

Etude de Faisabilité

Remblayage des cavités Souterraines de Stockage des Déchets de StocaMine, Wittelsheim/France

Client : **StocaMine**
Avenue Joseph-Else
68310 Wittelsheim
FRANCE

Consultant : **ERCOSPLAN Ingenieurgesellschaft**
Geotechnik und Bergbau mbH
Arnstädter Straße 28
99096 Erfurt
ALLEMAGNE

Référence projet : EGB 07-042

Erfurt, le 02 septembre 2008

Dr. Henry Rauche
Directeur et PDG.

RESUME

Cette étude de faisabilité évalue les conditions du site de stockage des déchets de StocaMine, au regard du remblayage des blocs de déchets, et présente les technologies de remblayage applicables, de même qu'une estimation des coûts approximatifs des options de remblayage basées sur ces technologies et fait également des recommandations sur la portée d'une étude plus approfondie et sur l'ingénierie de base.

StocaMine prévoit d'isoler la zone de traitement des déchets avant la fermeture du site minier Amélie. Cette isolation devrait être mise en place par un remblayage des blocs du site de stockage des déchets, et en bloquant le site au moyen de serrements.

Le site de stockage des déchets de StocaMine est situé au sud du Fossé Rhénan Supérieur, dans le Sous-bassin Wittelsheim du Bassin potassique de Mulhouse, l'un des nombreux bassins contenant des dépôts évaporitiques des époques Eocène et Oligocène. Les couches de sel de ce bassin sont d'une épaisseur d'environ 1 700 m. Le site de stockage des déchets est situé dans la couche de sel gemme la plus basse de la Zone Salée Supérieure. Cette zone est d'une épaisseur d'environ 550 m. Elle est recouverte de marnes datant du Stampien d'une épaisseur combinée d'environ 420 m et par des dépôts alluviaux d'une épaisseur de 20 à 50 m.

La couche de sel gemme est subhorizontale avec une légère inclinaison nord-ouest. Les failles d'orientation SW-NE qui affectent le fossé rhénan sont amorties en flexures-failles au niveau des séries évaporitiques.

Alors que les dépôts alluviaux ont une teneur élevée en eau souterraine, seuls quelques horizons aquifères peuvent être trouvés dans les couches de marne, et les couches de sel ne contiennent pas d'eau.

Le site de stockage des déchets est intégré à l'ancienne mine potassique Amélie. La mine se trouve au sud de Wittelsheim et couvre la zone entre les villes de Wittelsheim et Reiningue. Les deux puits de mine Joseph et Else sont situés directement au nord de la RN 66 et de la ligne ferroviaire Mulhouse-Kruth. Au sein de cette zone d'exploitation, le site de stockage des déchets se situe à une profondeur d'environ 600 m.

Il s'étend sur 550 m NO-SE et sur 450 m SO-NE à une distance d'environ 250 m des puits de mine. Chaque bloc de déchets fait 224 m de long et 76 m de large et est accompagné de deux galeries séparées par des piliers de 3,0 m de large. Les galeries ont une hauteur de 2,8 à 3,0 m et une largeur de 3,8 m; elles connectent les blocs avec le système de galeries environnant qui mène aux puits de mine Joseph, Else et Amélie 2.

L'aire devant être isolée comprend les blocs de déchets et les systèmes de galeries adjacents. Quatre options de remblayage ont été définies avec différentes délimitations des cavités devant être remblayées et différentes constructions de serrements. Les blocs ayant servi au stockage des déchets ont un volume de 54 900 m³. Les blocs vides, ayant été préparés pour un stockage ultérieur, sont en partie inachevés et ont un volume de 79 200 m³. Le système de galeries va en direction NO-SE et le système de galeries traversant les blocs direction SO-NE ont un volume de 64 900 m³. Comme les systèmes de galeries sont pris en compte dans une des options de remblayage, ils sont inclus dans le

Introduction et portée de l'étude

Situation géologique

Conditions d'exploitation minière

calcul du volume d'excavation.

Un aspect clé de cette étude a été l'examen des composés des différents matériaux déposés et de leur quantité afin d'évaluer de possibles réactions aux composés des différents matériaux de remblayage et leur impact sur l'environnement. Une évaluation complète du contenu des blocs de déchets et des composés des matériaux déposés et leurs quantités respectives a révélé la présence d'arsenic, de cyanure, de chrome, de chromate et de mercure comme principaux polluants. Une mobilisation d'une proportion importante des déchets serait effective dans le bloc 15 où les contenants de stockage seront brûlés. Cependant, après remblayage, les déchets seront isolés de toute infiltration de saumure. Si de la saumure venait à infiltrer les matériaux, les fuites seraient de l'ordre de 0 à 1 % de la quantité des matériaux dangereux dans un environnement où les matériaux déposés sont complètement inclus dans un massif de remblai.

Les prérequis et les limites pour le remblayage ont été examinés en relation avec les matériaux de remblayage et les technologies applicables. Comme le niveau de stockage des déchets est en dessous du niveau minier, la stratification de saumures de différentes densités empêchera l'infiltration de saumure entre ces niveaux. Les piliers stables du niveau de stockage ralentiront la fermeture des cavités ouvertes due à la pression des morts-terrains de telle manière que les espaces dans les niveaux miniers seront fermés bien avant ceux du niveau de stockage. Cela réduira la section de passage d'écoulement de saumure qui se serait échappée des compartiments du niveau de stockage lors de la fermeture. Si l'on se base sur un facteur de remblayage de 95 %, la convergence totale des compartiments devrait être de l'ordre de 7 à 8 %. De plus, les piliers stables favorisent la réduction de la résistance à la compression requise des matériaux de remblayage. Un pilier résiduel se trouvant en couche inférieure au dessus de la partie centrale sud de la zone de stockage des déchets, augmente la charge des piliers dans les galeries de cette zone. Il est recommandé de remblayer les galeries de cette zone.

Le matériau de remblayage isolera les réservoirs de stockage des déchets d'une infiltration de saumure. Obturer les entrées des blocs remblayés empêchera la saumure de pénétrer dans le massif de remblai. La construction de serrements dans les galeries adjacentes stoppera l'écoulement de saumure ou tout du moins le ralentira à un niveau ou l'échange de saumure entre la zone de stockage des déchets et la zone minière est improbable.

Tous les réservoirs n'étant pas étanches sur le long-terme, il est possible d'avoir des réactions chimiques entre les matériaux et de petites quantités de saumure entrant par des ouvertures ou des microfissures dans le massif de remblai. Cependant un échange entre les saumures polluées à l'intérieur du massif et la saumure dans les galeries environnantes est très improbable ; la saumure ne devrait normalement pas circuler au niveau de la zone de stockage des déchets car les réactions chimiques avec d'autres matériaux créeront une sédimentation des produits réactifs qui bloquera les parcours d'écoulement à l'intérieur du massif de remblai. La diffusion disperserait les matériaux dans la saumure mais les diluerait également jusqu'à ce qu'ils aient une faible teneur.

L'espace souterrain nécessaire est un problème pour la construction d'une installation de remblayage. Comme le percement de galeries ou le forage serait relativement coûteux, il faudra évaluer les avantages et inconvénients d'une installation de remblayage en surface ou souterraine. Au niveau du coût du matériel, une installation souterraine est plus avantageuse, grâce à un système de pipelines beaucoup plus court, comparé à une installation en surface.

Contenu des blocs de stockage des déchets

Prérequis de base pour le remblayage de la zone de stockage des déchets

Les matériaux de remblayage devront avoir une capacité d'écoulement très élevée et s'auto-niveler. Pour éviter des réactions chimiques imprévisibles avec les déchets, le durcissement des matériaux de remblayage par processus exothermique devra être surveillé et contrôlé.

Au vu des prérequis des propriétés des matériaux de remblayage, on étudiera à la fois la pulpe de sel gemme et le béton de remblayage. Il est possible d'utiliser les deux types de matériaux, compte-tenu des technologies considérées, mais le béton de remblayage est plus avantageux du fait de ses propriétés et du fait qu'il n'est pas nécessaire de collecter et de traiter la saumure en surplus.

Il est recommandé d'isoler la zone de stockage des déchets des afflux de saumure à l'aide de serrements étanches en plus du remblayage des blocs.

Les quantités de matériaux de remblayage et des matériaux utilisés pour les serrements de la couche de sel gemme ont été calculées et forment la base de l'estimation approximative des coûts en fonction des différentes options de remblayage.

Plusieurs technologies de remblayage ont été considérées en se basant sur les matériaux de remblayage proposés et sur une installation en surface ou souterraine. La technique de remblayage comprend l'accès aux blocs de déchets, l'installation de remblayage et son positionnement, de même que les installations pour insérer les matériaux de remblayage dans les blocs de déchets. L'isolation de la zone de stockage des déchets inclut la construction de serrements dans le système de galeries environnant. Les emplacements proposés par StocaMine ont été examinés et légèrement déplacés. Des serrements en sel gemme ont été comparés avec des serrements en béton.

On devrait accéder aux blocs via les systèmes de galeries déjà existants pour éviter autant que possible de creuser de nouvelles galeries ou d'effectuer de nouveaux forages. Il est envisageable d'utiliser une installation de remblayage en surface avec distribution souterraine ou une installation de remblayage souterraine. Ces deux types d'installation présentent des avantages sous différents aspects. Cependant une installation de remblayage souterraine est préférable, car cette technique requiert moins d'espace et ne nécessite aucune autorisation, contrairement à une installation en surface. De plus, cela réduit la longueur des pipelines, donc les coûts. Le transport et l'insertion des matériaux de remblayage dans les blocs de déchets se fait à l'aide de pipelines rigides et souples. L'évaluation des constructions de serrements conclut qu'il vaut mieux étanchéifier la zone de stockage des déchets avec des serrements en béton plutôt que le sel gemme.

Quatre options de remblayage ont été comparées dans une estimation des coûts approximatifs comprenant différents aspects du remblayage et de l'isolement de la zone de stockage des déchets par serrements. L'accès aux blocs et les techniques de remblayage, de même que les matériaux sont les mêmes pour toutes les options. Les coûts et les durées estimés de l'opération de remblayage ont été établis pour chaque option.

De plus, la différence de coût entre une installation en surface et une installation souterraine est également donnée, de même que le coût de remblayage des galeries qui peuvent être affectées par le pilier résiduel dans la couche inférieure.

Conditions et contraintes de la composition des matériaux de remblayage

Technique de remblayage

Estimation des coûts approximatifs

L'évaluation de l'environnement géologique, de la situation de la zone de stockage des déchets dans le site Amélie, des contenus des blocs de déchets, ainsi que les composés de ces blocs nous amènent à la conclusion qu'il est faisable d'isoler la zone de stockage des déchets par remblayage.

Conclusions et recommandations

L'examen des différents matériaux et techniques de remblayage nous a mené à recommander un matériau et une technique de remblayage appropriés. La construction et le positionnement de serrements ont été conseillés afin de d'isoler la zone de stockage des déchets. Une étude comparative de l'estimation des coûts approximatifs pour quatre options de remblayage a mené à recommander l'option modifiée 2 (remblayage en béton des blocs de déchets et des galeries qui pourraient être affectées par le pilier résiduel dans la couche inférieure de la mine avec une installation souterraine et des serrements en béton) pour un coût estimé de 12 200 000 EUROS. Cependant, une étude approfondie des réactions chimiques entre les déchets et les matériaux de remblayage proposés sera nécessaire afin d'établir la composition finale du matériau de remblayage. Les différentes techniques examinées font l'objet d'un ajustement minutieux de la composition du matériau de remblayage final, avant qu'une étude plus détaillée ou d'ingénierie de base identifie cette technique de remblayage modifiée comme étant la plus faisable.

Équipe du projet

Dr. Henry A. M. Rauche
Dr. Sebastiaan van der Klauw
Mrs. Heidrun Rauche
Mr. Jürgen Kaufmann
Mr. Thomas Teichert
Mr. Carsten Ackermann
Mr. Volker Schwalm
Mrs. Elke Hake

TABLE DES MATIERES

RESUME	2
TABLE DES MATIERES	7
LISTE DES FIGURES	9
LISTE DES TABLEAUX	10
LISTE DES ANNEXES	11
LISTE DES ABREVIATIONS	12
EXPLICATION DES NOMS DE MINERAUX	13
REFERENCES SUR L'ORTHOGRAPHE DES TERMES GEOLOGIQUES	14
1 Introduction et Portée de l'Étude	15
2 Environnement géologique	17
2.1 Stratigraphie du dépôt potassique du fossé Rhénan supérieur	19
2.2 Géologie Structurale de l'Aire de Stockage de StocaMine	20
2.3 Conditions hydrogéologiques	21
3 Conditions d'exploitation minière	21
3.1 Emplacement et plan de la mine Amélie	21
3.2 Emplacement et plan du site de stockage des déchets	22
3.3 Connexions entre les chantiers d'exploitation et le site de stockage des déchets	23
3.4 Délimitation et description de la zone de remblayage	23
3.5 Bilan Volumique de l'Excavation	26
4 Contenu des Blocs de stockage des Déchets	29
4.1 Quantités de Déchets Stockés et Répartition dans les Blocs	29
4.2 Contenu des déchets	34
5 Exigences de Base pour le Remblayage de la Zone de Stockage des Déchets	38
6 Conditions et Contraintes de la Composition des Matériaux de Remblayage	44
6.1 Propriétés requises des matériaux	44
6.2 Recommandations sur la Composition des Matériaux	45
a) Pulpe de remblayage hydraulique	47
b) Béton de Remblayage	48
6.3 Bilan Massique du Remblayage	49

