et les concentrations engendrées dans les biens à protéger sont très inférieures aux objectifs de protection. Ainsi, si un captage devait se situer en aval de la zone d'émission, les concentrations de cyanure dans l'eau captée demeureraient très inférieures aux normes réglementaires pour l'eau potable (voir aussi paragraphe 5.5).

5.4.3 Evaluation d'un lessivage de polluants

Comme discuté dans l'étude MICA, les puits remblayés avec des matériaux très peu perméables (des cendres volantes) représentent la seule entrée d'eau à considérer. Après que l'eau ait comblé les vides résiduels des mines, l'établissement d'une circulation d'eau entre les puits amont et les puits aval n'est pas certain et peut être bloqué par les phénomènes de fermeture naturelle des galeries (convergence du sel).

Dans l'hypothèse pessimiste d'une circulation d'eau, les émissions calculées seraient nulles jusqu'à l'ennoyage complet des mines (au plus tôt 500 ans après la fermeture) et n'augmenteraient ensuite que très lentement. Ainsi, 1 000 ans après la fermeture du stockage, les émissions cumulées des différents polluants considérés seraient inférieures à 1 kg/an. Les concentrations engendrées dans les biens à protéger seraient très inférieures aux objectifs de protection définis au paragraphe 5.3 (voir aussi paragraphe 5.5).

Les émissions maximales, telles qu'estimées par le modèle, auraient lieu environ 10 000 ans après la fermeture du stockage. A cette date, le flux massique d'arsenic (le polluant dont les émissions sont potentiellement les plus importantes) sortant de la zone salifère serait d'environ 25 kg par an. Si la mine Amélie et le reste du secteur NordeOuest ne communiquent pas, les émissions maximales seraient environ 6 fois inférieures. Il faut noter que les prévisions pour cette échéance très longue de 10 000 ans ne sont guère fiables, puisque que le modèle ne tient pas compte de la fermeture progressive des vides miniers sous le poids des terrains. Dans tous les cas considérés (y compris à très long terme, à savoir plusieurs milliers d'années), les impacts sur les biens à protéger demeureraient tolérables, même au

moment des émissions maximales (c.-à-d. pas de dépassement des normes réglementaires dans de l'eau captée à l'aval d'un des puits miniers par lequel la saumure et les polluants pourraient remonter, voir aussi paragraphe 5.5).

5.5 Quantification de l'exposition des biens à protéger

Pour estimer l'exposition de la biosphère, il a été supposé que tous les polluants transportés hors des horizons salifères soient directement ou indirectement drainés vers la Thur. Les concentrations résultantes dans la Thur seraient toujours nettement inférieures aux objectifs de protection définis au paragraphe 5.3.

Pour estimer l'exposition d'éventuels captages d'eau potable, la répartition des polluants quittant la zone salifère a été estimée (répartition entre les eaux du tertiaire et du quaternaire, répartition entre les différents puits de "sortie"). Il a été supposé qu'un captage soit implanté en aval d'un ancien puits par lequel des eaux polluées ou de l'acide cyanhydrique gazeux pourraient remonter. Sur cette base et malgré les nombreuses hypothèses pessimistes appliquées (voir paragraphe 5.8.1), les augmentations de concentrations seraient inférieures aux objectifs de protection définis au paragraphe 5.3 et ceci même à très long terme (plusieurs milliers d'années).

En conclusion, en cas d'évolution normale du stockage et des travaux miniers, les émissions à partir du stockage sont très faibles et ne peuvent pas engendrer d'impact intolérable sur les biens à protéger considérés. Les scénarios accidentels sont discutés au paragraphe 5.7.

5.6 Evaluation d'options de fermeture

5.6.1 Option pour la fermeture des puits Amélie 1 et 2, variante de confinement définitif

Les évaluations ont été menées en supposant que les puits proches du stockage, c.-à-d. les puits Joseph, Else, Amélie 1 et 2, soient remblayés avec des cendres volantes sur la plus grande hauteur possible (correspondant au scénario "standard" des évaluations).

Sur la base du modèle de circulation d'eau, il apparaît qu'un remblayage "classique" des puits Amélie 1 et 2 (en aval du stockage) n'a pas d'incidence significative sur le niveau des émissions potentielles. Un remblayage "classique" de ces deux puits, c.-à-d. avec des bouillons de cendres volantes de moindre épaisseur, est donc suffisant dans le cas du confinement définitif de l'ensemble des déchets.

Les puits Joseph et Else (situés en amont du stockage) devront en revanche être remblayés sur la plus grande hauteur possible en cendres volantes.

5.6.2 Serrements de sel pour le confinement de l'ensemble des déchets et galerie de contournement du stockage

Les évaluations des émissions ont été menées en tenant compte des serrements de sel à mettre en place pour confiner le stockage : en effet, ces serrements sont nécessaires pour assurer la sécurité à long terme du stockage.

Les calculs ont été effectués en supposant que le sel gemme utilisé pour les serrements du stockage soit exploité dans la zone en cours d'aménagement au moment de l'incendie de 2002. Il serait cependant possible de créer une galerie contournant le stockage (voir paragraphe 4.2.2.2). Une telle galerie permettrait de réduire encore de moitié la fraction de l'eau

pouvant circuler par le stockage. La création d'une telle galerie représenterait une précaution supplémentaire mais n'est pas indispensable à la sécurité à long terme du stockage.

5.6.3 Exercice de la réversibilité et confinement définitif des déchets du bloc 15

En cas d'exercice de la réversibilité pour les déchets des autres blocs et du confinement des déchets du bloc 15, les risques à long terme pour l'environnement ne seraient pas significatifs. En effet, le bloc 15, site de l'incendie de 2002, ne contient que des quantités réduites de déchets (1776 t, c.-à-d. moins de 5% de la masse totale). En outre, ce bloc est situé dans la partie supérieure du stockage, laquelle est en dehors du système de circulation des eaux pouvant percoler par les puits.

De ce fait, en cas d'exercice de la réversibilité, tous les puits (y compris les puits Joseph et Else) pourront être remblayés de manière "classique", c.-à-d. avec des bouchons de cendres de moindre épaisseur par rapport à la variante de confinement définitif de l'ensemble des déchets.

5.7 Scénarios accidentels

Une réflexion systématique a été réalisée pour identifier les scénarios accidentels qui pourraient avoir un impact sur l'homme et l'environnement. Ceux qui représentent un risque potentiel, ont été évalués pour le cas du confinement définitif de l'ensemble des déchets à l'intérieur de la mine (voir aussi rapport MICA). Les cas les plus pénalisants du point de vue des émissions potentielles de polluants sont discutés ci-dessous :

- une explosion après la fermeture des mines;
- la rupture du bouchon d'un puits en amont ou en aval du stockage;
- un forage dans la zone du stockage.

5.7.1.1 Explosion

Il est peu probable qu'un mélange inflammable de gaz et une source d'ignition soient présents de manière concomitante après la fermeture des mines. Même si des dégagements localisés de gaz devaient s'enflammer, cette inflammation n'aurait que peu de conséquences puisque, contrairement à ce qui pourrait se passer dans une mine de charbon, une explosion de poussières n'est pas possible dans une mine de sel.

5.7.1.2 Rupture d'un bouchon d'étanchéité d'un puits en amont ou en aval du stockage

La rupture d'un bouchon d'étanchéité d'un puits en amont du stockage induirait un lessivage important des déchets. Les flux de polluants seraient multipliés d'un facteur 20 à 25 par rapport au scénario "standard". Le maximum du pic d'émissions serait atteint environ 2 000 ans après la rupture du bouchon. A ce moment-là, les concentrations des polluants dans l'eau d'un éventuel captage en aval d'un des puits par lequel de l'eau pourrait remonter depuis les mines, pourraient être supérieures d'un facteur 15 aux normes réglementaires pour l'eau potable. Afin de diminuer la probabilité d'occurrence d'un tel scénario, il faudra permettre le fluage des cendres dans la zone entre le cuvelage et l'encaissant et renforcer le blocage des remblais à la base des puits (voir rapport MICA).

La rupture d'un bouchon d'étanchéité d'un puits en aval du site dans le secteur Nord-Ouest du bassin de Wittelsheim induirait une augmentation des émissions d'un facteur 2 à 3. A 50, 100 ou 1 000 ans, les émissions demeureraient tolérables car l'augmentation des concentrations dans les eaux de surface ou dans des eaux captées serait inférieure aux objectifs de

protections définis au paragraphe 5.3. A très long terme (plusieurs milliers d'années), un dépassement d'un facteur 3 à 4 des normes réglementaires pour l'eau potable ne pourrait être exclu dans les eaux d'un captage situé en aval du puits défectueux.

Comme indiqué dans le rapport technique traitant de la situation hydrogéologique et géotechnique, si une rupture d'un bouchon d'étanchéité d'un puits en amont ou en aval du stockage devait malgré les précautions prises se produire, l'étanchéité du puits défectueux pourrait être restaurée à l'aide d'injections.

5.7.1.3 Forage dans le stockage

Un forage atteignant la zone de stockage pourrait théoriquement provoquer une remontée de gaz ou d'eau importante.

Outre les conséquences mécaniques d'un tel évènement (remontée du tubage), une remontée de gaz par le forage pourrait entraîner la libération d'acide cyanhydrique.

La remontée d'eau n'est possible qu'à long terme après que la pression de l'eau se soit équilibrée avec la pression des terrains. Suite à la convergence naturelle du sel et à la présence des serremments de sel autour du stockage, il est vraisemblable que les débits d'eau à travers les vides résiduels des mines et le forage soient limités et puissent être stoppés en colmant le forage. Comme indiqué dans le rapport MICA, un volume maximal de saumure d'environ 150 000 m³ pourrait théoriquement être expulsé, un tel volume pourrait conduire à la remontée vers la surface de l'ensemble des polluants dissous dans le stockage.

Nous recommandons donc que les forages profonds dans le périmètre du stockage soient soumis à autorisation.

Malgré la quantité limitée de déchets dans le bloc 15, un forage traversant ce bloc pourrait, tout comme dans le cas du confinement de l'ensemble des déchets, conduire à une libération non tolérable de polluants. La quantité de cadmium (53 t) contenue dans les déchets de ce bloc serait par exemple suffisante pour engendrer une pollution importante du sol et des eaux à proximité du forage. *En conséquence, un contrôle par l'administration des forages profonds est également nécessaire en cas d'exercice de la réversibilité.*

5.8 Caractérisation des risques suite au maintien de déchets, conclusions

5.8.1 Evolution normale du stockage

Les évaluations ont été menées en appliquant diverses hypothèses pénalisantes, notamment (voir aussi rapports MICA et BMG) :

- Au moment de l'envoyage, il est supposé que *les sels et les métaux contenus dans les déchets se dissolvent rapidement et complètement* dans le volume confiné du stockage.
- La *concentration des polluants gazeux au pied des puits est supposée être la même qu'à proximité immédiate du stockage.*
- La *valeur de perméabilité appliquée ($5.8 \cdot 10^{-7}$ m/s) pour estimer les débits d'entrée et de sortie d'eau à travers les bouchons de cendres volantes est sécuritaire* puisque aucune arrivée d'eau n'a été observée dans les puits déjà remblayés.