7	Techniques de remblayage	52
7.1	Options d'accès	52
7.2	Préparation des Blocs	57
7.3	Options de Techniques de remblayage	58
7.4	Obturer la Zone de Stockage des Déchets par des Serrements	64
	a) Serrements en Sel Gemme	66
	b) Serrements en Béton	66
7.5	Option recommandée	67
8	Estimation des Coûts Approximatifs	68
9	Conclusions et Recommandations	72
	REFERENCES	74

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Stratigraphie générale du bassin de Wittelsheim (basée sur /9/ - Carreau Joseph - colonne stratigraphique)	18
Figure 2	Connexions entre le site de stockage des déchets et les chantiers d'exploitation (basé sur /11/- Plan de mine - Site de stockage des déchets)	24
Figure 3	Délimitation de la zone de remblayage, y compris l'emplacement des serrements (aire maximale) (basé sur /11/- Plan de mine - Site de stockage des déchets)	25
Figure 4	Emplacement du Pilier résiduel dans les Niveaux d'Exploitation Potassique (basé sur /11/ - Plan de Mine - Site de stockage des déchets)	42
Figure 5	Concentration de la pression verticale et horizontale sur et sous le pilier résiduel aux niveaux d'exploitation de la potasse (basé sur /6/ - Ecole nationale supérieure des Mines de Paris 2006)	43
Figure 6	Option A1 - Remblayage depuis la Surface via des Forages	53
Figure 7	Option A2 – Remblayage depuis le Système de Galeries adjacentes	54
Figure 8	Option A3 - Remblayage par Galeries de Remblayage et Galeries d'Évacuation de Saumure	56
Figure 9	Option T1 - Installation en Surface	60
Figure 10	Option T2 - Installation Souterraine	61
Figure 11	Option T3 - Installation de pré-Malaxage en Surface et Installation de Remblayage Souterraine	63
Figure 12	Emplacements recommandés des serrements (basé sur /11/ - Plan de mine - Site de stockage des déchets, /18/- Plan de mine – Emplacements proposés des serrements)	65
Figure 13	Conception Générale d'un Serrement en Béton avec Fermeture au Bitume	67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Bilan Volumique de l'excavation des blocs de stockage des déchets (chiffres pris et calculés sur /11/- Plan de mine - et /1/- Réunion du 05/11/2007)	27
Tableau 2	Bilan Volumique de l'excavation des systèmes de galeries adjacentes (chiffres pris et calculés sur /11/- Plan de mine - et /1/- Réunion du 05/11/2007)	28
Tableau 3	Bilan Volumique de l'excavation pour toutes les options de remblayage	28
Tableau 4	Classes et catégories de déchets (selon /5/- BMG Engineering 2004)	29
Tableau 5	Vue d'ensemble des quantités de déchets stockées (selon /5/- BMG Engineering 2004)	30
Tableau 6	Quantités de déchets stockées y compris le bloc 15 (selon /5/- BMG Engineering 2004)	31
Tableau 7	Quantités de déchets stockées sans le bloc 15 (selon /5/- BMG Engineering 2004)	32
Tableau 8	Quantités de déchets stockées dans le bloc 15 (selon /5/- BMG Engineering 2004)	33
Tableau 9	Contenus en métaux lourds, cyanure et cyanite pour tous les blocs, y compris le bloc 15 (chiffres basés sur /5/- BMG Engineering 2004)	36
Tableau 10	Contenus en métaux lourds, cyanure et cyanite pour tous les blocs, pour le bloc 15 (chiffres basés sur /5/- BMG Engineering 2004)	37
Tableau 11	Quantités des Principaux Polluants (chiffres basés sur /5/- BMG Engineering 2004)	38
Tableau 12	Comparaison des Matériaux de Remblayage applicables	46
Tableau 13	Propriétés des matériaux de remblayage et des composés	50
Tableau 14	Bilan Massique du Remblayage pour les quatre Options utilisant du Béton de remblayage	50
Tableau 15	Bilan Massique du remblayage pour les Serrements en Sel	51
Tableau 16	Comparaison des Estimations Approximatives des Coûts et des Calendriers Généraux pour les options discutées	71

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1	Plan des options d'accès et de technologies de remblayage
ANNEXE 2	Plan d'Implantation des serrements proposé par StocaMine
ANNEXE 3	Plan général - Aire de remblayage et emplacements recommandés des serrements
ANNEXE 4	Fiches de donnée – quick mix DM 1 V

LISTE DES ABREVIATIONS

Les abréviations des unités de mesure et des constantes utilisées tout au long de cette étude sont les suivantes :

g	gramme
g/cm ³	gramme par centimètre cube
g/l	gramme par litre
H ₂ O	eau
ha	hectare
K ₂ O	oxyde de potassium
KCl	chlorure de potassium
kg	kilogramme
km	Kilomètre
km ²	kilomètre carré
m	mètre
m ²	mètre carré
m ³	mètre cube
m ³ /a	mètres cube par an
m ³ /j	mètres cube par jour
m ³ /h	mètres cube par heure
m%	pourcentage en masse
Mg	magnésium
MgCl ₂	chlorure de magnésium
mm	millimètre
NaCl	chlorure de sodium
t	tonne
t/a	tonnes par an
t/d	tonnes par jour
t/h	tonnes par heure
t/m ³	tonnes par mètre cube
vol. %	pourcentage en volume
%	pourcent

EXPLICATION DES NOMS DE MINERAUX

Les noms de minéraux utilisés tout au long de cette étude sont les suivants :

<i>Nom</i>	<i>Formule chimique</i>
Halite	NaCl
Sylvite	KCl
Carnallite	KMgCl ₃ x 6 H ₂ O
Tachyhydrite	CaMg ₂ Cl ₆ x 12 H ₂ O
Bischofite	MgCl ₂ x 6 H ₂ O
Anhydrite	CaSO ₄

Les noms de minéraux sont écrits en lettres capitales tout au long de ce rapport.

Les noms de roches sont écrits en lettre minuscules tout au long de ce rapport. Les noms des roches évaporitiques sont utilisés selon la terminologie lithologique internationale, et sont formés par le suffixe –it se plaçant derrière le nom du minéral évaporitique principal ; L'exception à la règle est pour la halite et la sylvite, étant donné qu'un suffixe n'est pas la norme pour ces types de roche.

REFERENCES SUR L'ORTHOGRAPHE DES TERMES GEOLOGIQUES

Les termes stratigraphiques de même que les termes de la tectonique sont écrits en majuscule tout au long de ce rapport.

1 Introduction et Portée de l'Étude

StocaMine gère une zone souterraine de stockage des déchets dans l'ancien site minier potassique Amélie, près de Wittelsheim où les déchets ont été mis dans des blocs de stockage développés dans les couches de sel gemme en dessous des couches potassiques. Ces blocs ont été creusés par la méthode par chambres et piliers à une profondeur de 600 m et à environ 25 m en dessous des couches potassiques, afin d'éliminer les déchets. En 2002, environ 42 000 t de déchets ont été mis dans neuf blocs. Ces déchets sont principalement des résidus d'incinération, mais également des matériaux contenant des métaux lourds, du cyanure, de l'amiante, des produits phytosanitaires, ainsi que des déchets de laboratoire et de la terre polluée. Les déchets ont été mis en fûts, en conteneurs ou en big-bags, puis empilés sur deux niveaux dans les blocs. Un incendie s'est déclaré en 2002 dans le bloc 15 où environ 1 700 t de déchets étaient entreposés. Suite à cet événement, StocaMine a cessé ces activités de stockage des déchets.

Avant de pouvoir fermer le site minier Amélie et de remblayer les puits, il faudra apporter la preuve d'une isolation stable des déchets entreposés sur les sites de StocaMine. Si la preuve ne peut être apportée, il faudra peut-être enlever les déchets du site et les éliminer ailleurs.

StocaMine a donc fait réaliser plusieurs études sur ce sujet. Un rapport récent de la firme suisse BMG ENGINEERING AG, située à Bâle, compare les options de :

- (i) enlèvement des déchets et transfert sur d'autres zones de stockage
- (ii) isolement des déchets par construction de serrements dans les galeries d'arrivée d'eau

et est arrivée à la conclusion que pour des raisons de sécurité mais aussi de coûts, l'option (ii) est la mieux adaptée.

Pour donner suite à cette recommandation, StocaMine va étudier la faisabilité technique et économique d'une isolation des déchets par remblayage complet pour créer une *inclusion complète des déchets (vollständiger Einschluss der Abfälle¹)*. Dans ce contexte, StocaMine a demandé à la société ERCOSPLAN Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH (ERCOSPLAN) de réaliser une ETUDE DE FAISABILITE

¹ Inclusion complète des déchets : Traduit du terme juridique Allemand « vollständiger Einschluss der Abfälle »; signifie encapsulation des déchets dans les blocs de déchets par (i) la barrière naturelle de la roche hôte, et (ii) les entrées des blocs de déchets obturées par des matériaux de remblayage techniquement étanches.

Remblayage de la zone souterraine de stockage des déchets de StocaMine, Wittelsheim/France

Les données nécessaires ont été fournies et expliquées lors d'une réunion au sein de StocaMine le 5 novembre 2007. De plus, une visite de la zone de stockage de Joseph-Else sur le site d'Amélie a également eu lieu ce même jour.

Le but principal de cette Etude de Faisabilité est de comparer les concepts possibles pour réaliser l'inclusion complète des déchets par remblayage des cavités et la preuve de leur viabilité technique et économique.

Au regard du cadre spécifique de StocaMine, dans l'Etude de Faisabilité :

- (1) Technologies appropriées pour l'emplacement des matériaux de remblayage,
- (2) Matériaux appropriés pour le remblayage des cavités dans tous les blocs de déchets

de même que

(3) Saumures pour le transport hydraulique des matériaux de remblayage seront identifiés. De plus, pour le bloc 15 ravagé par un incendie, il faudra déterminer dans quel cadre et par quelles méthodes, les considérations spécifiques devront être conduites. En ce qui concerne la sélection des saumures conformes pour le transport hydraulique des matériaux de remblayage, il faudra examiner tout particulièrement les réactions chimiques possibles et le moyen de transport. Il faudra porter une attention particulière aux preuves montrant comment la nappe phréatique sera peut-être affectée par des solutions de remblayage contaminées avec l'inondation prévue du site minier adjacent Amélie.

En comparant les avantages et inconvénients de toutes les options possibles, des options préférées (*'meilleure option'*) ont été définies.

Selon le cadre général de ce travail, l'étude comprend donc les tâches suivantes :

TACHE 1 EVALUATION DE BASE/ ANALYSE

- (A) de toutes les informations nécessaires sur la législation minière, les conditions environnementales et la question de l'eau ;
- (B) des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques ;
- (C) de la géométrie du site minier, y compris les infrastructures etc. ;
- (D) du type des déchets et leur quantité, leur répartition dans les blocs de déchets et l'état des conteneurs à déchets ;
- (E) de la technique de stockage et de son volume d'utilisation.

Les résultats de la TACHE 1 formeront la base de la TACHE 2.

TACHE 2 ACQUISITION ET EVALUATION DES DONNEES

- (A) sur les réactions chimiques et physiques des déchets face à une inondation d'eau et de saumure ; y compris la façon dont ils se dissolvent/éludent pendant le remplissage et pendant/après l'inondation de la mine montrant également les changements positifs et négatifs durant le remplissage du site ;
- (B) sur les interactions possibles entre les déchets et les roches hôtes ;
- (C) sur la possibilité d'une émanation de gaz provenant des déchets due à une température souterraine plus élevée.

Au sein de la TACHE 2, les bases essentielles à l'approbation du concept de remblayage devront être rassemblées.

Cette Etude de Faisabilité indiquera donc si les conditions de base pour le remblayage sont remplies à StocaMine.

Les résultats des sous-tâches de la TACHE 1 sont donnés dans les chapitres suivants. En premier lieu, les caractéristiques géologiques et hydrologiques sont décrites dans le chapitre 2. Le chapitre 3 résume les caractéristiques géométriques en analysant le site Joseph-Else en se concentrant sur la zone de stockage des déchets. La technique de stockage, de même que les quantités de déchets et leur contenu sont examinés dans le chapitre 4.

Les chapitres 5 et 6 donnent les résultats des points soulevés dans la TACHE 2. A partir de ces résultats, les techniques de remblayage, les procédures et les solutions envisagées pour mélanger et transporter les matériaux de remblayage sont examinées dans le chapitre 7, de même que les recommandations sur la meilleure option. Le chapitre 8 comprend une comparaison des coûts approximatifs de quatre options de remblayage basées sur les recommandations du chapitre 7. La conclusion finale et un résumé des recommandations sont présentés dans le chapitre 9.

2 Environnement géologique

Le site de stockage des déchets de StocaMine se trouve dans la partie sud du Fossé Rhénan Supérieur, qui fait partie du système de fossés Cénozoïque de l'Europe centrale. Le Fossé Rhénan Supérieur fait approximativement 150 km de long et entre 10 et 40 km de large. Au sud et au centre de ce fossé, se trouve un certain nombre de bassins évaporitiques des époques Eocène et Oligocène ayant une couche de sédiments allant jusqu'à 1 700 m d'épaisseur. Seul le Bassin de Mulhouse, au sud de ces bassins évaporitiques, contient des sels potassiques qui ont été intensivement exploités. Le Bassin potassique de Mulhouse contient deux Sous-bassins, le Buggingen à l'est, peu profond, et le Wittelsheim à l'ouest, plus profond.

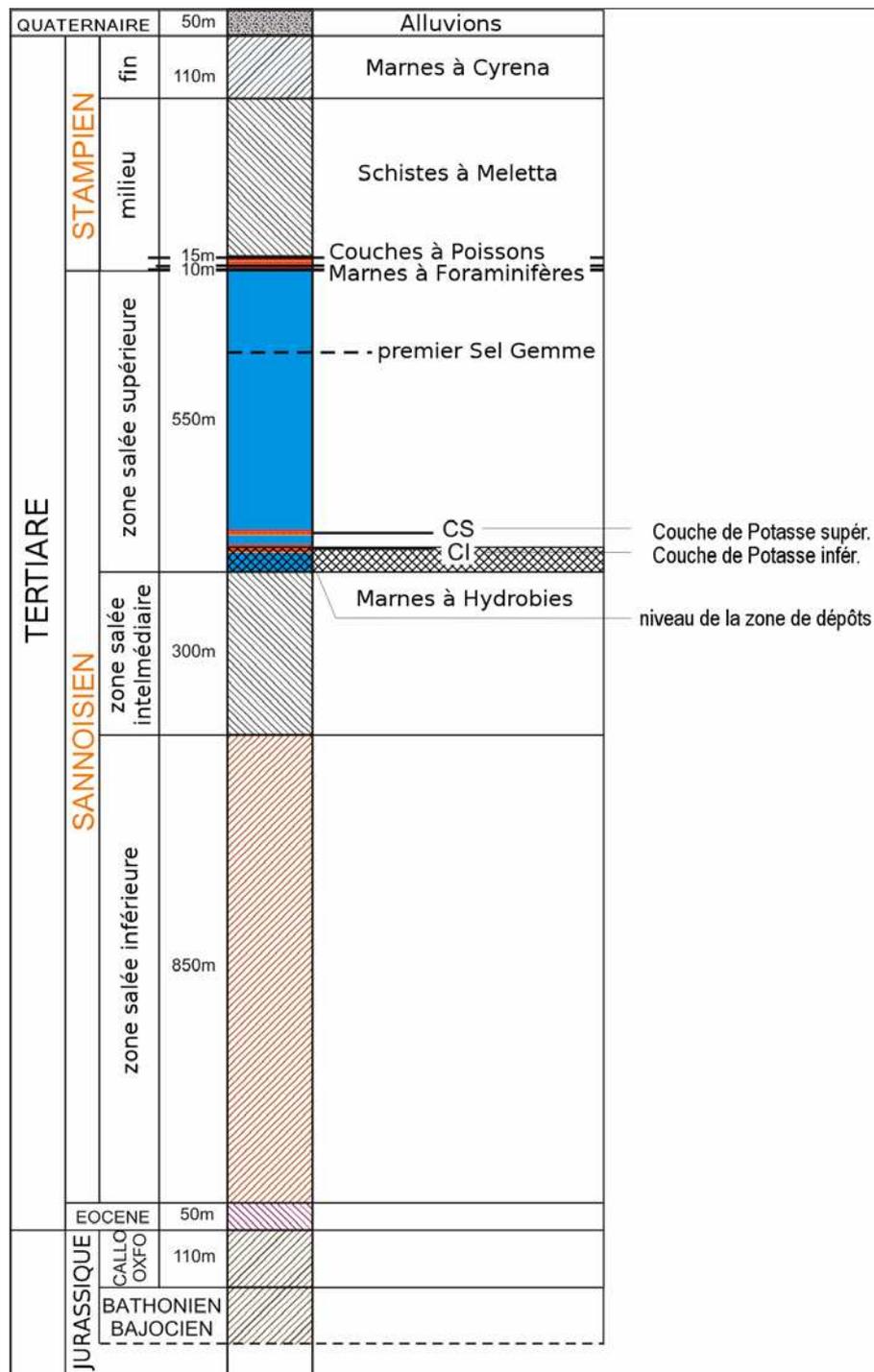


Figure 1 Stratigraphie générale du bassin de Wittelsheim (basée sur /9/ - Carreau Joseph - colonne stratigraphique)

Le site de stockage des déchets de StocaMine est intégré à l'ancienne mine potassique Amélie. L'ancien site minier potassique Amélie est situé dans le Sous-bassin du Wittelsheim, qui fait partie du bassin potassique de Mulhouse situé entre les villes de Colmar, Fribourg et Mulhouse. La stratigraphie générale du bassin de Wittelsheim dans cette région est donnée dans le Figure 1 et décrite plus en détails dans la section suivante.

2.1 Stratigraphie du dépôt potassique du fossé Rhénan supérieur

Le Bassin potassique du Wittelsheim sur la zone de stockage des déchets de StocaMine est caractérisé par la stratigraphie suivante (de haut en bas):

- Dépôts alluviaux de gravier, sable et d'argile limoneuse, d'une épaisseur entre 20 et 50 m. Ces sédiments se sont déposés de manière sporadique depuis l'époque Pliocène.
- Ces dépôts alluviaux, en discordance stratigraphique, reposent sur une alternance de marnes sableuses au sable fin et meuble. Cette formation d'une épaisseur de 100 à 110 m date approximativement de la fin de l'époque Oligocène (Fin du Stampien).
- Ces sédiments, en concordance stratigraphique, recouvrent une série (presque 300 m d'épaisseur) des marnes sablonneuses fines contenant du mica, qui continent occasionnellement des couches minces (~10 cm d'épaisseur) de calcaire dolomitique. Sur les 40 à 50 m inférieurs de cette série, se trouvent quelques couches de grès. Cette série date approximativement du début de l'époque Oligocène (milieu du Stampien).
- Une série de marne, en concordance, recouvre une série de marnes bitumeuses et une série de marnes pyritiques. L'épaisseur de ces deux formations totalise environ 20 m. Basé sur l'âge de fossiles de foraminifères et de poisson, ces formations datent du début de l'époque Oligocène (Début du Stampien).
- Les marnes concordantes et riches en fossiles recouvrent une série saline constituée de marnes, de sel gemme, d'anhydrite et de quantités moindres de sels potassiques datant de l'Eocène/Oligocène (Sannoisien) ; Ces marnes sont divisées en trois zones :
 - Zone Salée Supérieure, d'environ 550 m d'épaisseur, divisée en
 - 50 à 100 m de marnes non salées contenant des lentilles de gypse et d'anhydrite
 - ~300 m de sel gemme avec quelques couches/lentilles de marnes colorées et d'anhydrite

- ~40 m de zones potassiques contenant deux veines de sylvinite d'une épaisseur entre 2 et 6 m, séparées par une couche stérile, composée de sel gemme avec quelques couches de marne et d'anhydrite. Ces deux horizons potassiques ont été complètement exploités sur le site minier Amélie.
- ~40 m de sel gemme interstratifié avec une quantité moindre d'argile et d'anhydrite. Les compartiments de stockage de StocaMine ont été creusés dans le sel gemme de cet horizon.
 - Zone Salée Intermédiaire d'une épaisseur de 300 m, composée essentiellement de marnes (contenant partiellement des fossiles), d'anhydrite et de sel gemme comportant quelques couches d'anhydrite, de marnes ou d'argile dans la partie inférieure.
 - Zone Salée Inférieure d'une épaisseur de 850 m, composée de deux couches épaisses de sel gemme avec une quantité moindre d'anhydrite, d'horizons de marne et deux horizons de marne épais.
- Localement, la couche de sel gemme recouvre un conglomérat de lentilles d'anhydrite avec une couche d'une épaisseur de 100 m maximum. Le conglomérat est composé de pisolithes contenant du fer.

Les roches du soubassement du remblai du fossé tertiaire sont des roches sédimentaires datant de l'Ere Mésozoïque ; elles sont principalement composées de marnes avec quelques roches carbonées dans la partie supérieure, et de roches carbonées avec quelques marnes dans la partie inférieure.

2.2 Géologie Structurale de l'Aire de Stockage de StocaMine

Grâce à l'exploitation des couches de potasses dans la mine Amélie, la géologie structurale de l'aire de stockage de StocaMine est bien connue. Les couches de sel gemme en l'aire de stockage de StocaMine sont subhorizontales avec une légère inclinaison nord-ouest. Aucune faille n'a été répertoriée dans le séries salines en l'aire de stockage de StocaMine, bien que d'autres failles profondes aient été identifiées dans d'autres parties du bassin. Des failles normales d'orientation SO-NE compartimentent le bassin potassique. Elles peuvent avoir plusieurs centaines de mètres de rejet et se traduisent par des flexures faibles au niveau des couches d'évaporites viscoplastiques.

2.3 Conditions hydrogéologiques

Au regard des conditions hydrogéologiques, la colonne stratigraphique est divisée en quatre unités principales :

- Les dépôts alluviaux contiennent de larges quantités d'eau souterraine. L'eau souterraine provient des précipitations et des écoulements des collines des Vosges vers le système de décharge du Rhin.
- Les séries de marnes datant du Stampien comportent de l'eau uniquement dans les horizons perméables comme les carbonates dolomitiques et quelques horizons sableux. Ces réservoirs ne contiennent que peu d'eau.
- Les séries salines ne contiennent normalement pas d'eau. Au cours de l'excavation, des inclusions de saumure ont été trouvées. Il y a également de petites quantités d'eau salée dans les marnes sans sel de la Zone Salée Supérieure.
- Les dépôts secondaires à la base des séries évaporitiques contiennent énormément d'eau dans les roches calcaires perméables.

Les compartiments de StocaMine sont séparés des horizons supérieurs qui contiennent de l'eau par une couche étanche constituée de sel gemme de 100 m d'épaisseur et par 100 m supplémentaires de marnes très peu perméables. La situation est similaire pour les horizons contenant de l'eau situés en dessous des cavités.

3 Conditions d'exploitation minière

Le site souterrain de stockage des déchets de StocaMine se trouve dans le site potassique Amélie, dont l'exploitation a été abandonnée, près des puits Joseph et Else dans la couche de sel gemme sous les couches de potasse. Ce chapitre décrit brièvement la situation géographique et l'état de la mine Amélie (chapitre 3.1), donne plus de détails sur la zone de stockage des déchets et les chantiers miniers qui lui sont connectés (chapitres 3.2 et 3.3) et donne des explications sur l'aire de remblayage (chapitre 3.4). Le bilan volumique de l'excavation qui sert de base au calcul du volume de remblayage est donné au chapitre 3.5.

3.1 Emplacement et plan de la mine Amélie

La mine Amélie est située au sud de Wittelsheim et couvre la zone entre la ville et Reiningue. Après l'exploration avec succès, le premier puits, Amélie I, a été creusé

par fonçage en 1908. La production de potasse a débuté en 1910 et s'est arrêtée en 2002 après l'incendie du site de stockage des déchets de Stocamine. Cependant, la fermeture de la mine était déjà programmée car le gisement aurait été épuisé en 2003.

La potasse était exploitée dans deux couches à une profondeur de 580 m (près des puits Joseph et Else). L'exploitation se faisait par la méthode de la longue-taille, avec une paroi de 250 m de long et jusqu'à 3,5 m de haut. Pour assurer une stabilité sur le long terme, l'entrée principale et les galeries de convoyage ont été creusées dans la couche de sel de gemme à environ 20 m en dessous de la couche potassique inférieure. Elles ont été creusées en parallèle et séparées par un pilier de 3,0 m de large. Chaque galerie fait 2,5 à 3,0 m de haut et de 3,8 à 6,0 m de large. Des travers-bancs et des galeries d'accès furent ensuite creusés dans les couches potassiques. Leur largeur était limitée à 3,8 ou 4,0 m pour assurer la stabilité du toit.

3.2 Emplacement et plan du site de stockage des déchets

Deux des puits de la mine Amélie, Joseph et Else, se trouvent directement au nord de la RN 66, à la sortie de la route départementale D19 et sur l'axe SNCF Mulhouse-Kruth. Au sein de cette zone d'exploitation, le site de stockage des déchets de StocaMine est à 600 m de profondeur au niveau de la galerie principale, à 25 m en dessous des couches exploitées et affaissées. Il s'étend à 550 m NO-SE et 450 m SO-NE à une distance d'environ 250 m des puits de mine.

Le site de stockage des déchets comporte dix blocs de stockage, dont neuf sont remplis de déchets et deux sont partiellement découpés. Chaque bloc mesure 224 m de long et 76 m de large ; les blocs partiellement découpés font 152 m de large et ont la même longueur. Les galeries font 5,5 m de large et de 2,8 à 3,0 m de haut. Les piliers carrés font 20 x 20 m. Les blocs sont séparés par des piliers barrière qui ont une largeur minimum de 4 m.

L'accès aux blocs se fait par des doubles galeries, séparées par des piliers de 3,0 m de large. Les blocs sont alignés NO-SE en deux rangs avec une double galerie au centre, et une double galerie à chaque extrémité. La dimension de ces galeries est de 3,8 m de large et 2,8 à 3,0 m de haut. De ces galeries, une galerie centrale et deux galeries extérieures mènent aux galeries principales qui sont reliées aux puits Joseph et Else.

3.3 Connexions entre les chantiers d'exploitation et le site de stockage des déchets

Il n'y a aucune liaison directe entre les veines potassiques exploitées et les blocs du site de stockage des déchets. Cependant ces blocs sont reliés à un certain nombre de galeries principales dans les couches de sel gemme qui mènent aux puits exploités.

Les connexions au puits Joseph, et de ce fait à tous les chantiers d'exploitation accessibles depuis ce puits, se font via les galeries suivantes :

- Vam RAJ1 / RAJ2, Vam AJ2 et AJ3D au nord ouest des blocs,
- Vam AQ0T / AQ0D au sud ouest des blocs,
- Vam AJF2T-D, Vam AJET / AJED via Vam JOST / JOSD au sud ouest des blocs.

Les connexions au puits Else, et de ce fait à tous les chantiers d'exploitation accessibles depuis ce puits, se font via les galeries suivantes :

- Vam AJF2T-D, Vam AJET / AJED via Vam ELST / ELSD au sud ouest des blocs.

Les connexions au puits Amélie 2, et de ce fait à tous les chantiers d'exploitation accessibles depuis ce puits, se font via les galeries suivantes :

- Vam AJFT / AJFT via Vam 63D ou Tb AJE.