- Au vu des précautions prises (serrements de sel de forte épaisseur), *il est vraisemblable que les écoulements à travers la zone confinée du stockage soient quasiment nuls*. Le modèle appliqué part de l'hypothèse défavorable que 10% de l'eau percolant par les puits Joseph et Else transite à travers le stockage.

En conclusion, le calcul de l'exposition des biens à protéger dans le cas d'une évolution "normale" des mines et du stockage est sécuritaire puisqu'il découle d'une cascade d'hypothèses défavorables.

Ces évaluations sécuritaires démontrent que le transport par diffusion est extrêmement lent et ne peut engendrer qu'un flux très restreint de polluants. Dans le cas d'une évolution "normale" du stockage, le transport de gaz n'engendre pas non plus d'impact significatif.

Un lessivage de polluants ne peut avoir lieu que si une circulation d'eau entre les puits amont et les puits aval s'établit. L'amorçage du système de circulation est très long (plus de 500 ans) et peut être bloqué par les phénomènes de fermeture naturelle de la mine. Si une circulation devait néanmoins s'établir, les émissions seraient très réduites et n'engendreraient pas un dépassement des objectifs de protection définis au paragraphe 5.3. Ces conclusions sont valables aussi bien dans le cas du confinement définitif de l'ensemble des déchets que dans le cas d'exercice de la réversibilité.

5.8.2 Scénarios accidentels

Divers scénarios accidentels ont été considérés. Certains accidents, dont la probabilité est faible, pourraient en principe engendrer un dépassement des objectifs de protection définis au paragraphe 5.3. Afin de réduire la probabilité et les conséquences de tels événements, des mesures de précaution (voir paragraphe 8.1) et, si nécessaire, d'intervention peuvent être prises. Les risques accidentels sont maîtrisables.

Outre le cas d'un forage profond atteignant le bloc 15 (voir ci-dessus), les risques accidentels pour la variante d'exercice de la réversibilité sont avant tout liés aux opérations de déstockage et sont traités au chapitre 6.

6. Evaluation des aspects de santé et sécurité dans les deux variantes

L'étude concernant la sécurité au travail et la protection de la santé a deux objectifs. Il s'agit dans un premier temps de déterminer la faisabilité technique des deux variantes en fonction de ces critères et dans un deuxième temps, d'apporter des informations complémentaires pour le choix de la variante.

L'objectif de sécurité est défini comme étant de prévenir toute atteinte à la santé ou à l'intégrité physique des personnes liée à la manutention ou à la présence des déchets au cours des variantes d'exercice de la réversibilité et de confinement définitif des déchets.

L'étude prend en compte les risques résultant des nouvelles opérations et associés à la présence des produits. Elle ne prend pas en compte tout ce qui relève du risque minier ou qui a fait précédemment l'objet d'études (par exemple, le transport des produits dans les puits). La zone prise en compte pour l'étude correspond à l'ensemble de l'exploitation. Dans le cas de l'exercice de la réversibilité, elle s'arrête au chargement de colis dans les camions et /ou wagons conformes aux règles de transport et aux critères d'acceptation des centres de stockage.

6.1 Risques présents dans les deux variantes

Deux risques apparaissent dans les deux variantes. D'une part, il y a l'intervention dans la zone contaminée par les fumées de l'incendie du bloc 15 et d'autre part, il y a la problématique de l'incendie.

Intervention dans la zone contaminée

Les risques dans la zone contaminée peuvent être classés en risque minier et en risque sanitaire.

En ce qui concerne le risque minier, les parties où le risque d'effondrement du toit est trop important doivent être définies et leur accès interdit.

En ce qui concerne le risque sanitaire, trois points critiques ont été déterminés après l'incendie : (i) la présence de composés toxiques dans l'air à des concentrations élevées, (ii) une concentration élevée de dioxines sur les murs et parements de la mine, (iii) une odeur pestilentielle.

- (i) Jusqu'à présent, le travail en zone contaminée s'effectuait en portant une combinaison étanche et un appareil respiratoire autonome. Cette mesure se justifiait surtout à cause des concentrations trop élevées de composés toxiques (en dioxines, en acide chlorhydrique, en cyanure d'hydrogène, en acétaldéhyde, en chloroacétaldéhyde et en benzène) dans l'air de la zone contaminée. Les mesures des concentrations de ces composés avaient été effectuées à une période où la combustion des déchets était toujours active. A présent ces concentrations devraient être inférieures aux limites dangereuses. Une nouvelle série de mesures devra être effectuée avant le début des travaux pour confirmer cela.

- (ii) D'après l'étude d'ERM de mars 2003, la concentration en dioxines sur les parements et le mur entraîne un risque inacceptable pour la santé du personnel par résorption cutanée. Une nouvelle série de mesures devra être effectuée dans les parties de la zone contaminée où le personnel sera amené à travailler afin de vérifier la concentration en dioxines. De plus, dans les deux variantes, la durée du travail dans la zone contaminée n'excédera pas quelques semaines. Il est donc possible de se baser, pour l'évaluation du risque, sur une valeur toxicologique de référence subchronique (ATSDR : 20 pg/(kg.j)) à la place de la valeur toxicologique chronique prise dans l'étude ERM. Si la concentration est restée stable, pour une durée d'exposition inférieure à 90 jours, le risque engendré par la présence de dioxine sur les parements ne nécessiterait qu'une protection de base (masque à poussières et combinaison). Par contre si le travail dans la zone contaminée devait durer plus longtemps, le personnel aurait à porter un masque à poussières couvrant tout le visage, une combinaison étanche jetable et des gants.

- (iii) Cependant, si l'odeur pestilentielle s'avérait toujours présente, le travail dans la zone contaminée devrait se faire avec le port d'un appareil respiratoire autonome, ce qui rendrait les travaux extrêmement pénibles et imposerait une rotation rapide des équipes.

En conclusion, de nouvelles analyses doivent être effectuées dans la zone contaminée. Il sera ensuite possible de déterminer, en tenant compte des trois points cités ci-dessus, quels équipements de protection individuelle devront être portés par le personnel pour travailler dans cette zone.

Risque d'incendie

Deux principales sources d'incendie sont à considérer. Il y a d'un côté le risque d'auto-inflammation et d'un autre celui de l'incendie d'un équipement utilisé dans le cadre de l'exploitation.

De par la nature des déchets stockés (déchets stabilisés) le risque d'auto-inflammation est faible. De plus, depuis septembre 2002, date de la dernière prise de colis, des mesures de concentrations en monoxyde de carbone, en dioxyde de carbone et en acide chlorhydrique sont effectuées. Après une rapide décroissance de ces valeurs, elles se sont stabilisées depuis plus de 18 mois à des valeurs faibles n'indiquant pas d'activité de ce type. On peut déduire que le phénomène d'auto-inflammation après cette période est peu probable.

Le risque d'incendie vient principalement des installations techniques et des engins qui vont être utilisés, le feu pouvant se déclarer par exemple suite à un accident ou à un dysfonctionnement. Lors d'un début d'incendie, l'intervention devra être rapide et pour cela être conduite autant que possible par le personnel sur place. Il devra être formé à l'utilisation des moyens d'extinction et le matériel nécessaire (extincteurs à CO₂, extincteurs à eau avec agent moussant et couvertures d'extinction) devra être à disposition. Les conséquences possibles de l'incendie d'un engin sont très importantes dans le cas de l'exercice de la réversibilité, parce que les principales sources d'activation sont en contact avec les produits. Si un départ de feu d'un de ces engins n'était pas rapidement maîtrisé, les palettes, puis les déchets stockés pourraient prendre feu. Pour des raisons d'accessibilité et d'évacuation de la fumée et de la chaleur, une intervention sur un foyer qui se serait développé est extrêmement difficile et ris-

quée. Il est par conséquent primordial que le personnel présent ait les connaissances, l'entraînement et le matériel nécessaire pour maîtriser tout départ de feu.

6.2 Risques spécifiques à l'exercice de la réversibilité

Manipulation des colis

Pour l'exercice de la réversibilité, les étapes critiques sont la reprise des colis et lorsque cela s'avère nécessaire, leur reconditionnement. Durant les opérations « normales » (pas d'épandage des déchets) de manipulation de colis, les employés devront porter une combinaison et un masque avec filtre contre les particules (type P).

S'il y a suspicion qu'un colis puisse épandre son contenu suite à sa chute ou s'il est endommagé, des mesures complémentaires devront être mises en place. Il s'agit principalement d'une aspiration à la source (voir détails en annexe 2) pour les poussières dont le but est d'éviter une contamination excessive et le port d'équipements de protection individuelle pour le personnel : une combinaison jetable étanche, des gants et un système de protection respiratoire. Les équipements de protection devront couvrir toute la surface de la peau des employés. Le choix du système de protection respiratoire dépendra de la catégorie du colis qui s'est ouvert (cf. tableau ci-dessous). Les mêmes équipements de protection devront être portés après un épandage jusqu'à ce que le reconditionnement et la décontamination de la zone soient achevés.

Il faut prendre en compte qu'une mauvaise appréciation de la situation ou l'apparition d'un problème initialement non visible lors de la prise des colis est toujours possible. Cela exposerait le personnel à un danger pour lequel il porte une protection minimale.

En cas d'ouverture accidentelle d'un colis, les employés qui ne sont pas munis de l'équipement de protection complet devront quitter la zone, passer par un sas de décontamination qui devra être proche de la zone de travail où ils se changeront et se doucheront sommairement avant de rejoindre les vestiaires à la surface. Les combinaisons seront jetées. Le travail dans la zone contaminée sera effectué par des personnes portant l'équipement complet prévu pour le produit en question. Suivant la situation, la mise en place d'un suivi médical devra être étudiée.