La Figure 2 montre le site de stockage des déchets et les connexions aux puits et aux chantiers d'exploitation.

La stabilité à long terme des galeries principales permet d'avoir des connexions ouvertes aux puits et aux chantiers d'exploitation pour une durée considérable. Il est donc nécessaire de fermer les galeries en construisant des serrements. L'emplacement conseillé des différents serrements est donné au chapitre 7 pour les différentes options de remblayage.

3.4 Délimitation et description de la zone de remblayage

StocaMine a donné des précisions sur la zone devant être isolée par remblayage lors d'une réunion à Wittelsheim le 1^{er} Novembre 2007. La zone de remblayage comprend les blocs de stockage des déchets et les doubles galeries qui y sont associées. L'emplacement des serrements varie selon l'option de remblayage (voir chapitre 7) et les conditions géo-mécaniques dans la galerie. Donc seule la délimitation générale avec le périmètre le plus éloigné de la zone de remblayage est décrite. La Figure 3 dessine le contour de la zone devant être remblayée. Cette zone inclut l'espace nécessaire pour les serrements. Selon l'option de remblayage choisie, la zone sera peut-être plus petite, mais ne sera pas plus large.

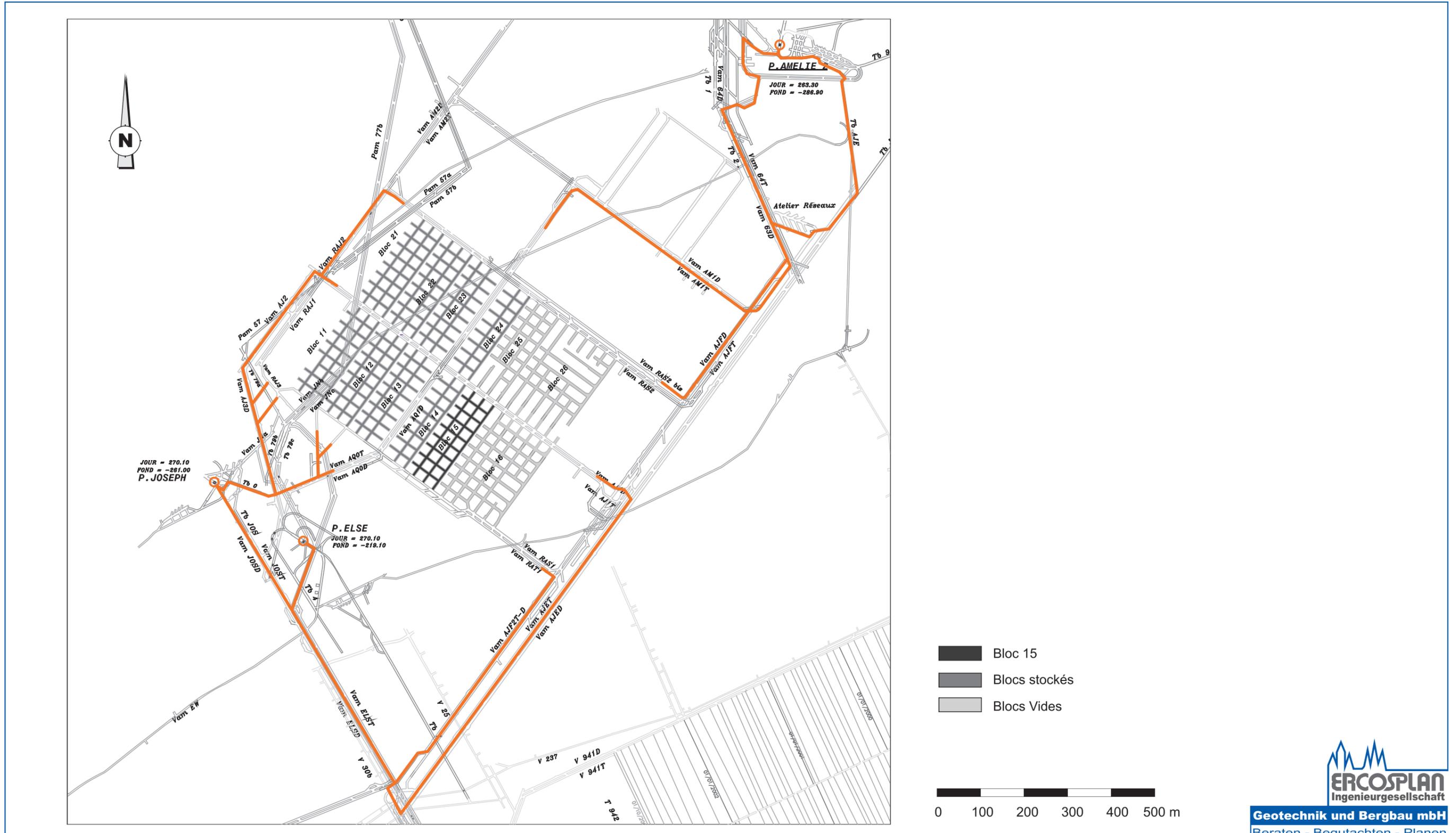


Figure 2 Connexions entre le site de stockage des déchets et les chantiers d'exploitation (basé sur /11/ - Plan de mine - Site de stockage des déchets).

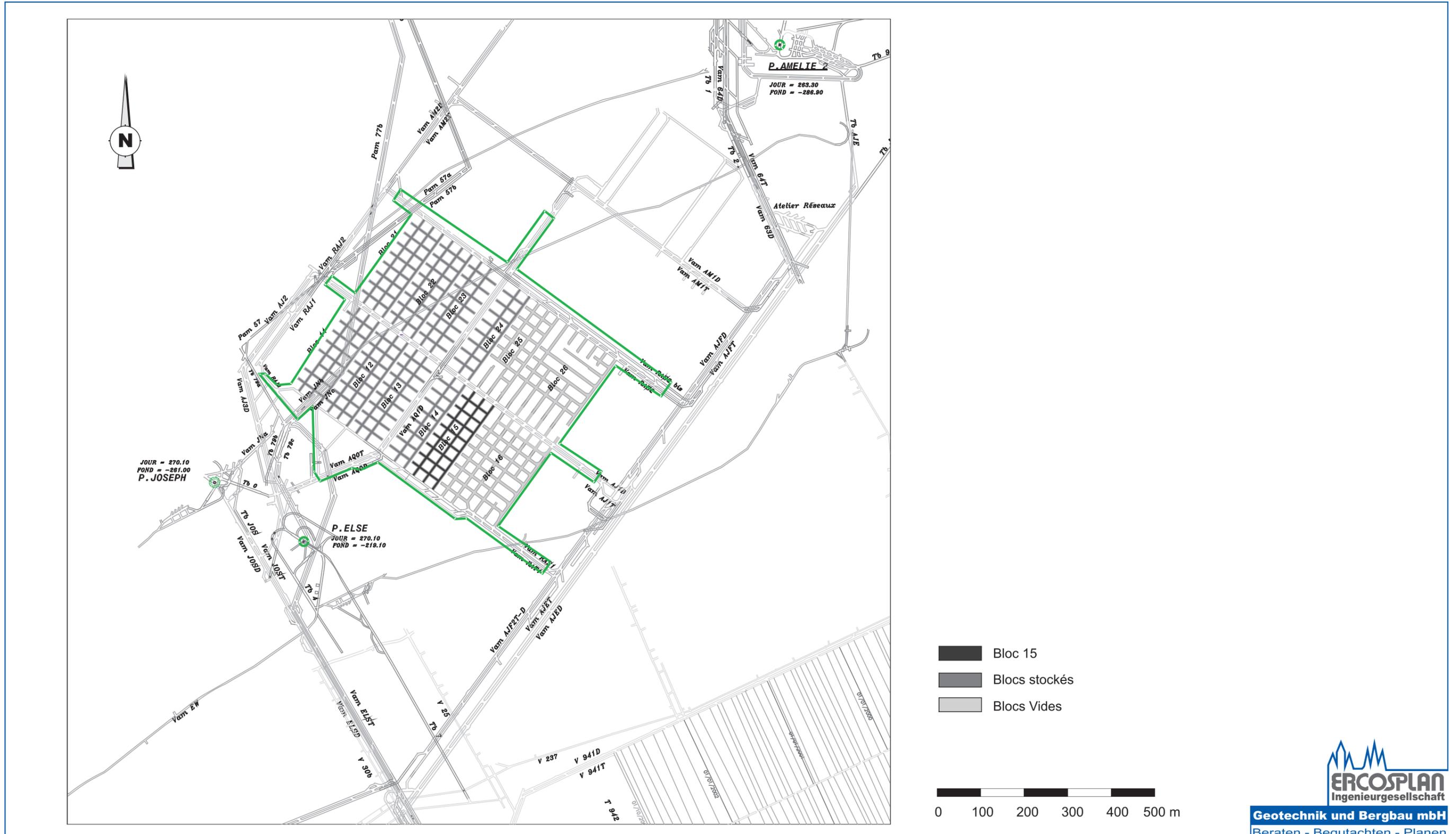


Figure 3 Délimitation de la zone de remblayage, y compris l'emplacement des serrements (aire maximale) (basé sur /11/ - Plan de mine - Site de stockage des déchets.)

3.5 Bilan Volumique de l'Excavation

Les quatre options suivantes de remblayage sont examinées et comparées :

- (1) Remblayage au béton de tous les blocs (stockés et vides) et des galeries adjacentes comme indiqué sur la Figure 3, et fermeture des galeries par serrements en béton,
- (2) Remblayage au béton des blocs de stockage et fermeture des galeries par serrements en béton,
- (3) Remblayage au béton des blocs de stockage et fermeture des galeries par serrements en sel,
- (4) Remblayage au béton du bloc 15 et fermeture des galeries par serrements en béton.

Le bilan volumique d'excavation fourni pour ces options constitue la base du bilan massique de remblayage calculé dans le chapitre 6.3 Le plan des niveaux du site de stockage des déchets de même que les couches potassiques exploitées est donné pour la zone et aux alentours des blocs de déchets et des puits Joseph et Else. Une hauteur générale de 3 m pour les galeries et les compartiments est utilisée pour tous les calculs. Les matériaux déposés prennent environ 70 % du volume d'un bloc, laissant 30 % de cavité. Comme le bloc 15 a été ravagé par un incendie en 2002, les calculs seront différents pour ce bloc. Selon /1/ une cavité ouverte de 15 000 m³ laisserait environ 3 600 m³ de matériaux déposés. Les blocs sont délimités par leur contour et leurs connections aux galeries adjacentes (Vam RAS1, Vam AJ1T / AJ1D, Vam RAS2). Le volume des blocs est indiqué dans la Tableau 1. Le volume des galeries est calculé pour le système de galeries adjacentes Vam RAS1 / RAT1, Vam AJ1T / AJ1D, Vam RAS2 / RAS2 bis et la traverse Vam AQ0D / AQ0T / AQ1D (voir Tableau 2). Ces galeries et la galerie Vam RAJ3 sont les lieux proposées pour les serrements visant à isoler la zone de stockage des déchets de la mine environnante. Le volume des serrements n'est pas inclus dans les valeurs du Tableau 2.

Comme indiqué dans le Tableau 1, trois blocs ne sont pas utilisés pour les déchets – les blocs vides 16, 25 et 26 qui ne sont que partiellement développés. Ces blocs ont été partiellement creusés à environ 2 mètres en dessous du niveau général de la zone de stockage des déchets ; ils ne sont pas accessibles à cause de l'instabilité du toit. Ils ont un volume libre et creusé de 79 213 m³. Les blocs utilisés pour le stockage, y compris le bloc 15, ont un volume total creusé de 151 525 m³ et un volume libre après stockage de 54 866 m³.

Il y a trois systèmes de galeries avec connexions directes aux blocs de stockage des déchets et une connexion transverse des systèmes de galeries qui sont appropriés pour la construction de serrements permettant d'isoler les alentours immédiats des

blocs de stockage des déchets. Comme indiqué dans le Tableau 2, ils ont un volume ouvert et creusé de 64 891 m³.

Tableau 1 Bilan Volumique de l'excavation des blocs de stockage des déchets (chiffres pris et calculés sur /11/- Plan de mine - et /1/- Réunion du 05/11/2007)

Numéro de bloc	Volume creusé	Volume de matériaux accumulés	Volume de cavité ouverte
	en m ³	en m ³	en m ³
11	18 222	12 755	5 467
12	18 681	13 076	5 604
13	15 746	11 022	4 724
14	13 744	9 621	4 123
15	18 639	3 639	15 000
<i>16</i>	<i>34 835</i>	<i>0,0</i>	<i>34 835</i>
21	18 579	13 006	5 574
22	18 718	13 103	5 615
23	15 703	10 992	4 711
24	13 493	9 445	4 048
<i>25</i>	<i>16 798</i>	<i>0,0</i>	<i>16 798</i>
<i>26</i>	<i>27 580</i>	<i>0,0</i>	<i>27 580</i>
Sous-total des blocs stockés	151 525	96 659	54 866
<i>Sous-total des blocs vides</i>	<i>79 213</i>	<i>0,0</i>	<i>79 213</i>
total des blocs	230 738	96 659	134 079

Tableau 2 Bilan Volumique de l'excavation des systèmes de galeries adjacentes (chiffres pris et calculés sur /11/- Plan de mine - et /1/- Réunion du 05/11/2007)

Système de galerie	Volume du système
	en m ³
Travers bancs Vam RAT1 jusqu'à Vam AQ0D	791
Travers bancs Vam AQ1D jusqu'à Vam AJ1T	883
Système de galerie Vam AQ0D / AQ0T / AQ1D	15 148
<i>Système de galerie Vam RAS1 / RAT1</i>	<i>14 126</i>
<i>Système de galerie Vam AJ1D / AJ1T</i>	<i>15 119</i>
<i>Système de galerie Vam RAS2 / RAS2 bis</i>	<i>18 824</i>
Connexion transverse	16 822
<i>Galeries adjacentes</i>	<i>48 069</i>
total	64 891

Le volume total de remblayage des quatre options est calculé en fonction des résultats des Tableau 1 et Tableau 2, et est présenté dans le Tableau 3. Le bilan massique du remblayage basé sur ces volumes est donné au chapitre 6.3.

Tableau 3 Bilan Volumique de l'excavation pour toutes les options de remblayage

Option de remblayage		Volume ouvert	Volume de remblayage à 95 % de remblayage
		en m ³	en m ³
Option 1	tous les blocs et	134 079	127 375
	galeries adjacentes	64 891	61 646
	total	198 970	189 021
Option 2	blocs stockés	54 866	52 123
	galeries adjacentes	64 891	61 646
Option 3	blocs stockés	54 866	52 123
	galeries adjacentes	64 891	61 646
Option 4	bloc 15	15 000	14 250

4 Contenu des Blocs de stockage des Déchets

StocaMine avait l'autorisation de stocker des déchets de classe 0 et 1 sur son site. La classe 1 comprend les déchets industriels pouvant être éliminés dans des décharges de classe 1, alors que la classe 0 comprend les matériaux dangereux ne pouvant être éliminés dans les décharges de classe 1.

Les déchets sont mis dans des big-bags, des fûts ou des conteneurs et disposés dans les blocs sur des palettes. Les catégories de déchets et les quantités stockées sont détaillées dans le chapitre 4.1, alors que le contenu des déchets est décrit dans le chapitre 4.2.

4.1 Quantités de Déchets Stockés et Répartition dans les Blocs

Les classes de déchets sont sous-divisées en catégories allant d'A à E. Les catégories d'A à D doivent être stockées séparément, alors que les déchets de catégorie E peuvent être stockés avec n'importe quelle autre catégorie.

Tableau 4 Classes et catégories de déchets (selon /5/- BMG Engineering 2004)

Classe	Catégorie	Type de déchet
0	A1	Sels de trempe
0	A2	Sels de trempe non cyanurés
0	B3	Déchets arséniés
0	C4	Déchets chromiques
0	B5	Déchets mercuriels
0	B6	Terres polluées
0	D7	Résidus de l'industrie
0	C8	Déchets de galvanisation
1	E9	Résidus d'incinération
0	B10	Produits phytosanitaires
0	D11	Catalyseurs usés
0	D12	Déchets de laboratoire
1	E13	Déchets amiantes

Les catégories A à D contiennent les déchets liés à la galvanisation et aux laboratoires, le cyanure, les métaux lourds, les produits phytosanitaires, les déchets

industriels et les terres polluées. La catégorie E contient les Résidus d'incinération et l'amiante. Le Tableau 4 donne une liste des déchets stockés et leur catégorie.

Les quantités stockées de déchets totales sont indiquées dans le Tableau 5, y compris pour le bloc 15, ainsi que la quantité totale sans le bloc 15 et la quantité de déchets dans le bloc 15. Les quantités stockées classées par type de réservoir sont données dans le Tableau 6 pour la quantité totale incluant le bloc 15, dans le Tableau 7 pour la quantité totale sans le bloc 15, et dans le Tableau 8 pour la quantité contenue dans le bloc 15.

Tableau 5 Vue d'ensemble des quantités de déchets stockées (selon /5/- BMG Engineering 2004)

Quantité stockée de déchets			Tous les blocs y compris le 15		Tous les blocs, sauf le 15		Bloc 15	
Catégorie	Classe	matériaux	Quantité en t	en %	Quantité en t	en %	Quantité en t	en %
A1	0	Sels de trempe	2 155	4,9	2 076	4,9	79	4,4
A2	0	Sels de trempe non cyanurés	1 215	2,8	1 204	2,9	11	0,6
B3	0	Déchets arséniés	6 969	15,9	6 957	16,6	12	0,7
C4	0	Déchets chromiques	428	1,0	428	1,0	0	0,0
B5	0	Déchets mercuriels	2 276	5,2	2 276	5,4	0	0,0
B6	0	Terres polluées	5 251	12,0	5 120	12,2	131	7,4
D7	0	Résidus de l'industrie	138	0,3	127	0,3	11	0,6
C8	0	Déchets de galvanisation	642	1,5	599	1,4	43	2,4
E9	1	Résidus d'incinération	20 713	47,3	19 706	46,9	1 007	56,7
B10	0	Produits phytosanitaires	128	0,3	128	0,3	0	0,0
D11	0	Catalyseurs usés	0	0,0	0	0,0	0	0,0
D12	0	Déchets de laboratoire	76	0,2	76	0,2	0	0,0
E13	1	Déchets amiantes	3 797	8,7	3 315	7,9	482	27,1
sous-total	0		19 278	44,0	18 991	45,2	287	16,2
sous-total	1		24 510	56,0	23 021	54,8	1 489	83,8
total			43 788	100,0	42 012	100,0	1 776	100,0

Tableau 6 Quantités de déchets stockées y compris le bloc 15 (selon /5/- BMG Engineering 2004)

Quantité stockée de déchets			Tous les blocs y compris le 15									
Catégorie	Classe	Type de réservoir	Big-bag		Fût		Conteneur		Palette		Somme	
			en t	en %	en t	en %	en t	en %	en t	en %	en t	en %
A1	0	Fût	0	0,0	2 155	26,2	0	0,0	0	0,0	2 155	4,9
A2	0	Fût	0	0,0	1 215	14,8	0	0,0	0	0,0	1 215	2,8
B3	0	Big-bag	6 969	20,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	6 969	15,9
C4	0	Fût	0	0,0	428	5,2	0	0,0	0	0,0	428	1,0
B5	0	Fût	0	0,0	2 276	27,7	0	0,0	0	0,0	2 276	5,2
B6	0	Big-bag, Fût, Conteneur	4 883	14,1	210	2,6	158	67,5	0	0,0	5 251	12,0
D7	0	Fût	0	0,0	138	1,7	0	0,0	0	0,0	138	0,3
C8	0	Fût	0	0,0	642	7,8	0	0,0	0	0,0	642	1,5
E9	1	Big-bag, Fût	19 677	56,6	1 036	12,6	0	0,0	0	0,0	20 713	47,3
B10	0	Fût	0	0,0	128	1,6	0	0,0	0	0,0	128	0,3
D11	0	-	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
D12	0	Conteneur	0	0,0	0	0,0	76	32,5	0	0,0	76	0,2
E13	1	Big-bag, Palette	3 227	9,3	0	0,0	0	0,0	570	100,0	3 797	8,7
sous-total	0		11 852	34,1	7 192	87,4	234	100,0	0	0,0	19 278	44,0
sous-total	1		22 905	65,9	1 036	12,6	0	0,0	570	100,0	24 510	56,0
total			34 757	100,0	8 228	100,0	234	100,0	570	100,0	43 788	100,0

Tableau 7 Quantités de déchets stockées sans le bloc 15 (selon /5/- BMG Engineering 2004)

Quantité stockée de déchets			Tous les blocs, sauf le 15									
Catégorie	Classe	Type de réservoir	Big-bag		Fût		Conteneur		Palette		Somme	
			en t	en %	en t	en %	en t	en %	en t	en %	en t	en %
A1	0	Fût	0	0,0	2 076	25,9	0	0,0	0	0,0	2 076	4,9
A2	0	Fût	0	0,0	1 204	15,0	0	0,0	0	0,0	1 204	2,9
B3	0	Big-bag	6 957	20,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0	6 957	16,6
C4	0	Fût	0	0,0	428	5,3	0	0,0	0	0,0	428	1,0
B5	0	Fût	0	0,0	2 276	28,4	0	0,0	0	0,0	2 276	5,4
B6	0	Big-bag, Fût, Conteneur	4 762	14,3	205	2,6	154	66,9	0	0,0	5 120	12,2
D7	0	Fût	0	0,0	127	1,6	0	0,0	0	0,0	127	0,3
C8	0	Fût	0	0,0	599	7,5	0	0,0	0	0,0	599	1,4
E9	1	Big-bag, Fût	18 721	56,3	985	12,3	0	0,0	0	0,0	19 706	46,9
B10	0	Fût	0	0,0	128	1,6	0	0,0	0	0,0	128	0,3
D11	0	-	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
D12	0	Conteneur	0	0,0	0	0,0	76	33,1	0	0,0	76	0,2
E13	1	Big-bag, Palette	2 818	8,5	0	0,0	0	0,0	497	100,0	3 315	7,9
sous-total	0		11 719	35,2	7 043	87,7	230	100,0	0	0,0	18 991	45,2
sous-total	1		21 538	64,8	985	12,3	0	0,0	497	100,0	23 021	54,8
total			33 257	100,0	8 028	100,0	230	100,0	497	100,0	42 012	100,0

Tableau 8 Quantités de déchets stockées dans le bloc 15 (selon /5/- BMG Engineering 2004)

Quantité stockée de déchets			Bloc 15									
Catégorie	Classe	type de réservoir	Big-bag		Fût		Conteneur		Palette		Somme	
			en t	en %	en t	en %	en t	en %	en t	en %	en t	en %
A1	0	Fût	0	0,0	79	39,6	0	0,0	0	0,0	79	4,8
A2	0	Fût	0	0,0	11	5,5	0	0,0	0	0,0	11	0,7
B3	0	Big-bag	12	0,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0	12	0,7
C4	0	Fût	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
B5	0	Fût	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
B6	0	Big-bag, Fût, Conteneur	5	0,4	5	2,6	4	100,0	0	0,0	14	0,9
D7	0	Fût	0	0,0	11	5,5	0	0,0	0	0,0	11	0,7
C8	0	Fût	0	0,0	43	21,5	0	0,0	0	0,0	43	2,6
E9	1	Big-bag, Fût	957	69,1	50	25,2	0	0,0	0	0,0	1 007	60,7
B10	0	Fût	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
D11	0	-	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
D12	0	Conteneur	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
E13	1	Big-bag, Palette	410	29,6	0	0,0	0	0,0	72	100,0	482	29,0
sous-total	0		17	1,2	149	74,8	4	100,0	0	0,0	170	10,3
sous-total	1		1 366	98,8	50	25,2	0	0,0	72	100,0	1 489	89,7
total			1 384	100,0	200	100,0	4	100,0	72	100,0	1 659	100,0

En ce qui concerne la répartition des déchets stockés, seul le contenu du bloc 15 est donné en détails, car les contenants de ce bloc ont été détruits par un incendie en 2002, et il est possible que des fluides soient entrés en contact avec les déchets. Pour les autres blocs, seules des valeurs résumées ont été calculées et il est supposé que les quantités indiquées dans le Tableau 7 sont réparties de manière égale entre les blocs.

Environ 43 800 t de déchets sont stockées dans les blocs de stockage des déchets ; 19 300 t (44 %) font partie de la classe 0 et 24 500 t (56 %) font partie de la classe 1. Le bloc 15 ne contient que 1 776 t (4,1 %) des quantités totales de déchets stockés, avec 287 t (16,2 %) étant de classe 0 et 1 489 t (83,8 %) de classe 1.

Les déchets ont été mis dans différents types de contenants. 34 757 t (79,4 %) sont dans des big-bags, contenant principalement des Résidus d'incinération, mais aussi des déchets arséniés, des terres polluées et des déchets amiantes. 8 228 t (18,8 %) sont dans des fûts contenant toutes sortes de déchets à l'exception des déchets arséniés, de catalyseurs usés, des déchets de laboratoire et des déchets amiantes. Seules 234 t (0,5%) de terres polluées et de déchets de laboratoires sont dans des conteneurs et 507 t (1,3%) de déchets amiantes sont stockés sur palettes.

Les contenants sont censés être intacts, à l'exception de certains des premiers fûts, qui commencent à rouiller et qui pourraient devenir perméables. Ces fûts contiennent des déchets de catégorie A1 et A2. Cependant, bien qu'imperméabilisés, les déchets stockés dans les big-bags et les palettes seront aussi sujet à la corrosion de la surface des contenants sur le long terme.

4.2 Contenu des déchets

Les déchets contenant des métaux lourds, du cyanure et de la cyanite, qui sont des composés dangereux, ont été analysés par BMG ENGINEERING AG en 2004 (/5/). Le Tableau 9 donne une vue d'ensemble des résultats pour tous les blocs, alors que le Tableau 10 donne les résultats du bloc 15.

La plus grande quantité de composé dangereux est pour l'arsenic de catégorie B3 (déchets d'arsenic) avec 2 523 t pour un montant total de 2 566 t stockées dans les matériaux de toutes les catégories et tous les blocs.

Un autre composé majeur est le fer, avec un total de 960 t stockées avec les matériaux dans tous les blocs. La plupart du fer (533 t) se trouve dans les déchets de catégorie B3.

D'autres composés ayant été trouvés dans plusieurs catégories incluent le zinc (350 t), le plomb (237 t), le cadmium (138 t) et le cuivre (116 t).

Certains composés n'ont été trouvés que dans certaines catégories de déchets, comme l'antimoine (106 t), le chrome (102 t), la chromate (29 t), le nickel (71 t) et le mercure (47 t).

La catégorie A1 est la seule à contenir du cyanure avec 159 t (CN⁻), et de la cyanite (CNO⁻) avec 212 t.

Comme les quantités de déchets des différentes catégories sont calculées pour les quantités totales de tous les blocs, elles sont considérées comme réparties de manière égale entre les blocs. Le bloc 15 est une exception car les chiffres sont donnés individuellement et les quantités de composés peuvent être déduites. Comme le bloc 15 ne contient pas les matériaux de toutes les catégories, il ne peut pas être utilisé comme base de calcul de la répartition des matériaux ; on supposera donc que la répartition est égale dans les autres blocs.