INSTITUT DE SÉCURITÉ

Catégories	Appareil de protection respiratoire
A1 -Sels de trempe	Masque complet avec filtre combiné contre les gaz et vapeurs inorganiques, contre les oxydes d'azote et contre les aérosols (type BNOP)
A2 -Sels de trempe non cyanurés	Masque complet avec filtre combiné contre les oxydes d'azote et contre les particules en suspension (type NOP)
B3 -Déchets arséniés	Masque complet avec filtre combiné contre les gaz et vapeurs inorganiques et contre les particules en suspension (type BP)
C4 -Déchets chromiques	Masque complet avec filtre contre les particules en suspension (type P)
B5 -Déchets mercuriels	Masque complet avec filtre combiné contre les vapeurs de mercure et contre les particules en suspension (type HgP)
B6 -Terres polluées	Masque complet avec filtres contre les gaz et vapeurs organiques et inorganiques et contre les particules en suspension (type ABP)
D7 -Résidus de l'industrie	Masque complet avec filtre contre les particules en suspension (type P)
C8 -Déchets de galvanisation	Masque complet avec filtre combiné contre les gaz et vapeurs inorganiques et contre les particules en suspension (type BP)
E9 -Résidus d'incinération	Masque complet avec filtre contre les particules en suspension (type P)
B10-Produits phytosanitaires	Masque complet avec filtre combiné contre les gaz et vapeurs inorganiques et contre les particules en suspension (type BP)
D12-Déchets de laboratoire	masque complet avec filtre combiné contre les gaz et vapeurs inorganiques, acides, le dioxyde de soufre, contre l'ammoniac et les dérivés aminés et contre les particules en suspension (type BEKP)
E13-Déchets amiantés	Appareil isolant autonome

Dans le cas où un colis viendrait à s'éventrer ou à se renverser, des mesures du polluant concerné devraient être effectuées après nettoyage de la zone pour démontrer l'efficacité de la décontamination. Ceci impliquerait des délais supplémentaires pour l'exercice de la réversibilité.

A côté de ces dangers pour la santé, les employés seront exposés aux dangers mécaniques que comporte la manipulation des charges. Une personne peut en effet être blessée par la chute d'un colis ou par un engin en mouvement. Lors de ces travaux et tout particulièrement lors de la reprise des colis et du reconditionnement, le personnel devra faire preuve d'une vigilance accrue.

La limite imposée dans le temps de stockage en surface implique des contraintes logistiques (organisation des transports). Cela constitue un facteur de stress supplémentaire, car il sera nécessaire de déstocker les colis prévus pour respecter le temps maximum de stockage en surface et la composition des camions et des wagons. La volonté de respecter ces délais pourrait conduire à des comportements à risque.

6.3 Risques spécifiques au confinement définitif des déchets

Dans la variante de confinement définitif des déchets, il n'y a pas de manipulation des produits. Les risques sanitaires sont de ce point de vue faibles et les dangers mécaniques liés à la manipulations des déchets inexistantes pour autant que les serrements ne soient pas en contact avec le stockage.

La mise en place de serrements est une opération courante dans les mines. De ce fait, les dangers sont connus, ainsi que les mesures de protection.

L'opération la plus critique du point de vue de la thématique abordée ici est l'intervention dans la zone contaminée qui est nécessaire dans les deux variantes.

7. Comparaison des variantes

7.1 Sécurité et santé

- Risques pour la population et l'environnement suite au confinement de déchets (selon chap. 5 et rapports MICA et BMG)

Les évaluations menées démontrent que le transport par diffusion et le transport de gaz n'ont pas d'impact significatif. Un lessivage de polluants ne peut avoir lieu que si une circulation d'eau entre les puits amont et les puits aval s'établit. L'amorçage du système de circulation est très long (plus de 500 ans) et peut être bloqué par les phénomènes de fermeture naturelle de la mine. Même en cas de circulation d'eau, les émissions seraient tolérables car elles n'engendreraient pas un dépassement des objectifs de protection définis au paragraphe 5.3. Divers scénarios accidentels ont été considérés pour la variante de confinement de l'ensemble des déchets. Ces risques accidentels sont faibles et maîtrisables au moyen de mesures préventives adéquates (voir paragraphe 8.1). Si un incident ou un accident devait malgré tout survenir, des mesures correctives pourraient être prises.

Compte tenu des faibles quantités de déchets et des débits extrêmement réduits pour l'eau circulant à travers le bloc 15, les risques à long terme après confinement du bloc 15 et déstockage des déchets des autres blocs sont encore plus faibles que dans le cas de la variante de confinement définitif de l'ensemble des déchets. Les risques accidentels sont avant tout liés aux opérations de déstockage et concernent en première ligne le personnel intervenant (voir ci-dessous).

- Risques pour les travailleurs (selon chap. 6 et rapport ISPS)

Il ressort de l'analyse des deux variantes que du point de vue de la sécurité au travail et de la protection de la santé, l'exercice de la réversibilité présente un risque plus élevé que le confinement définitif car les déchets doivent être manipulés. Des mesures appropriées peuvent être prises pour réduire les risques pour les travailleurs. L'opération de déstockage reste néanmoins une opération complexe et critique.

7.2 Faisabilité technique et délais

La faisabilité technique des deux variantes est acquise, en tenant en compte des aménagements et recommandations de cette étude. Les techniques à appliquer sont connues et maîtrisées par l'exploitant.

Les opérations d'exercice de la réversibilité sont très exigeantes d'un point de vue logistique et technique puisque les travaux doivent être réalisés quasiment en flux tendu. En outre, le rythme auquel les travaux peuvent être réalisés est tributaire des disponibilités des repreneurs de déchets, disponibilités sur lesquelles Stocamine ne peut influencer. En cas de décision d'exercice de la réversibilité, les modes opératoires du déstockage devront être précisés.

En cas de maintien des déchets dans la mine, les travaux de confinement pourraient probablement être terminés en trois ans, c.-à-d. durant la période pendant laquelle le personnel MDPA et Stocamine nécessaire à leur mise en œuvre est disponible.

Dans le cas d'un déstockage, la durée des opérations serait d'environ 5 ans. La fin des travaux serait donc plus tardive, ce qui peut poser des problèmes sérieux de disponibilité de personnel minier qualifié, indispensable à la bonne réalisation des travaux de remblayage des puits après le déstockage des déchets.

7.3 Utilisation des ressources et impacts

La réalisation des travaux de **confinement définitif** des déchets impliquerait l'utilisation d'engins de chantier, de sel pour le confinement des déchets et de cendres volantes pour les remblais des puits :

- Il est prévu que les serrements de sel soient réalisés avec le sel gemme présent sur place, limitant ainsi l'utilisation de nouvelles ressources.
- Les travaux de remblayage des puits sont à réaliser dans les deux variantes, la seule différence étant le volume de cendres volantes pour les remblais des puits Joseph et Else.

Dans le cas d'**exercice de la réversibilité**, les produits devront être stockés ailleurs sans aucune valorisation, car il s'agit à cette date de déchets ultimes. Le danger potentiel représenté par ces déchets est seulement délocalisé géographiquement (à l'exception des déchets du bloc 15 devant dans tous les cas être confinés sur le site de Stocamine).

Les activités de déstockage, transport et restockage impliquent l'utilisation de nouvelles ressources et un impact supplémentaire sur l'environnement :

- A l'échelle locale, les impacts et nuisances de l'exercice de la réversibilité seraient comparables à ceux de la phase de stockage des déchets puisque les opérations de stockage et de déstockage sont très similaires.
- A l'échelle globale, l'exercice de la réversibilité impliquerait le transport des déchets jusqu'à de nouveaux centres de stockage. A titre d'exemple, Herfa-Neurode (localité avec une décharge souterraine similaire à celle de Stocamine) est située à 475 km (par la route) de Wittelsheim. Les 19 000 t de déchets de classe 0 devraient être transportés sur cette distance avant d'être restockés.
- Outre le transport, les activités de conditionnement (pour les déchets de classe 1) et de stockage (pour l'ensemble des déchets) engendreraient dans la région des nouveaux stockages des nuisances similaires à celles sur le site de Stocamine.

7.4 Coûts

La réalisation d'une évaluation détaillée des coûts ne faisait pas partie de cette étude et les coûts ne sont que brièvement abordés ci-dessous.

Les mesures préconisées en cas de confinement définitif des déchets dans la mine (voir paragraphe 8.1) sont coûteuses mais permettent d'assurer le confinement à long terme des déchets. Les coûts de cette variante sont d'environ 8 millions d'Euros.



INSTITUT DE SÉCURITÉ

Les coûts de la variante d'exercice de la réversibilité sont nettement plus élevés que ceux de la variante de maintien des déchets, sans que les déchets puissent être valorisés. Les coûts d'exercice de la réversibilité sont grossièrement estimés à 40 millions d'Euros.

7.5 Vue d'ensemble

Les éléments de comparaison des deux variantes, qui peuvent être utilisés comme base d'une décision, sont résumés dans le tableau ci-dessous.

	Confinement définitif	Exercice de la réversibilité
Risques pour la population et l'environnement	Risques tolérables dans l'évolution normale du stockage. Les risques accidentels sont maîtrisables au moyen de mesures appropriées.	Risques à l'échelle locale similaires aux risques encourus durant la période de stockage. La source de danger (c.-à-d. les déchets) est déplacée mais pas éliminée.
Risques pour les intervenants	Risques de type minier car il n'y a pas de contact direct avec les déchets. Des mesures adéquates de protection individuelle doivent être prises pour les travaux dans la zone polluée par les fumées de l'incendie.	Des mesures adéquates de protection individuelle doivent être prises pour les travaux dans la zone polluée par les fumées de l'incendie. Risques plus élevés car un contact avec les produits ne peut être exclu en cas de chute de colis. Le risque est maîtrisable avec des mesures appropriées mais demeure critique.
Faisabilité technique	La faisabilité technique est acquise, en tenant en compte des aménagements et recommandations de cette étude. Les techniques à appliquer sont connues et maîtrisées par l'exploitant. Les travaux peuvent être réalisés en environ 3 ans en ayant recours au personnel qualifié de MDPA et Stocamine.	Le déstockage est faisable en prenant des mesures supplémentaires par rapport à la phase de stockage : aspiration à la source, remplacement des emballages endommagés, mesures de protection individuelle, précautions supplémentaires en cas de chute de colis et épannage de produits. La logistique des travaux est complexe. La durée des travaux est d'environ 5 ans.
Utilisation des ressources et impacts	Pas d'utilisation de nouvelles ressources autres que celles nécessaires à la réalisation des travaux de fermeture.	Pas de possibilité de valoriser les déchets. Le déstockage, le transport et le restockage impliquent la consommation de nouvelles ressources.
Coûts	De l'ordre de 8 millions d'Euros.	De l'ordre de 40 millions d'Euros.