Au regard des quantités stockées, de la mobilité, de la toxicité et de la persistance des composés, les principaux polluants sont l'arsenic, le cyanure, le chrome, la chromate et le mercure. Les quantités totales de ces composés sont données dans le Tableau 11 pour tous les blocs, pour le bloc 15 uniquement et par bloc dans tous les blocs de stockage sauf pour le 15. Les études sur les réactions chimiques entre les matériaux dangereux, principalement les métaux lourds, et la saumure dans le site de stockage des déchets souterrain ont indiqué que moins de 1 % des matériaux dangereux sont élués dans un milieu remblayé. L'éluion va de 1 à 4 % si les déchets ne sont pas confinés par remblai et tombe à un niveau de 0 à 1 % dans un milieu où les déchets sont complètement inclus dans une massif de remblai, où par exemple, les parcours d'écoulement sont ouverts à cause d'un manque de compression ou des microfissures dans les piliers du toit, dues au poids de la charge. Ce niveau est encore réduit si le site de stockage des déchets est obturé au moyen de serrements construits dans les galeries adjacentes menant au site.

Tableau 9 Contenus en métaux lourds, cyanure et cyanite pour tous les blocs, y compris le bloc 15 (chiffres basés sur /5/- BMG Engineering 2004)

Contenu des matériaux			Tous les blocs y compris le 15													
Catégorie	Classe	Matériaux	Quantité	Cr	Cr (VI)	Ni	Cu	Zn	As	Hg	Pb	Cd	Fe	Sb	CN ⁻	CNO ⁻
			en t	en t	en t	en t	en t	en t	en t	en t	en t	en t	en t	en t	en t	en t
A1	0	Sels de trempe	2 155	2	0	1	5	4	0	0	0	0	30	0	159	212
A2	0	Sels de trempe non cyanurés	1 215	0	0	1	2	1	0	0	0	0	5	0	0	0
B3	0	Déchets arséniés	6 969	3	0	10	56	63	2 523	19	150	22	533	99	0	0
C4	0	Déchets chromiques	428	58	27	1	7	0	0	0	17	0	10	0	0	0
B5	0	Déchets mercuriels	2 276	0	0	0	1	3	0	26	1	0	73	0	0	0
B6	0	Terres polluées	5 251	25	0	29	25	26	4	0	6	113	118	2	0	0
D7	0	Résidus de l'industrie	138	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C8	0	Déchets de galvanisation	642	6	2	26	7	33	0	0	1	1	40	0	0	0
E9	1	Résidus d'incinération	20 713	8	0	3	13	214	15	0	61	2	151	5	0	0
B10	0	Produits phytosanitaires	128	0	0	0	0	6	24	0	0	0	0	0	0	0
D11	0	Catalyseurs usés	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D12	0	Déchets de laboratoire	76	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0
E13	1	Déchets amiantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sous-total	0		19 278	94	29	68	103	136	2 551	47	176	136	809	101	159	212
sous-total	1		20 713	8	0	3	13	214	15	0	61	2	151	5	0	0
total	0		39 991	102	29	71	116	350	2 566	47	237	138	960	106	159	212

Tableau 10 Contenus en métaux lourds, cyanure et cyanite pour tous les blocs, pour le bloc 15 (chiffres basés sur /5/- BMG Engineering 2004)

Contenu des matériaux			Bloc 15													
Catégorie	Classe	Matériaux	Quantité en t	Cr en t	Cr (VI) en t	Ni en t	Cu en t	Zn en t	As en t	Hg en t	Pb en t	Cd en t	Fe en t	Sb en t	CN ⁻ en t	CNO ⁻ en t
A1	0	Sels de trempe	79	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	5,8	7,8
A2	0	Sels de trempe non cyanurés	11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B3	0	Déchets arséniés	12	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	4,3	0,0	0,3	0,0	0,9	0,2	0,0	0,0
C4	0	Déchets chromiques	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B5	0	Déchets mercuriels	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B6	0	Terres polluées	131	0,6	0,0	0,7	0,6	0,6	0,1	0,0	0,1	2,8	2,9	0,0	0,0	0,0
D7	0	Résidus de l'industrie	11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
C8	0	Déchets de galvanisation	43	0,4	0,1	1,7	0,5	2,2	0,0	0,0	0,1	0,1	2,7	0,0	0,0	0,0
E9	1	Résidus d'incinération	1 007	0,4	0,0	0,1	0,6	10,4	0,7	0,0	3,0	0,1	7,3	0,2	0,0	0,0
B10	0	Produits phytosanitaires	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
D11	0	Catalyseurs usés	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D12	0	Déchets de laboratoire	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E13	1	Déchets amiantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sous-total	0		287	1,1	0,1	2,5	1,4	3,1	4,4	0,0	0,5	2,9	7,7	0,2	5,8	7,8
sous-total	1		1 007	0,4	0,0	0,1	0,6	10,4	0,7	0,0	3,0	0,1	7,3	0,2	0,0	0,0
total	0		1 294	1,5	0,1	2,7	2,0	13,5	5,2	0,0	3,4	3,0	15,0	0,5	5,8	7,8

Tableau 11 Quantités des Principaux Polluants (chiffres basés sur /5/- BMG Engineering 2004)

Composé	Quantité totale	Par bloc sauf bloc 15	Bloc 15
	en t	en t	en t
As	2 566	320,1	5,2
CN	159	19,2	5,8
Cr	102	12,6	1,5
Cr (VI)	29	3,6	0,1
Hg	47	5,9	0,0

Comme le bloc 15 a été ravagé par un incendie en 2002, les contenants de ce bloc – big-bags, palettes, fûts et conteneurs - sont censés être détruits ou du moins perméables. A ce regard, on considère une mobilisation de quantités importantes de polluants principaux dans le bloc 15 par un afflux de saumure, alors que les contenants des autres blocs devraient empêcher ou tout du moins ralentir la mobilisation de polluants dans un milieu non remblayé.

Cette évaluation démontre que l'inclusion complète des déchets dans un massif de remblai évitera effectivement l'élution ou du moins minimisera la probabilité d'élution des matériaux dangereux sur le long terme.

Les matériaux de remblayage proposés dans le chapitre 6 sont en général adaptés à un encapsulage total des déchets ; néanmoins, il faudra étudier les possibles réactions chimiques entre les déchets stockés à StocaMine et les matériaux de remblayage proposés. La composition des matériaux de remblayage doit être développée en fonction de ces résultats et il faut définir les conditions à remplir pendant le remblayage avant l'implémentation de la technique et la procédure de remblayage.

5 Exigences de Base pour le Remblayage de la Zone de Stockage des Déchets

Les exigences et conditions aux limites du remblayage sont prédéterminées par :

- le but du remblayage,
- les conditions géologiques et géo-mécaniques du site de stockage des déchets,
- la répartition de l'espace et l'emplacement des blocs de déchets,

- Les réactions chimiques possibles entre les matériaux de remblayage et les déchets

et

- la disponibilité et l'espace requis pour l'équipement de remblayage.

L'inclusion sans danger des déchets sera assurée en appliquant le Concept de Barrière décrit ci-dessous.

Concept de Barrière

Le but du remblayage est l'encapsulage complet des déchets pour éliminer les parcours d'écoulement des fluides après l'inondation de la mine de potasse abandonnée. L'encapsulage complet des déchets comprend plusieurs barrières contribuant toutes à l'encapsulage complet.

La *barrière géologique* inclut la Zone Salée Supérieure d'environ 550 m d'épaisseur et la Zone Salée Intermédiaire d'environ 300 m d'épaisseur qui sont toutes deux étanches et ne contiennent pas d'eau ainsi que les marnes du milieu du Stampien au dessus de la Zone Salée Supérieure qui ont une faible perméabilité.

La *barrière géotechnique* comprend toutes les mesures isolant la zone de stockage des déchets de la mine environnante. L'isolation se fait par construction de serrements dans le système de galeries adjacentes et la fermeture des forages et des puits du site Amélie avant inondation.

La *barrière technique* est le contenant dans lequel les déchets sont stockés et isolés de leur environnement, de même que les matériaux de remblai entourant les contenants après remblayage. Cette barrière réduit les espaces pouvant réagir chimiquement dans les compartiments de stockage et réduit de manière significative l'afflux et l'entrée en contact de la saumure avec les déchets.

La *barrière interne* permettra de conserver les déchets en place par le lien physique et chimique avec les matériaux de remblayage. L'expérience a montré que moins de 1 % des matières dangereuses des déchets sont éluées par la saumure. Ces résultats ne s'appliquent que pour la pulpe sel gemme de remblayage. Un massif de remblai en béton est considéré étanche du moment que le poids des couches supérieures n'excèdent pas la résistance à la compression du matériau. Par la suite, un afflux minime de saumure pourrait s'établir à travers des microfissures. Des processus comme la cristallisation et la gélification après réaction chimique entre les matériaux de remblayage, les déchets ou la saumure, diminuent encore plus les vides dans le massif de remblai, et donc les parcours d'écoulement de la saumure.

La *barrière géochimique* comprend les marnes du Stampien. Au cas où des matériaux élués atteindraient ces marnes, le caractère étanche et absorbant de la marne retiendrait les matériaux dans ses couches.

La *barrière hydraulique* se formera par stratification de la saumure après inondation. Elle n'est pas étanche mais entravera efficacement le transfert de masse entre le site des déchets, au niveau inférieur, et les niveaux supérieurs de la mine.

Comme le site de stockage des déchets se trouve sous la mine, et que les seules connexions aux chantiers d'exploitation sont orientées vers le haut, la saumure ayant la plus haute densité s'accumulera au niveau des déchets avec le temps. Après la phase initiale de saturation de la saumure, la stratification des saumures de densité variée stabilisera et empêchera l'afflux de saumure de la mine vers la zone de déchets, et inversement. En conséquence, une dissolution ultérieure éventuelle des composés des déchets limiterait la distribution de ces composés au niveau de la zone de stockage des déchets. Même un débit plus élevé dans les chantiers d'exploitation ne générerait pas de turbulences supplémentaires dans le site de stockage des déchets et ne déplacerait pas la saumure saturée vers le haut. Seule la diffusion pourrait lentement distribuer les matériaux élués dans la saumure, mais elle diluerait également le contenu du matériau élué par volume de saumure à un niveau très faible.

Seule une fermeture lente des cavités ouvertes due à la pression des terrains pourrait faire refluer la saumure au niveau des chantiers d'exploitation. Comme les piliers des blocs de déchets ont une dimension utilisant un coefficient de sécurité de 5, on s'attend à ce que les cavités ouvertes au niveau des chantiers d'exploitation, où la technique de longue-taille était utilisée, se ferment plus vite que celles du site de stockage des déchets. Cela minimise les parcours d'écoulement disponibles vers les niveaux supérieurs.

Les matériaux de remblayage isoleront complètement les réservoirs des blocs de déchets des afflux de saumure en minimisant ou bloquant complètement les parcours d'écoulement.

Le fait d'obturer les entrées de blocs empêchera les saumures d'atteindre, de corroder ou de pénétrer les matériaux de remblayage.

Les serrements dans les systèmes de galeries adjacentes isoleront les blocs de déchets des afflux de saumure ; si, avec le temps, une pénétration de saumure dans les blocs se produit, les serrements ralentiront sa circulation et éviteront le transfert de saumure entre le site de stockage des déchets et la mine environnante.

Ultérieurement, Le bouchage des puits isolera les niveaux d'exploitation minière de la géosphère, de la biosphère et de l'atmosphère.

Les conditions suivantes font que les matériaux de remblayage ne requièrent que peu de support géo-mécanique :

- La discontinuité des deux couches exploitées à environ 25 m et 45 m au dessus du site de stockage des déchets réduit la charge sur les piliers,
- seule une surface résiduelle subsistera au regard de l'exploitation minière future

et

- l'implantation des blocs de déchets est très stable avec des espaces ouverts relativement étroits comparés aux piliers avec un coefficient de sécurité de 5.

En se basant sur ces conditions, des matériaux de remblayage d'une faible résistance à la compression de l'ordre 1 à 2 MPa devraient suffire et réduire les coûts du remblayage. Ces matériaux ne seraient pas censés supporter la charge pesant sur le toit, mais soutiendraient plutôt les piliers.

L'explication suivante se base sur un matériau de remblayage en béton. Les remarques générales sont les mêmes pour le remblayage avec une pulpe de sel gemme, bien que des paramètres comme le facteur de remblayage et la compressibilité soient différents.

Sur le long terme, la convergence des cavités ajoutera une charge verticale depuis le toit sur la charge horizontale des piliers dans le massif de remblai. Comme les propriétés des matériaux ne sont pas programmées pour résister à la pression des couches supérieure qui existe à cette profondeur, et comme le massif de remblai n'est pas une masse homogène avec des blocs de déchets enrobés dans une matrice en béton, il va se fissurer et se compacter. Lors du tassement, les matériaux de remblayage commenceront progressivement à supporter la charge, car ils se trouvent entre les piliers, jusqu'à stopper le processus de convergence. Le volume des vides d'air des matériaux de remblayage (5 à 7 % du volume) sera seulement compressible d'environ 50 % car les particules de béton irrégulières de la structure permettent la fermeture des vides d'air sphériques /15/. Si l'on se base sur un facteur de remblayage de 95 %, la convergence totale des espaces devrait être de l'ordre de 7 à 8 %.