8. Recommandations pour la diminution des risques et conclusions

8.1 Mesures préconisées pour la diminution des risques

Variante de confinement définitif de l'ensemble des déchets

Les mesures suivantes sont nécessaires pour garantir la sécurité :

- mise en place de serrements de sel pour confiner la zone de stockage selon le mode décrit dans le rapport MICA;
- remblayage des puits Joseph et Else en cendres volantes sur la plus grande hauteur possible et en permettant le fluage des cendres entre le cuvelage et l'encaissant;
- contrôle des forages profonds par l'administration dans le périmètre des mines et surtout du stockage.

En outre, les mesures supplémentaires suivantes sont recommandées pour diminuer les risques résiduels :

- fermeture ultra sécuritaire des puits Joseph et Else selon le mode décrit dans le rapport MICA;
- réalisation d'une galerie contournant le stockage et drainant les eaux pouvant éventuellement pénétrer par les puits Joseph;
- indication du périmètre des mines et du stockage sur un monument inaltérable érigé sur les puits rebouchés.

Les évaluations ont été menées en partant de l'hypothèse que les puits Amélie 1 et 2 soient entièrement remblayés en cendres volantes. Sur la base du modèle de circulation, il apparaît que cette précaution n'est pas indispensable (voir paragraphe 5.6.1) et que ces puits peuvent être remblayés avec des bouchons "classiques".

Comme la sécurité à long terme du stockage est tributaire de l'efficacité et de la durabilité des serrements de sel et des bouchons des puits, ces ouvrages miniers doivent être planifiés et exécutés avec un soin tout particulier sous la responsabilité de l'exploitant. Les travaux réalisés devront être documentés.

Variante d'exercice de la réversibilité

Pour confiner les déchets du bloc 15, la mise en place de 6 serrements de sel d'environ 5 m d'épaisseur est proposée. Tous les puits peuvent être remblayés selon le schéma "classique". Un contrôle des futurs forages profonds dans le périmètre du bloc 15 devra être assuré par l'administration.

Les mesures préconisées pour la diminution des risques lors de l'application de cette variante sont:

- la formation des employés à l'intervention en cas d'incendie et la mise à disposition des moyens d'extinction (extincteurs à CO₂, extincteurs à eau avec agent moussant et couvertures d'extinction) ;
- le port, dans la zone contaminée, d'équipements de protection individuelle en adéquation avec les risques ;
- contrôles réguliers de la concentration en amiante ;
- mise en place d'une aspiration à la source afin d'éviter une propagation de la contamination lors de l'épandage au moment de la prise d'un colis ;
- afin d'éviter la propagation de la contamination lors d'un épandage, confiner autant que possible la zone de travail ;
- le port d'équipement de protection individuelle lorsqu'il y a risque d'épandage ;
- la mise à disposition d'un sas avec douches portatives proche du lieu de reprise des déchets ;
- mesures des polluants pour vérifier que l'assainissement après un épandage a été efficace ;
- compléter le manuel de sécurité et former le personnel aux nouveaux risques.

Les précautions à prendre lors de la manipulation au jour des déchets sont les mêmes que pour la phase de stockage des déchets.

8.2 Conclusions

Les impacts du stockage à 50, 100 ou 1 000 ans sont nettement inférieurs aux objectifs de protection définis au paragraphe 5.3 et sont donc tolérables en cas d'évolution "normale" des travaux miniers. Cette conclusion est valable pour les deux variantes considérées. Les risques accidentels sont faibles et maîtrisables au moyen de mesures adéquates.

Les risques pour le personnel intervenant sont nettement plus élevés pour la variante d'exercice de la réversibilité que pour la variante de confinement suite à la manipulation des déchets. Ces risques sont maîtrisables mais demeurent critiques.

La faisabilité technique des deux variantes est acquise. Après la prise de décision quant au choix de la variante, le détail du mode opératoire devra être précisé, en particulier en cas d'exercice de la réversibilité.

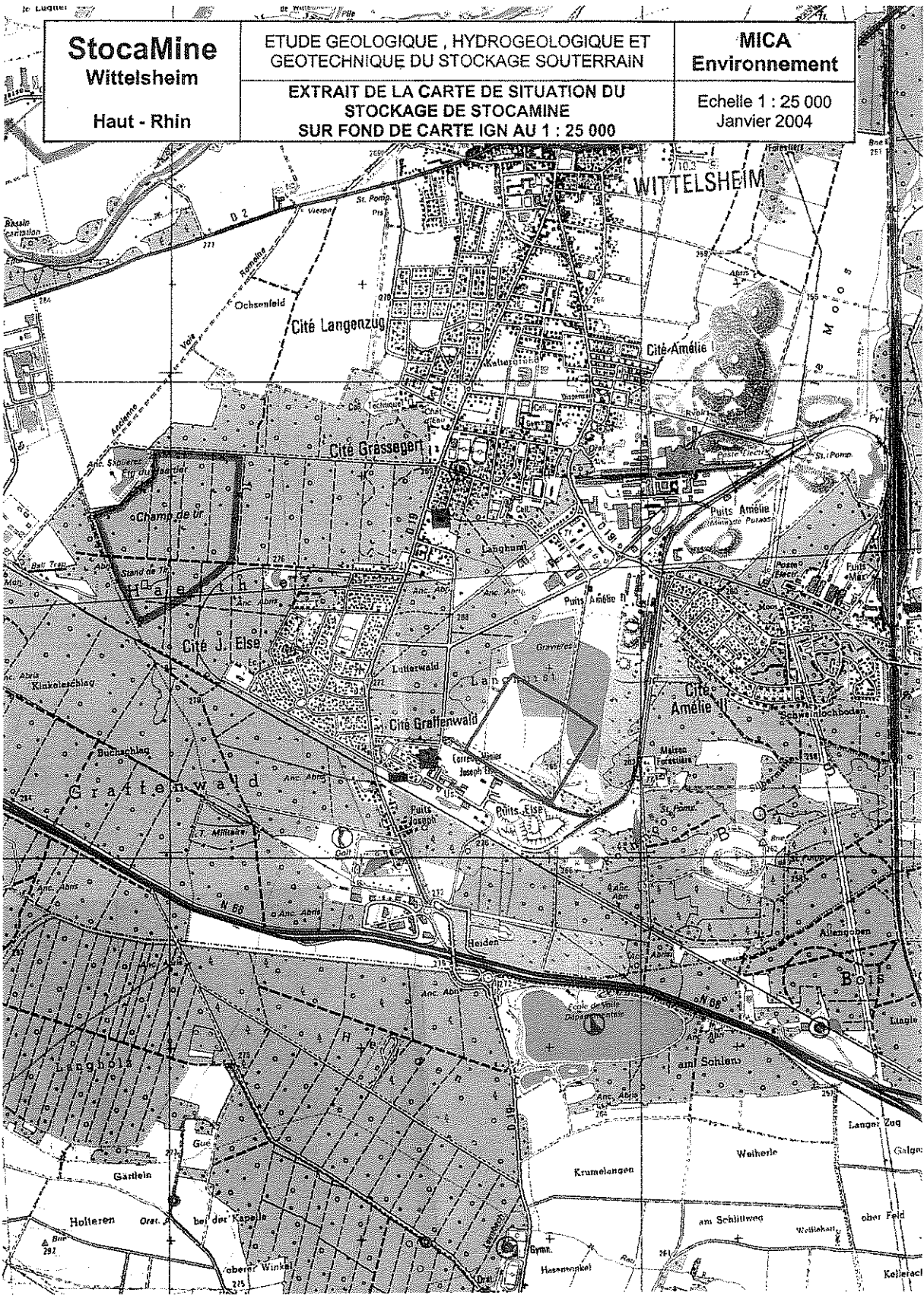
Dans les deux variantes, les déchets ne sont pas valorisés. Le danger potentiel représenté par les déchets est, dans le cas de l'exercice de la réversibilité, délocalisé.

Les coûts et la durée de la variante d'exercice de la réversibilité sont significativement plus élevés.

Annexe 1

Figures correspondant à l'étude géologique, hydro-géologique et géotechnique du stockage souterrain

- 1.1 Carte de localisation du stockage de StocaMine
- 1.2 Vue des allées de stockage ; stockage de big-bags et de fûts
- 1.3 Coupe stratigraphique de la série tertiaire du bassin potassique
- 1.4 Carte géologique – hors terrains quaternaires – dressée par MDPA
- 1.5 Coupe géologique schématique Est – Ouest, bassin de Wittelsheim
- 1.6 Coupe stratigraphique simplifiée, position et caractéristiques des aquifères
- 1.7 Coupe schématique du fonctionnement hydraulique entre les puits à l'équilibre
- 1.8 Carte schématique des flux et temps de transit à l'équilibre hydrodynamique dans le bassin de Wittelsheim
- 1.9 Carte d'implantation des serrements de sel pour le confinement du stockage (variante maintien des déchets au fond)
- 1.10 Carte d'implantation des serrements de béton et de sel pour le confinement du bloc 15 (variante déstockage des déchets)



Annexe 1, figure 1.1

StocaMine Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	MICA Environnement
	PHOTOGRAPHIES DE DISPOSITION DE DECHETS DANS LES ALLEES DE STOCKAGE	Avril 2004



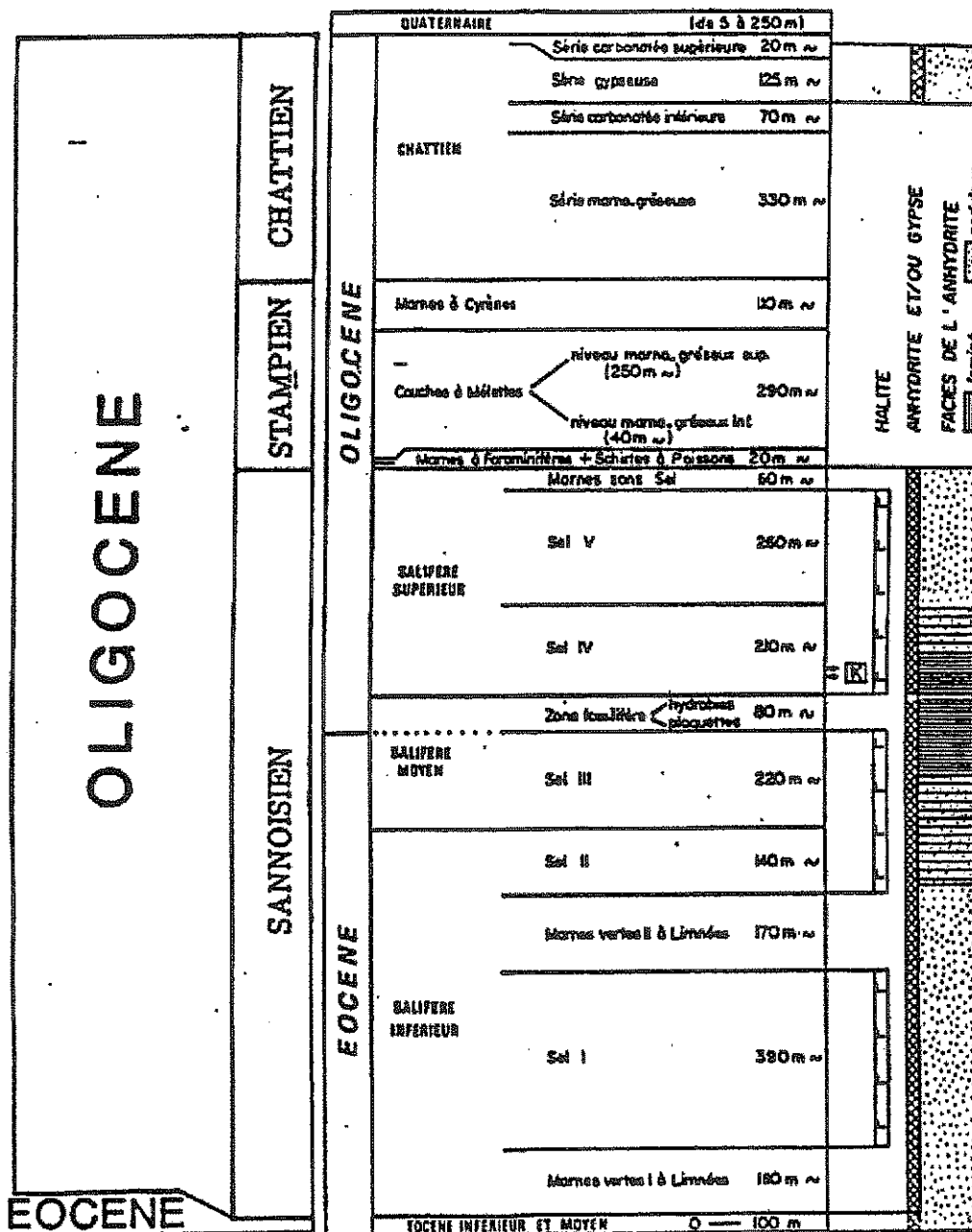
Stockage de déchets en Big-bags



Stockage de déchets en fûts

Annexe 1, figure 1.2

StocaMine Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	MICA Environnement
	TABLEAU DES CORRESPONDANCES STRATIGRAPHIQUES DANS LES TERRAINS OLIGOCENE	Echelle 1 : 10 000 Avril 2004

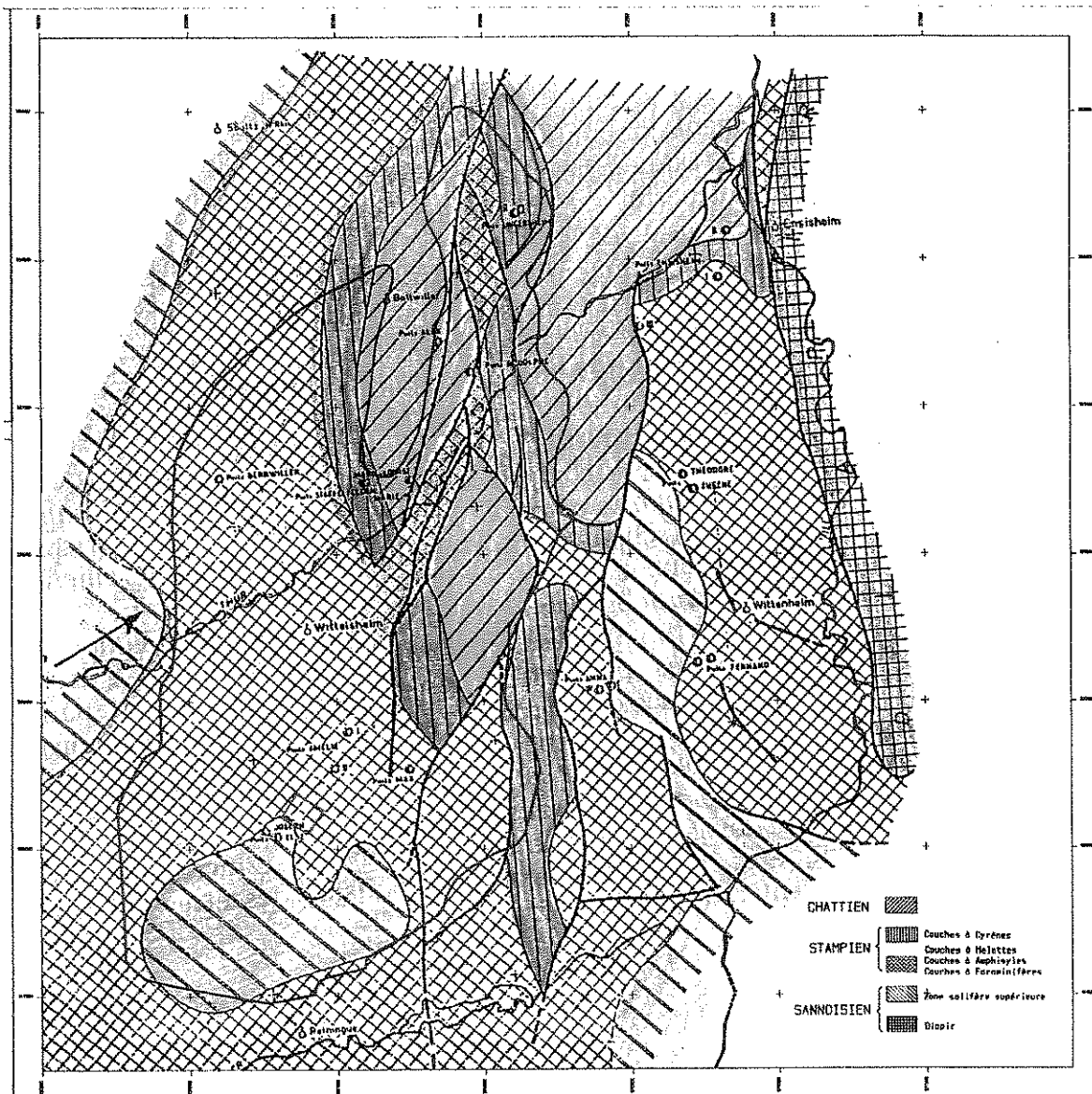


COURTOT-GANAT
MDPA (1972)

BLANC-VALLERON et GANAT (1985)

Annexe 1, figure 1.3

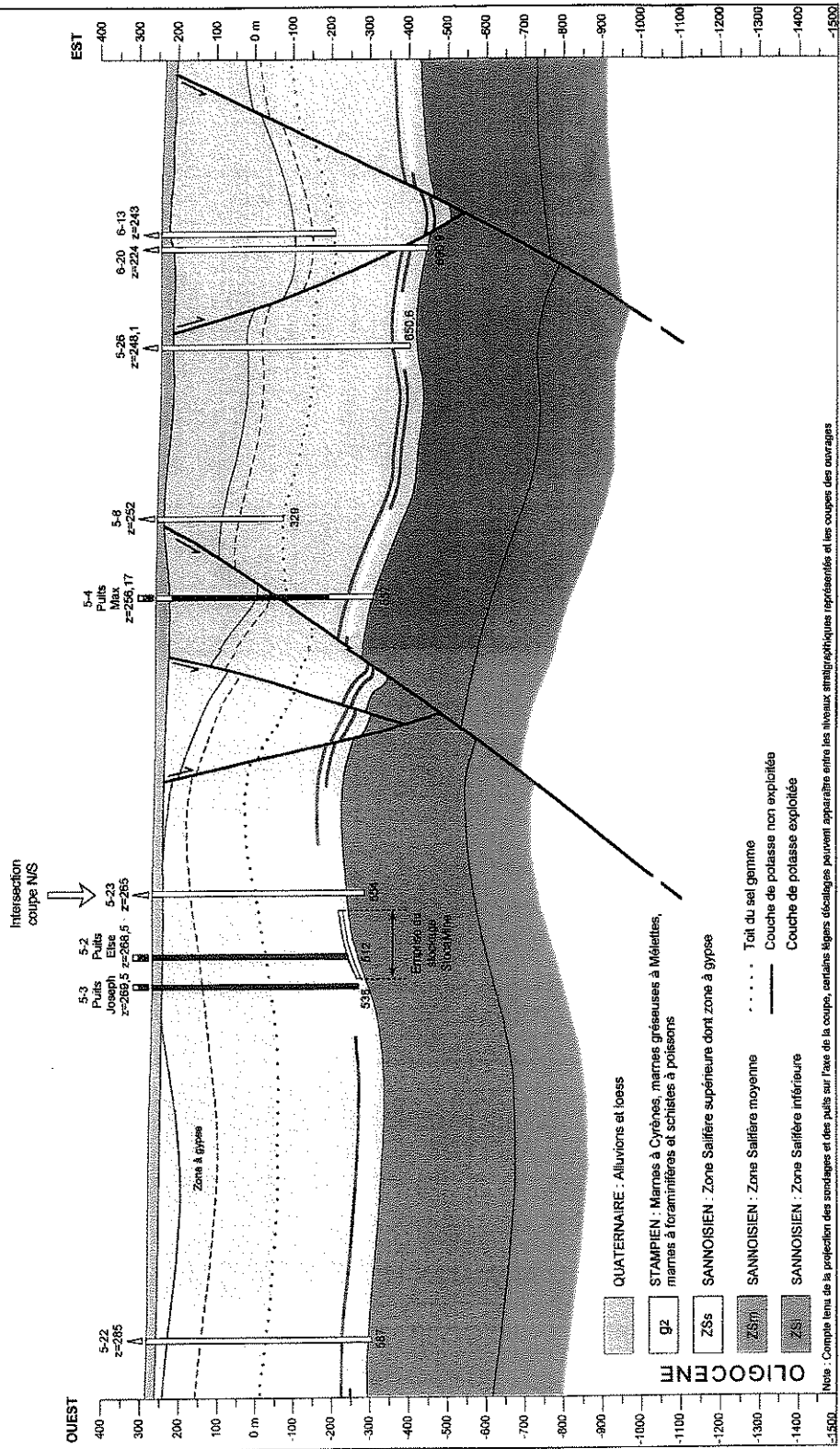
StocaMine Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	MICA Environnement
	CARTE GEOLOGIQUE INFRA-QUATERNAIRE DES MDPA	Echelle 1 : 100 000 Mai 2004