Les résultats des calculs géo-mécaniques dans le document /6/ montrent que la contrainte de compression verticale est augmentée sous le pilier résiduel se trouvant dans la couche potassique inférieure. Ce pilier résiduel est situé au dessus des blocs ouverts 25 et 26, et va également jusqu'à la zone périphérique des blocs 24, 15 et 16 (voir Figure 4). La pression accrue résultante sur cet horizon de stockage de déchets est environ quatre fois la pression des couches supérieures. Cette contrainte de compression est bien en dessous des limites des piliers dans les blocs de déchets, mais elle excède la résistance à la rupture des piliers dans les galeries adjacentes. Les piliers dans le système des voies d'accès VAM AJ1T / Vam AJ1D entre les blocs 15 et 25, de même que les blocs 16 et 26, sont tout particulièrement sujet à déformation ou à destruction à cause de la surcharge sur les piliers ; Ils devraient être sécurisés par remblayage de ces voies à piliers minces.

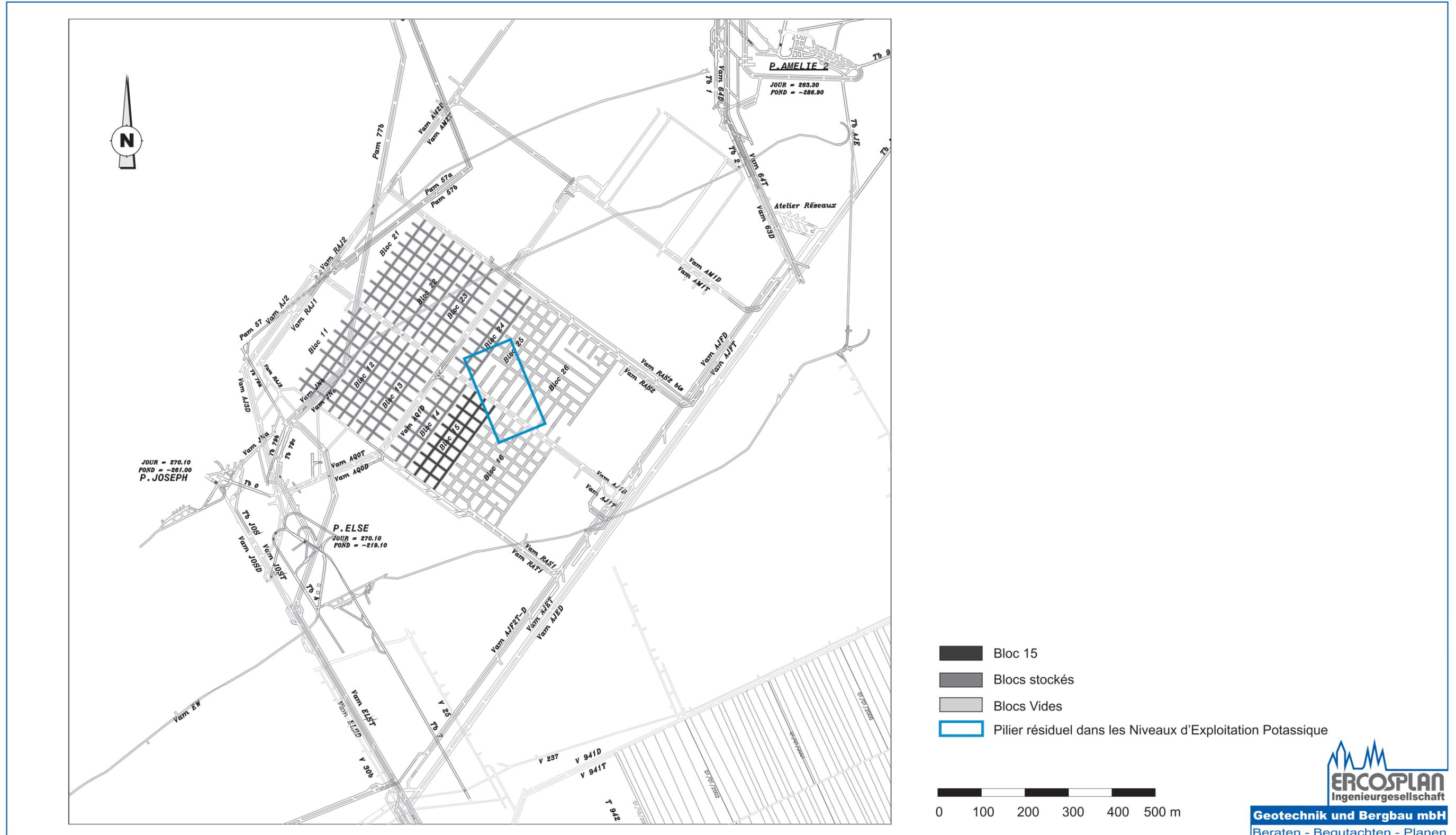


Figure 4 Emplacement du Pilier résiduel dans les Niveaux d'Exploitation Potassique (basé sur /11/ - Plan de Mine - Site de stockage des déchets)

Les blocs de stockage et les blocs vides ne sont pas concernés car la configuration décrite plus haut concentre la pression sur la zone se trouvant sous le pilier résiduel et réduit la pression dans les zones se trouvant sous des cavités environnantes ayant été exploitées et qui se sont effondrées, comme indiqué dans la Figure 5. La stabilité du pilier est également assurée dans les blocs vides, qui sont creusés dans l'horizon à lithologie non favorable, 2 m en dessous du niveau de stockage des premiers blocs. L'instabilité indiquée pour le système de galeries Vam AJ1T / Vam AJ1D est aussi indiquée pour les systèmes adjacents Vam RAT1 / Vam RAS1 et Vam RAS2 / Vam RAS2 bis, car ces doubles galeries sont supportées par des piliers centraux étroits dont la résistance à la compression est insuffisante (/6/). Cependant, ces galeries ne se trouvent pas en dessous du pilier résiduel et ne sont donc pas sujettes à la pression accrue des couches supérieures. On ne peut pas affirmer de la nécessité de remblayer ces galeries, car leur convergence n'affectera que les entrées des blocs situées à l'intersection de la galerie et du bloc, mais non le bloc remblayé en lui-même.

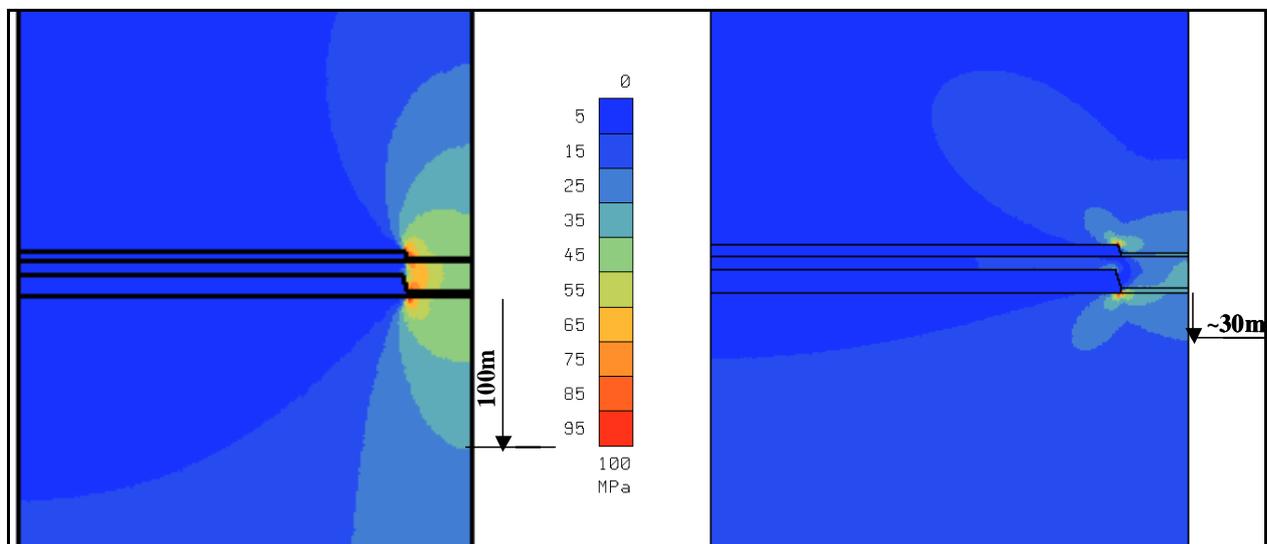


Figure 5 Concentration de la pression verticale et horizontale sur et sous le pilier résiduel aux niveaux d'exploitation de la potasse (basé sur /6/ - Ecole nationale supérieure des Mines de Paris 2006)

Les déchets stockés dans des conteneurs et des fûts sont considérés imperméables aux fluides. Cependant, les matériaux stockés dans les big-bags et sur palettes ne sont peut-être pas cachetés contre infiltration fluide. Cela inclut les déchets arséniés, les terres polluées et les déchets amiantes. Parmi les polluants principaux, l'arsenic, le chrome et le mercure se retrouvent dans ces catégories. Il est possible qu'il y ait des réactions chimiques entre la saumure utilisée pour le remblayage et ces polluants ; ces réactions devraient se limiter aux blocs de déchets.

L'espace souterrain disponible pour l'équipement de remblayage est limité, car les cavités plus larges, les ateliers par exemple, ne se trouvent que près des puits de mine. Aux alentours des blocs de déchets, seuls les systèmes de galerie ayant une ouverture d'une largeur d'environ 3,8 m et d'une hauteur d'environ 3,0 m par galerie laissent suffisamment d'espace pour l'équipement de remblayage. Cela oblige à utiliser des équipements de taille inférieure et de ce fait limite la capacité de remblayage et augmente sa durée. Comme il n'y a aucun équipement de forage sous terre, les coûts de forage de nouveaux compartiments seraient très élevés que l'on achète/loue les machines nécessaires ou que l'on sous-traite le forage. On suppose qu'une autorisation a déjà été obtenue pour faire de tels travaux. En surface, il y a suffisamment de place pour construire une installation de remblayage. Néanmoins, la distance entre l'installation en surface et les blocs de déchets devant être remblayés varie de 1,1 à 2,0 km. Avec de telles distances, il est possible que certains matériaux de remblayage, surtout ceux ayant une forte résistance à la compression, durcissent dans les conduites, ce qui pourrait causer des interruptions permanentes des travaux de remblayage et une augmentation des frais de maintenance. De plus, les coûts des équipements augmentent de manière significative, en comparaison à une installation souterraine avec des pipelines supplémentaires requis entre la surface et le site de remblayage.

6 Conditions et Contraintes de la Composition des Matériaux de Remblayage

Plusieurs aspects devront être pris en compte pour la sélection et la composition des matériaux de remblayage. Cela inclut les propriétés mécaniques et chimiques des matériaux et leurs composés, les interactions possibles avec les déchets et le sel gemme des piliers, mais aussi la disponibilité et les prix des composés et la complexité de leur manipulation, de même que les équipements nécessaires.

Ce chapitre donne la liste des propriétés requises des matériaux (chapitre 6.1) et fait des recommandations basées sur ces exigences (chapitre 6.2). Le bilan massique est donné pour les matériaux de remblayage recommandés (chapitre 6.3).

6.1 Propriétés requises des matériaux

Les blocs de déchets sont très stables avec un coefficient de sécurité de 5 pour les piliers et un système large de 25,5 m pour un pilier large de 20,0 m. Avec une telle disposition, les piliers sont capables de supporter le poids de la pression des couches supérieures sur le long terme. D'un point de vue géo-mécanique, la fonction première des matériaux de remblayage est de soutenir les piliers. Un matériau avec une faible résistance à la compression suffit et réduit les coûts.

Comme les blocs de déchets ne sont pas accessibles, à part sur les premiers mètres depuis les galeries adjacentes, et qu'ils sont remplis avec des contenants emmagasinés dense, les matériaux de remblayage du bloc total doivent être insérés à partir de l'entrée des blocs. Afin de parvenir à un haut niveau de remplissage, les matériaux doivent avoir une très forte capacité d'écoulement afin d'atteindre tous les compartiments des blocs et de remplir tous les espaces. Ils doivent être autonivelants, afin de remplir le bloc jusqu'au toit, à l'exception de quelques cavités, à cause de variation de hauteur du toit.

La saumure utilisée sera potentiellement en contact avec les déchets, et pourrait donc dissoudre les composés des matériaux dangereux. Cette saumure contaminée doit être collectée et traitée, ou éliminée. Pour éviter un stockage ou un traitement coûteux de la saumure, il faudra minimiser ou, si possible, éviter les surplus de saumure. Pour cela, les matériaux de remblayage doivent se durcir dans le bloc pour lier la phase liquide. Le contact entre la saumure et le sel gemme des piliers n'affecterait pas ces derniers si la saumure est saturée. Sinon, la surface des piliers pourrait être sujette à une dissolution minime, car seule une petite quantité de la phase liquide contenue dans les matériaux de remblayage serait en contact avec cette surface.

Pour éviter des réactions imprévisibles entre les déchets et les matériaux de remblayage, il faut prendre en considération l'augmentation de la température due à des réactions exothermiques pendant la phase de durcissement des matériaux de remblayage à base de ciment. Pour prévoir toutes les réactions chimiques possibles entre toutes les combinaisons possibles de matériaux à haute température, il faut faire des études plus approfondies ; seules des conclusions générales peuvent être données. Si les matériaux de remblayage durcissent dans un processus exothermique, il est recommandé d'avoir une procédure de remplissage lent avec ventilation suffisante.

6.2 Recommandations sur la Composition des Matériaux

Ce chapitre donne uniquement des recommandations générales sur la composition appropriée des matériaux de remblayage. Le mortier choisi pour un remblayage en béton est donc un exemple de matériau applicable ayant été testé et certifié pour des opérations de remblayage, mais il n'est pas déterminé comme étant un matériau pour le remblayage. Des études plus approfondies sur les possibles réactions chimiques entre les déchets et les matériaux de remblayage sont nécessaires afin de développer la composition finale.

Pour remplir les conditions citées dans le chapitre 6.1, deux types de matériaux de remblayage sont évalués et comparés. Le premier est une pulpe de remblayage composé de sel gemme, de résidus potassiques et de saumure. Le second est un béton de remblayage composé de mortier à base de ciment, de calcaire et de saumure. Le Tableau 12 compare ces deux matériaux au vu des propriétés requises.