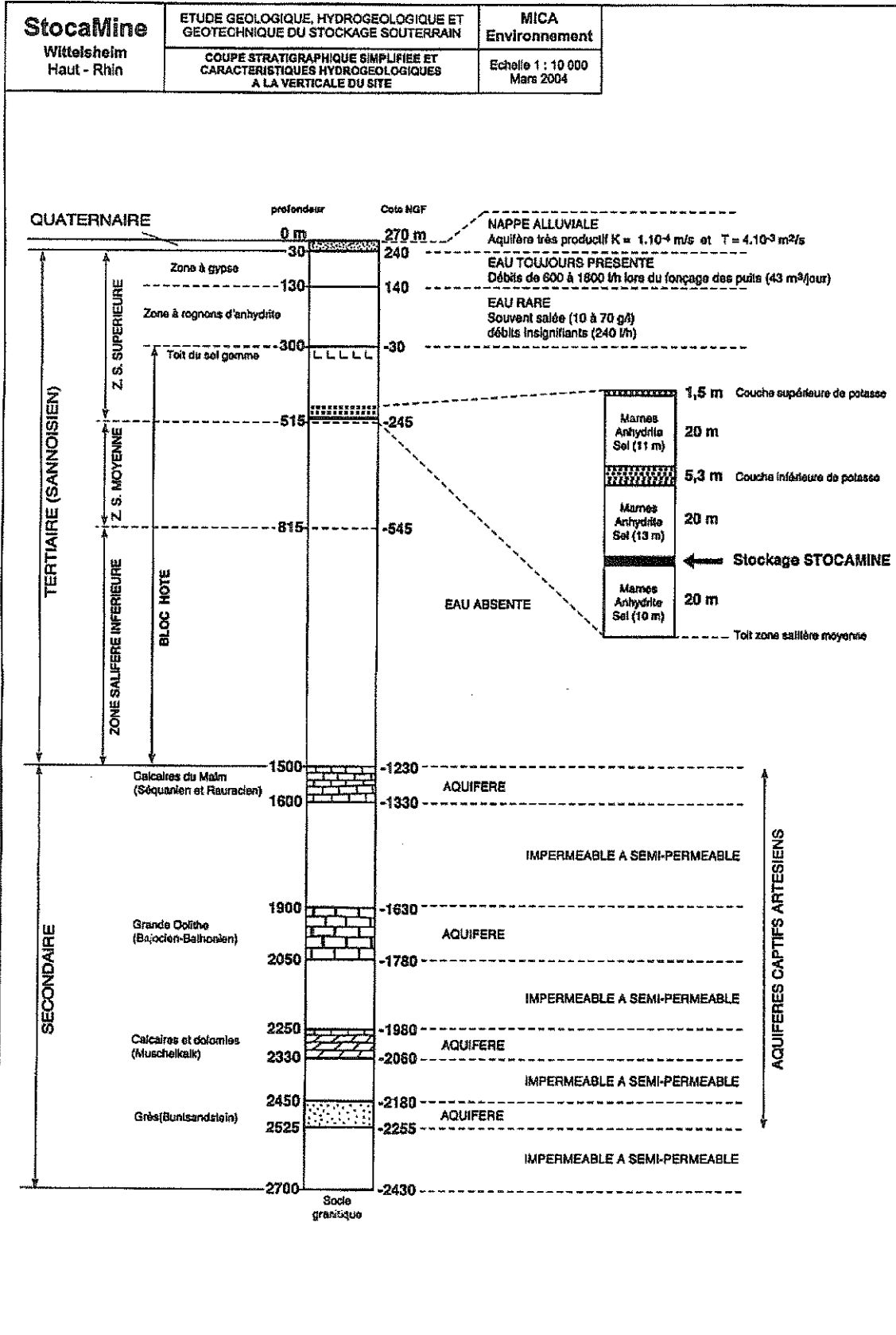
Annexe 1, figure 1.4

ECHELLE HORIZONTALE : 1/25 000
 ECHELLE VERTICALE : 1/10 000

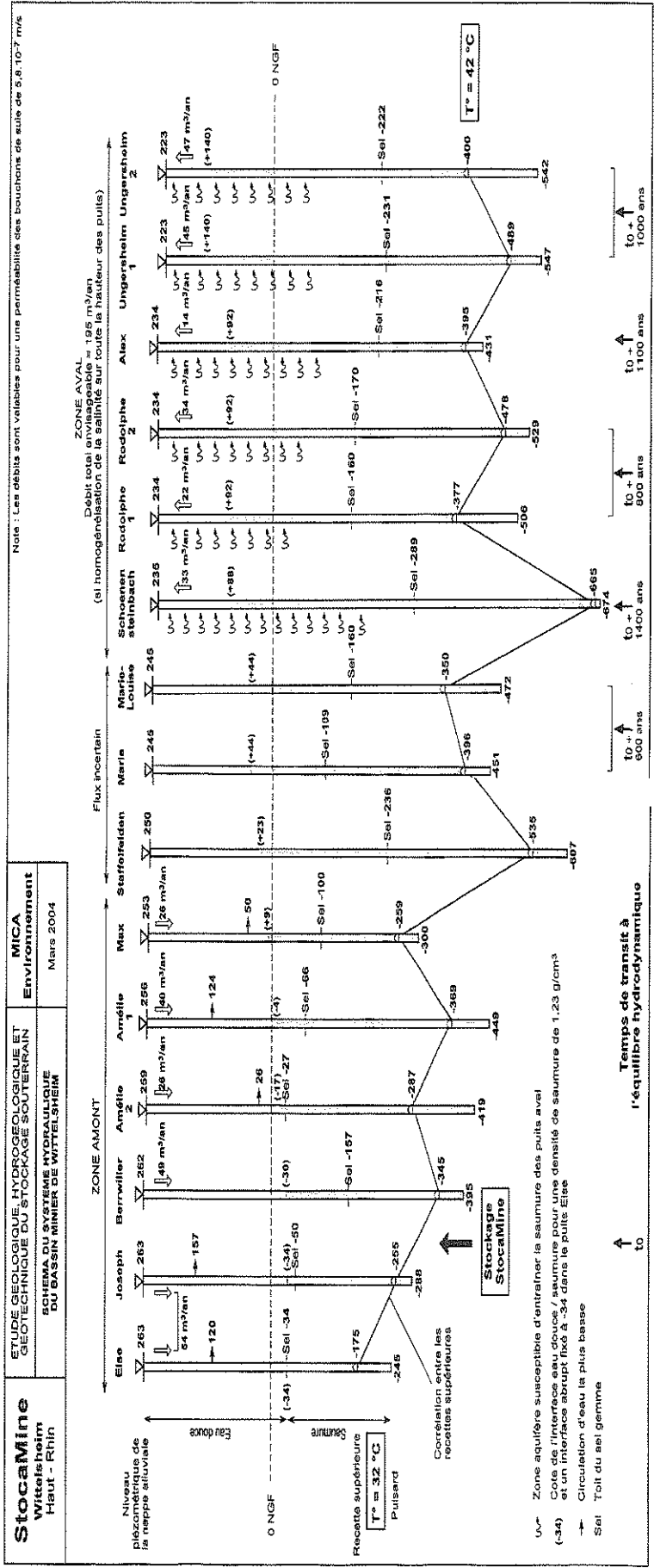
Stocamine Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	MICA Environnement
	COUPE GEOLOGIQUE EST/OUEST n°1	Mars 2004

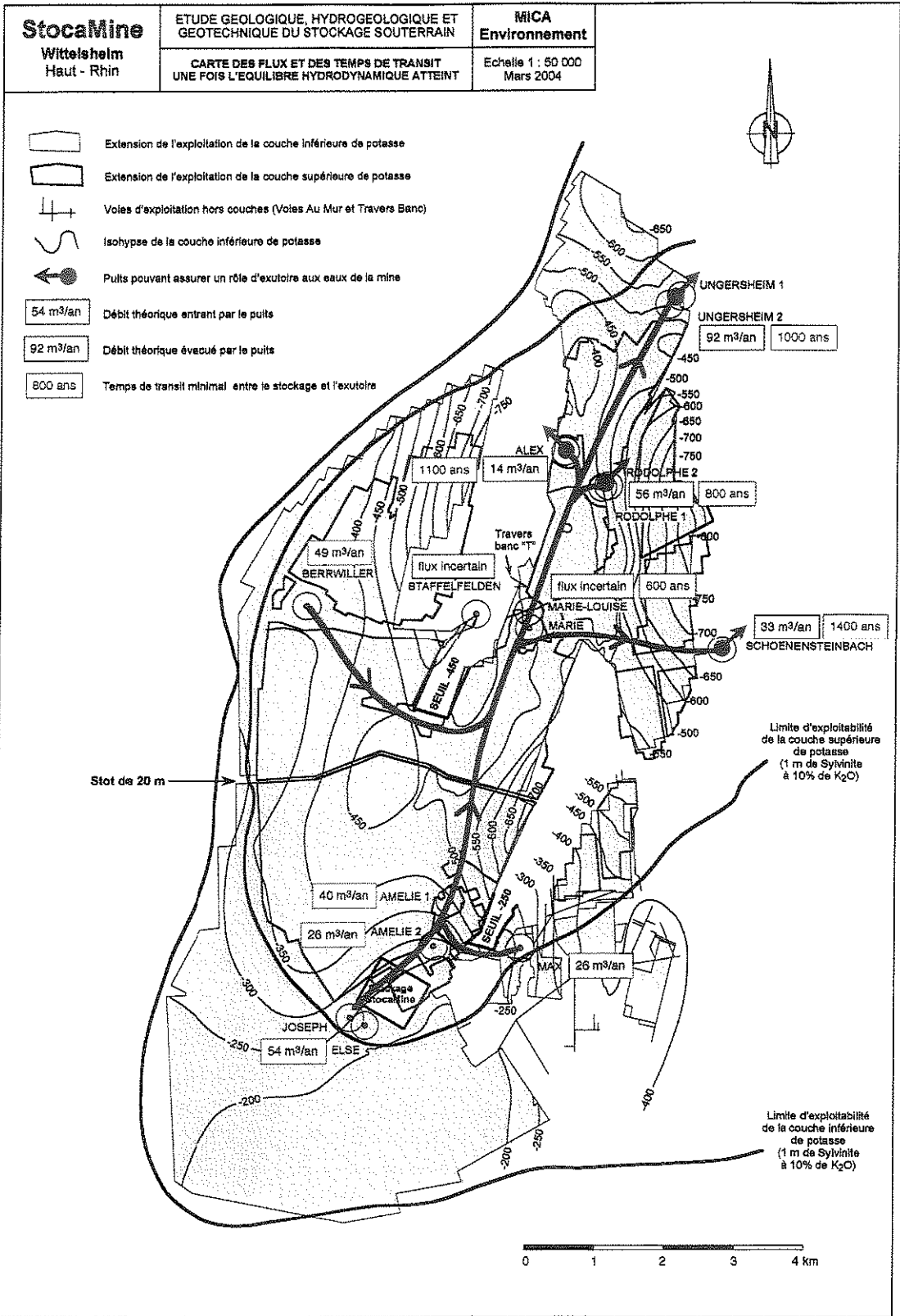


Annexe 1, figure 1.5

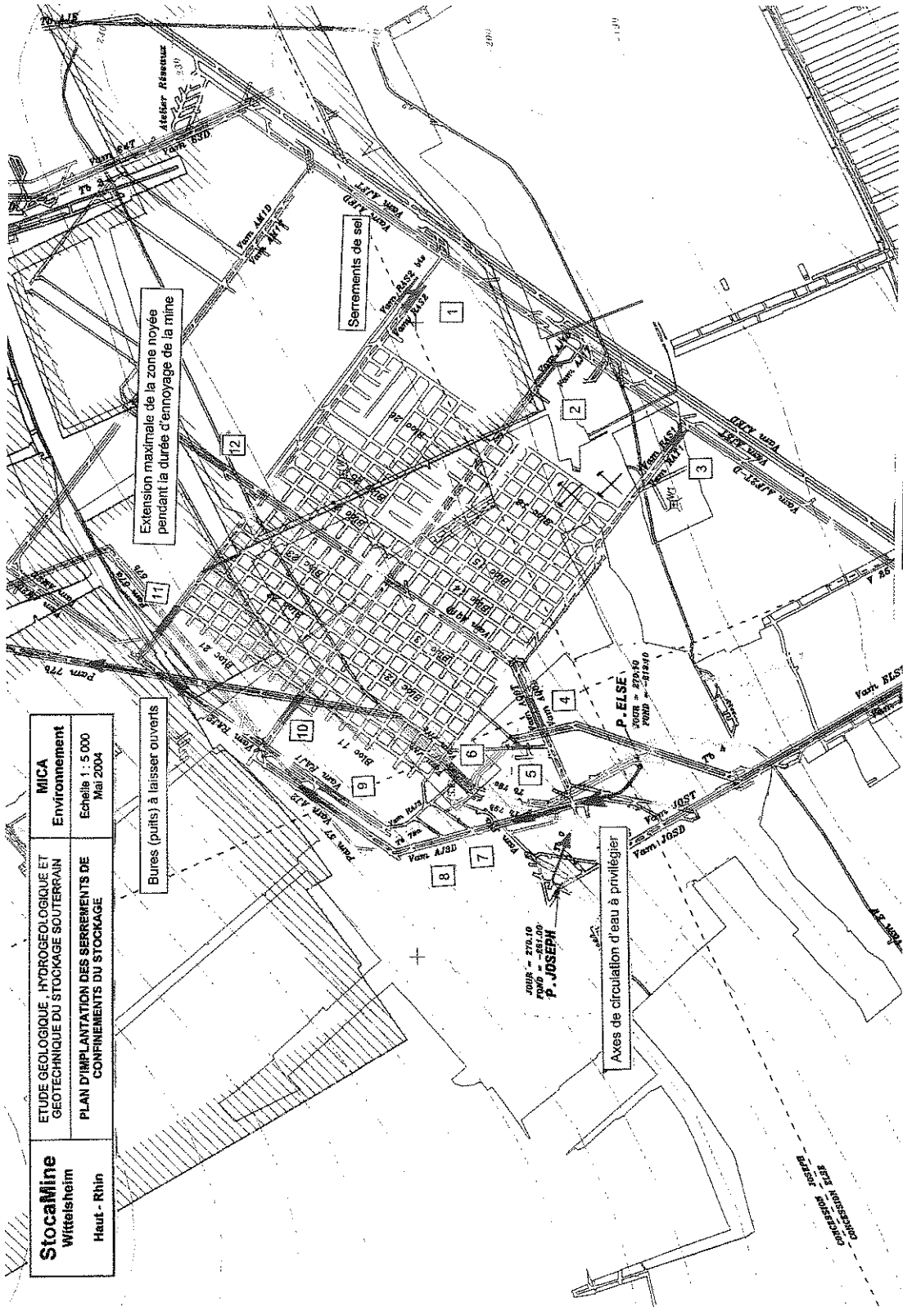


Annexe 1, figure 1.6





Annexe 1, Figure 1.8



StocaMine Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	MICA Environnement
	PLAN D'IMPLANTATION DES SERREMENTS DE CONFINEMENTS DU STOCKAGE	Echelle 1 : 5 000 Mai 2004

Bures (puits) à laisser ouverts

Extension maximale de la zone noyée pendant la durée d'emoyage de la mine

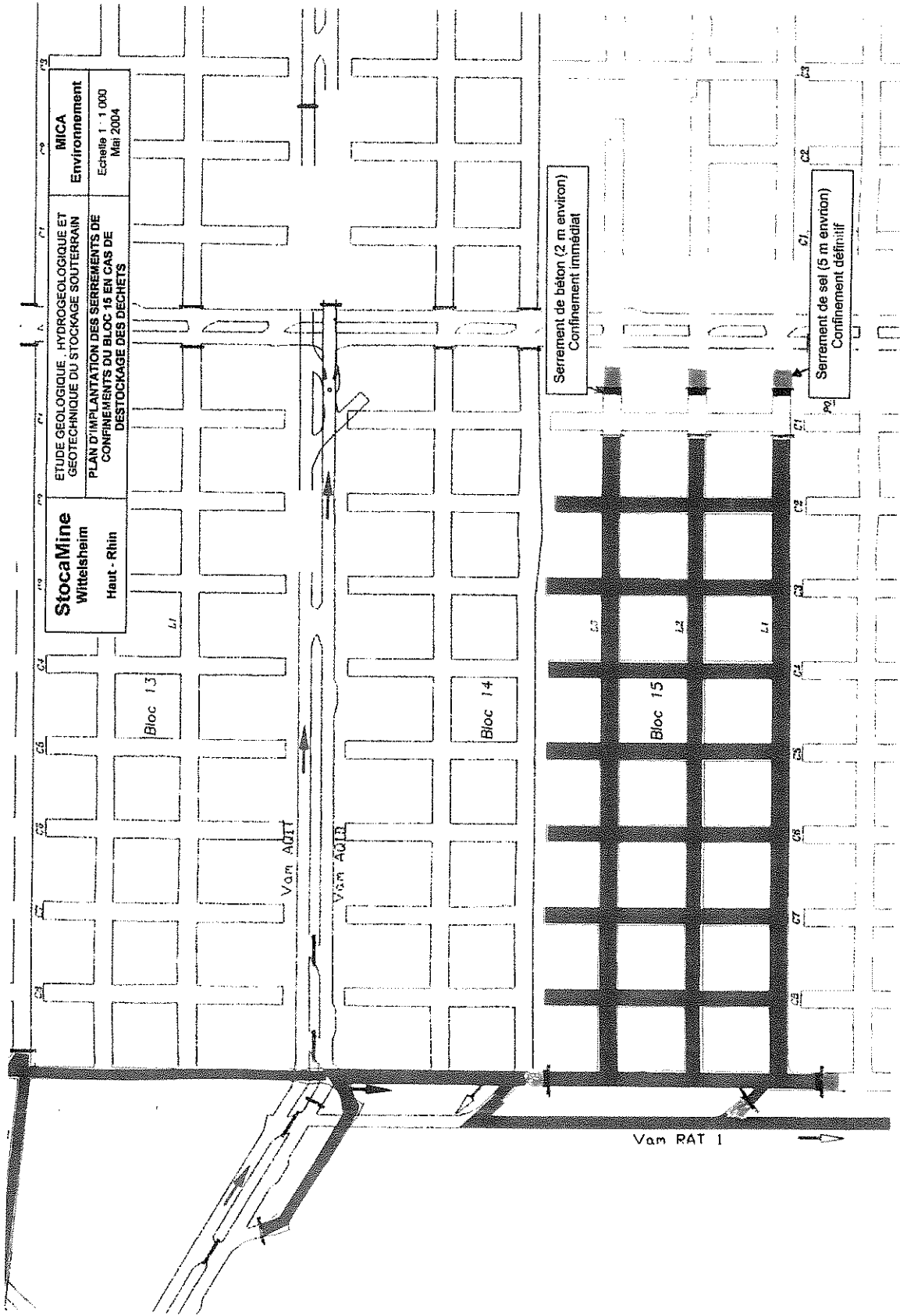
Serrements de sel

Axes de circulation d'eau à privilégier

P. JOSEPH
 POND = 275,00
 POND = 261,00

P. ELSEY
 POND = 271,00
 POND = 261,00

Annexe 1, figure 1.9



Annexe 1, figure 1.10

Annexe 2

Systeme d'aspiration à la source

- 2.1 Critères appliqués pour l'évaluation du débit de ventilation
- 2.2 Vue schématique du système
- 2.3 Possibilités de mise en œuvre

Annexe 2.1 : Critères appliqués pour l'évaluation du débit de ventilation

Le débit de ventilation nécessaire a été calculé sur la base des critères suivants :

- renouvellement d'air suffisant pour évacuer le CO₂ produit par les engins de chantier;
- norme technique allemande (TRGS 519) définissant le renouvellement d'air sur des chantiers avec amiante;
- vitesse de circulation de l'air à atteindre pour éviter la dissémination de fibres d'amiante et de poussières en cas d'épandage.

Evacuation du CO₂

Par kW de puissance pour des moteurs diesel, une ventilation de 70 m³/h est nécessaire au respect de la valeur VME du CO₂. Pour une puissance totale des engins de transport estimée à 200 kW, un débit de ventilation de 14 000 m³/h serait nécessaire.

Norme technique allemande pour les travaux avec de l'amiante et des matériaux amiantés

La norme TRGS 519 est appliquée pour les travaux de démolition, d'assainissement et d'élimination des déchets. Même si cette norme, n'est pas, d'un point de vue administratif, applicable en France, les critères techniques définis ont une valeur indicative.

Pour le respect de l'hygiène au travail en présence d'amiante, un renouvellement de l'air de 5 fois par heure est nécessaire selon cette norme. En considérant une recoupe de 70 m, le débit de ventilation nécessaire serait de : $5/h \times (5.5 \text{ m} \times 2.8 \text{ m} \times 70 \text{ m}) = 5390 \text{ m}^3/h$.

Vitesse de circulation de l'air à atteindre pour éviter la dissémination de fibres d'amiante

Pour éviter la dissémination de fibres d'amiante ou de poussières par le biais de l'air, il est nécessaire d'obtenir une vitesse de circulation de l'air w de 0.3 à 0.5 m/s sur l'ensemble de la section (voir le schéma de l'annexe 2.2) :

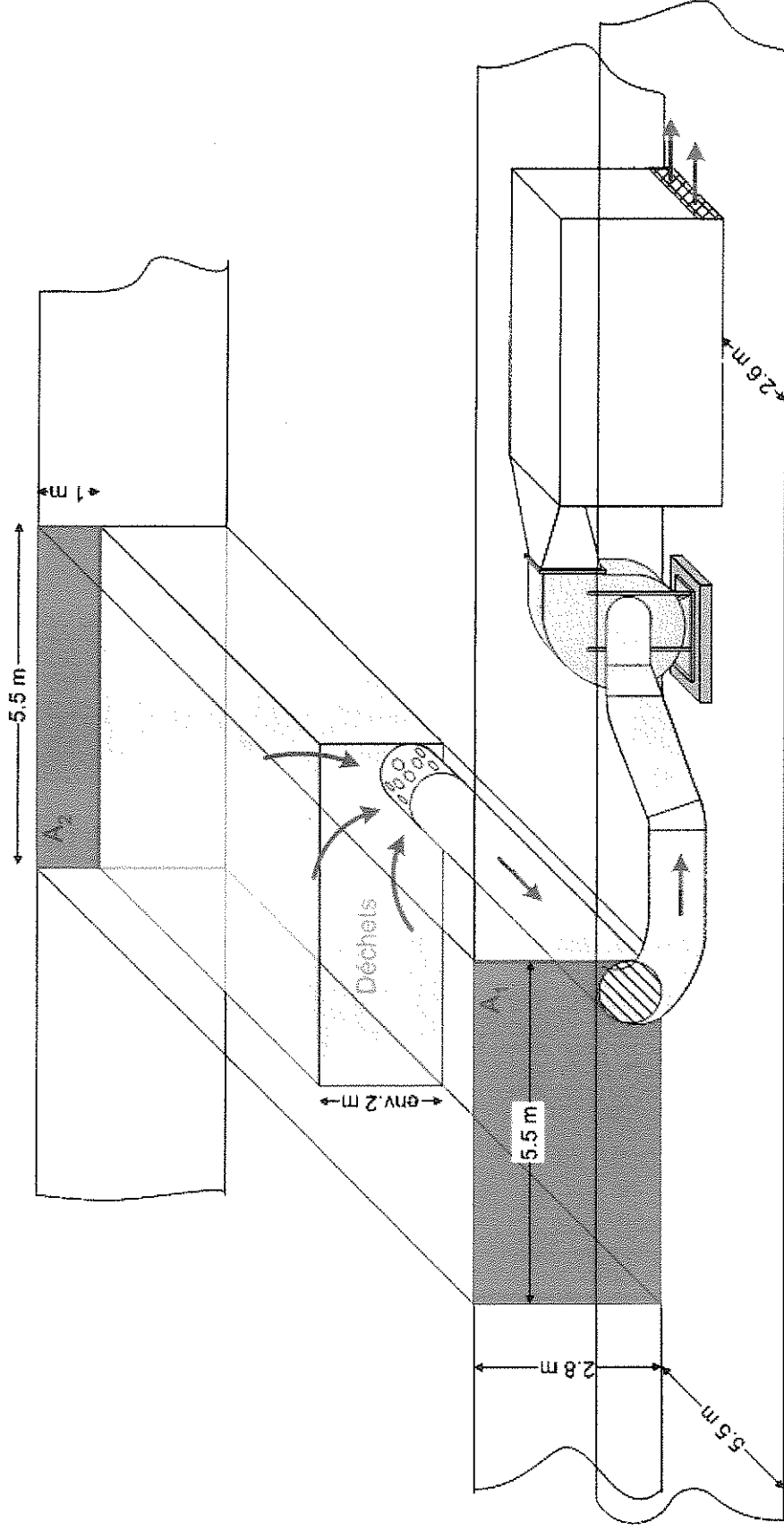
- section A1 = 5.5 m x 2.8 m,
section A2 = 5.5 m x 1 m,
 $\Sigma(A1+A2) = 20.9 \text{ m}^2$
- $w = 0.3 \text{ m/s}$ à 0.5 m/s
- ⇒ Débit = 22570 m³/h à 37600 m³/h

Conclusion

Sur la base des réflexions ci-dessus, le critère le plus contraignant est celui de la vitesse de circulation de l'air. Un débit de 36 000 m³/h, c.-à-d. 10 m³/s est nécessaire pour remplir ce critère.

Annexe 2.2 : Vue schématique du système

Aperçu du système (détails à la page suivante)

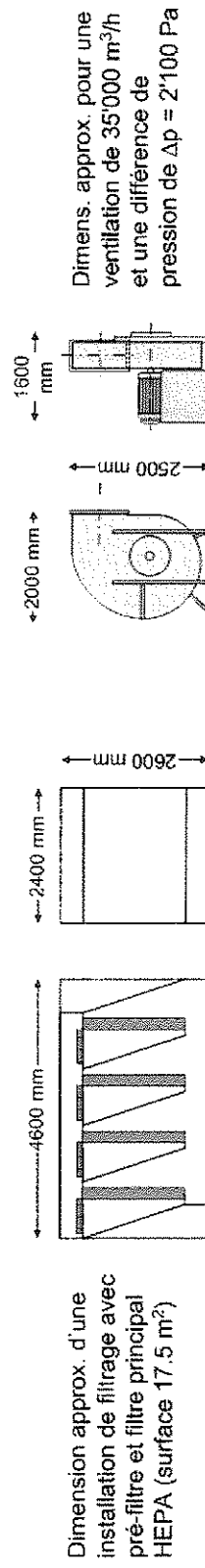
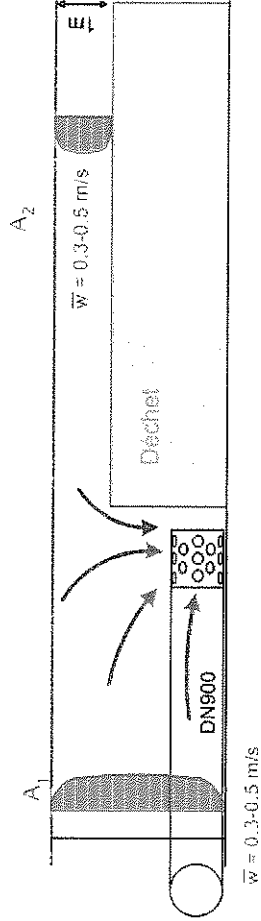


Annexe 2.2 (suite)

Données de base et coupe

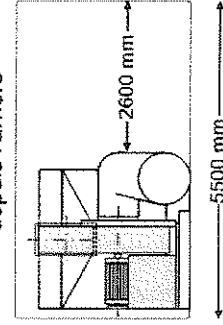
Évaluation du débit nécessaire pour permettre de contrôler la circulation d'air

=> vitesse w de 0.3 à 0.5 m/s dans le périmètre de travail

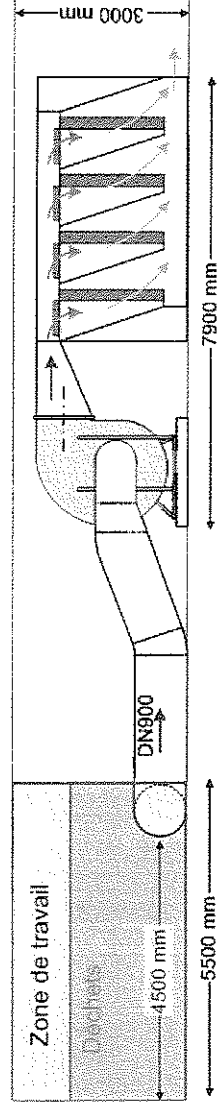


Dimension approx. d'une installation de filtrage avec pré-filtre et filtre principal HEPA (surface 17.5 m²)

Variante de réalisation, vue en coupe depuis l'arrière



Variante de réalisation, vue en coupe latérale



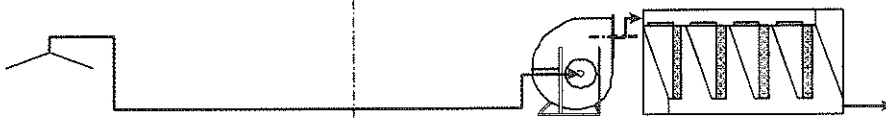
Annexe 2.3 : Possibilités de mise en œuvre

Le système d'aspiration pourrait être mis en œuvre à l'aide d'un ou plusieurs ventilateurs. Dans la mesure où les ventilateurs miniers de MDPA permettent un débit d'environ $5 \text{ m}^3/\text{s}$, l'aspiration à la source au moyen de 2 ventilateurs représente une solution techniquement envisageable.

Le système peut travailler soit en surpression soit en sous pression. Les avantages et inconvénients des deux options sont brièvement discutés ci-dessous. Dans les deux cas, la perte de pression sur l'ensemble du système est d'environ 2100 Pa.

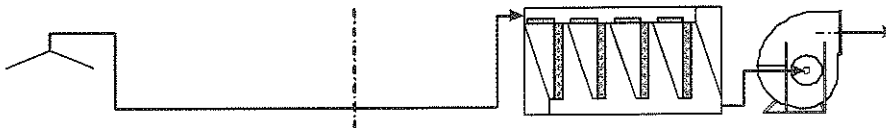
En surpression

- réalisation relativement bon marché possible;
- en présence de poussières, risque d'accumulation au niveau du ventilateur.



En sous-pression

- capsule de filtrage impliquant des matériaux plus résistants;
- ventilateur à l'abri des poussières.



Conclusion

En cas d'exercice de la réversibilité, la mise en œuvre de deux unités d'aspiration-filtration est techniquement faisable. Le détail du projet serait à étudier ultérieurement par Stocamine et MDPA.

Il faut souligner qu'un tel système de ventilation dans les mines implique de nombreuses contraintes en raison notamment du peu de place disponible, de la nécessité de déplacer le système d'aspiration et de la présence de poussières.