Tableau 12 Comparaison des Matériaux de Remblayage applicables

Condition	Pulpe de Remblayage hydraulique	Béton de Remblayage
prix du composé solide	~25 EURO/t de sel gemme plus ~17 EURO/t de transport jusqu'à 150 km	~50 €/t de ciment y compris ~50 km de transport (exemple depuis l'Allemagne centrale)
prix du composé liquide (saumure-NaCl)	~25 EURO/t de sel gemme plus ~17 EURO/t de transport jusqu'à 150 km ~1 €/m ³ d'eau	~25 EURO/t de sel gemme plus ~17 EURO/t de transport jusqu'à 150 km ~1 €/m ³ d'eau
ratio liquide : solide	1 : 1	0.8 : 1
emplacement préférable de l'installation de malaxage des matériaux de remblayage	surface	Surface / souterraine
distance de pompage des matériaux de remblayage mélangés	plusieurs kms selon la densité des matériaux	jusqu'à 6 km
capacité d'écoulement	Elevée	très élevée
auto-nivellement	bon	excellent
remblayage complet des compartiments (ratio de remblayage >95 %)	oui, à l'exception de petites cavités, dues à des variations mineures de hauteur de plafond	oui, à l'exception de petites cavités, dues à des variations mineures de hauteur de plafond
température réactionnelle	aucune réaction chimique, température ambiante	modérée à élevée, en fonction du taux de remplissage
surplus de saumure	80-90 % de la saumure utilisée, la saumure restante pourrait être expulsée avec la compaction des matériaux de remblayage dans le temps	pas de surplus
retrait du remblayage	jusqu'à 20 %	expansion de la cristallisation du sel annule la réduction du béton si de la saumure est utilisée
résistance à la compression du matériau de remblayage durci/consolidé	élevée après élimination de la saumure	Faible à moyenne, selon la composition du matériau ; légèrement supérieure si la saumure est utilisée comme liquide à la place de l'eau

a) Pulpe de remblayage hydraulique

Une pulpe de remblayage composée de sel gemme est avantageux au niveau du prix du transport pour de courtes distances, de la non-élévation de température et d'une forte résistance à la compression. Les facteurs limitants sont la capacité d'écoulement et le ratio de remblayage, qui est inférieur au béton avec l'augmentation de la taille des particules. Le ratio de remblayage est aussi limité par le retrait du remblayage dû à l'élimination de la saumure. Un autre inconvénient majeur est la quantité de surplus de saumure, qui doit être récupérée, traitée ou éliminée. La saumure collectée pourrait être réutilisée pour remblayer les blocs suivants, mais lorsque les opérations de remblayage seront terminées, la saumure devra être traitée ou éliminée. Pour une récupération efficace de celle-ci, il faudra creuser des galeries supplémentaires en dessous du niveau des déchets, ce qui augmentera les coûts de remblayage, mais fournira en retour une quantité considérable de sel gemme, qui pourrait être utilisée pour le remblayage. Comme l'installation de malaxage sera probablement en surface, le sel gemme devra être remonté avant malaxage, ce qui limitera les économies liées à l'utilisation du sel gemme de la mine au lieu d'acheter le sel gemme auprès de fournisseurs.

Le surplus de saumure sera probablement contaminé à cause de l'éluion des composés des déchets. Ce processus se produirait tout particulièrement pendant l'opération de remblayage où de larges quantités de saumure circulent dans les blocs de déchets. Dans le scénario le plus défavorable, on a intégré le cas d'une fuite des contenants et la contamination de l'ensemble de la saumure. Avec un remblayage continu, la quantité de saumure entrant en contact avec les contenants diminue, alors que la quantité de saumure se liant au massif de remblai par cristallisation et blocage des parcours d'écoulement augmente. Le déchargement de saumure contaminée d'un bloc remblayé serait fortement diminué dans les phases ultérieures de remblayage.

Une estimation de l'étendue de la contamination de la saumure est impossible sans d'autres données sur les propriétés des déchets et leurs composés, par exemple solide ou liquide, pur ou mélange de matériaux / alliage, compact, granulaire ou en poudre etc. Cependant, il faut supposer que la saumure est contaminée au moins par les polluants principaux à une échelle telle qu'il faut la traiter ou l'éliminer après le remblayage.

Si l'on estime le surplus à 80 % du total de la saumure utilisée, le remblayage des blocs produirait environ 12 600 m³ de saumure contaminée. Le remblayage des blocs ouverts produirait environ 17 500 m³ de surplus de saumure non-contaminée. Cela s'applique uniquement si les blocs ouverts sont remblayés avec une nouvelle saumure, et non celle des blocs de stockage.

Le niveau du stockage se trouve sous les couches potassiques dans la partie inférieure de la Zone Salée Supérieure d'une épaisseur de 550 m. Cette zone ne contient pas d'eau. Les marnes du Stampien du niveau supérieur ne contiennent que de faible quantité d'eau dans certains horizons. Ainsi un afflux de saumure non saturée près des blocs de déchets est très improbable, et on suppose que les couches de marnes du

Stampien contenant de l'eau sont les points d'afflux les plus proches. Même dans ce pire cas d'un afflux naturel de saumure dans le site de stockage, la saumure dissoudrait les minéraux, tout en circulant dans les cavités ouvertes de la mine et atteindrait le niveau du stockage en étant quasi ou totalement saturée.

Seule de la saumure partiellement saturée pourrait atteindre le niveau du stockage, si le point d'afflux était dans les puits Joseph ou Else, car le parcours d'écoulement ne serait pas assez long pour saturer complètement la saumure. Dans ce cas, la surface du massif de remblai serait sujette à dissolution si les entrées des blocs n'étaient pas obturées. Une fermeture des entrées, en utilisant par exemple une combinaison de murs en béton, mortier et bitume, empêcherait la dissolution, du moins jusqu'à ce que la saumure soit complètement saturée avec le sel gemme environnant.

Dans cette étude, nous supposons une fermeture conforme à la loi des puits en utilisant la meilleure technologie ; celle-ci ne fait pas partie de l'évaluation des options de remblayage.

En prenant en compte la durabilité nécessaire à long terme du massif de remblai, et la solubilité dans l'eau du sel gemme utilisé dans la pulpe de remblayage, ce dernier ne peut-être envisagé pour le site de stockage des déchets de StocaMine. Il est peu probable que le massif de remblai se dissolve en large quantité, mais il est possible qu'il y ait une ouverture des parcours d'écoulement donnant accès aux déchets. Le retrait du remblai dû au départ de la saumure et l'espace résultant sous le toit vont à l'encontre de l'objectif principal du remblayage, qui est de minimiser la convergence des espaces. Au vu des inconvénients de ce matériau, particulièrement la contamination de la saumure pendant le remblayage, la pulpe de remblayage n'est pas recommandé pour le remblayage les blocs de déchets.

b) Béton de Remblayage

Comparé à la pulpe de remblayage, le béton de remblayage est avantageux grâce à une très forte capacité d'écoulement, un excellent auto-nivellement, aucun surplus de saumure et un retrait moindre du massif de remblai. Pour une meilleure distribution des matériaux mélangés, un réservoir ou une pompe supplémentaire devrait être placé sous terre, si l'installation de malaxage est en surface. Il est donc préférable que l'installation de malaxage soit sous terre, près des blocs de déchets. Comme l'espace est limité dans les galeries adjacentes, la capacité de l'installation serait limitée et le remblayage se ferait à un débit plus faible qu'avec la pulpe de remblayage. Comparé à ce dernier, les autres inconvénients majeurs du béton de remblayage incluent le coût plus élevé, l'élévation de température pendant la phase de durcissement et une résistance à la compression plus faible. L'élévation de température serait faible avec un remblayage lent ou par intervalle, ce qui s'accorderait avec la faible capacité de l'installation.

Comme indiqué plus haut, le mortier DM 1 V décrit dans le Tableau 12 est un exemple de matériau testé et certifié pour le remblayage. D'autres matériaux certifiés ayant des propriétés comparables peuvent également être utilisés pour développer le mélange approprié de matériaux de remblayage lors de l'ingénierie de base.

Les propriétés du mortier DM 1 V et ses caractéristiques sous conditions du salé ont analysé et décrit dans expertises concernant l'utilisation du mortier dans les projets de la potasse ou du sel. Les propriétés totales sont données dans fiches de donnée publiés par le fabricant (voir annexe 4). Lorsque ce mortier est mélangé à de la saumure-NaCl, la surface du pilier n'est pas sujette à dissolution pendant le remblayage. Le béton durci ne réagit pas avec la saumure-NaCl, mais ce n'est pas le cas avec la saumure-MgCl₂. Cependant, comme seules des occurrences mineures de Carnallite existent dans les veines potassiques de la mine Amélie, seul un afflux de saumure faiblement minéralisée en MgCl₂ est possible. Une telle saumure a un potentiel faiblement corrosif vis-à-vis du béton, en conséquence, il est obligatoire d'isoler le massif de remblai contre cette solution. Des tests ont prouvé qu'il est impossible de mélanger le mortier avec de la saumure-MgCl₂, et la saumure-NaCl est recommandée dans un environnement salifère.

Le béton forme un massif initialement imperméable, mais qui absorbera lentement les fluides à long-terme. La couche de surface sera sujette à corrosion par la saumure. La réaction chimique entre le béton et la saumure résulte en une formation de croûte et d'une couche sacrificielle. Selon la norme DIN 4030, l'épaisseur de la couche sacrificielle indiquée par le fabricant est de moins de 50 mm. Cette valeur et l'imperméabilité de la couche sacrificielle ne sont pas vérifiables pour des périodes de centaines ou de milliers d'années. Afin d'assurer une isolation durable des blocs de déchets contre la saumure, il est recommandé de fermer l'entrée des blocs ou la zone complète de traitement des déchets en utilisant du bitume ou un matériau équivalent.

En conclusion, le béton de remblayage simplifierait considérablement le procédé de remblayage car il n'y a pas de surplus de saumure à traiter, et donc aucun besoin de galeries d'évacuation de la saumure. Ses caractéristiques, comme une très bonne capacité d'écoulement et l'absence de retrait, en font un matériau préférable au coulis de remblayage. Cependant, la construction d'une installation de malaxage en surface ou souterraine requiert des calculs plus détaillés, avant de prendre une décision finale. Ces calculs excédant les limites de cette étude de faisabilité, il est recommandé de compiler des données d'ingénierie de base, afin de créer une procédure optimale de remblayage. Les résultats des calculs fournis dans le chapitre 8 donnent des indications pour la sélection les meilleures options pour l'ingénierie de base.

6.3 Bilan Massique du Remblayage

La bilan massique du remblayage dépend de deux facteurs, le volume des excavations devant être remblayées et des propriétés comme la densité et le ratio saumure : solides des matériaux devant être utilisés. Le volume d'excavation est pris du bilan du chapitre 3.5. Le mortier DM 1 V, vendu par quick mix Berg- und Tunnelbaustoffe GmbH, est sélectionné comme exemple représentatif de composé testé et approuvé pour le remblayage souterrain. Le composé n'a cependant pas été choisi, car plusieurs autres études sont nécessaires pour prouver que ce composé s'applique à cette situation spécifique ou permet de créer un mélange adapté au remblayage des blocs de déchets

de StocaMine. Un mélange saturé saumure-NaCl a été choisi comme composant liquide pour éviter la dissolution de la surface du pilier.

La composition des matériaux et les propriétés des composés sont données dans le Tableau 13 et forment la base des calculs suivants.

Le volume de remblayage est pris du Tableau 3. Les calculs sont effectués pour les quatre options de remblayage listées dans le chapitre 3.5. Le sel de remblayage est indiqué afin d'avoir toutes les informations sur les matériaux et les propriétés pour la construction de serrements en sel gemme, requise dans l'option 3 (remblayage en béton des blocs de déchets et fermeture des galeries adjacentes par des serrements en sel).

Tableau 13 Propriétés des matériaux de remblayage et des composés

	Sel de Remblayage pour les serrements	Béton de Remblayage
composé solide	Sel gemme	mortier DM 1 V
densité	2,17 t/m ³	1,04 t/m ³ (densité apparente)
composé liquide	saumure-NaCl (pour humidification du sel gemme)	Saumure-NaCl
densité	1,21 t/m ³	1,21 t/m ³
ratio liquide : solide	-	0,8
densité moyenne	1,65 t/m ³	1,64 t/m ³

Tableau 14 Bilan Massique du Remblayage pour les quatre Options utilisant du Béton de remblayage

	Volume de remblayage	Matériau de remblayage		Composé solide (Mortier)		Composé liquide (Saumure-NaCl)	
		densité en t/m ³	masse en t	masse en t	volume en m ³	masse en t	Volume en m ³
Option 1 Site de stockage des déchets	189 021	1,64	309 994	172 219	165 595	137 775	113 864
Option 2 Blocs de stockage	113 769	1,64	186 581	103 656	99 669	82 925	68 533
Option 3 Blocs de stockage	52 123	1,64	85 481	47 489	45 663	37 992	31 398
Option 4 Bloc 15	14 250	1,64	23 370	12 983	12 484	10 387	8 584

Le Tableau 14 montre les quantités requises de composés solides et liquides pour les matériaux de remblayage proposés. En utilisant du béton de remblayage, avec un ratio liquide : solide à 0,8, la quantité totale des matériaux est de 309 994 t pour tous les blocs et galeries ; il a été calculé sur la base de 172 219 t de composés solides et 137 775 t ($172\,219\text{ t} \times 0,8$) de composés liquides. Les calculs pour les autres options ont été faits de manière identique.

Le composé liquide est de la saumure-NaCl saturée qui consiste en un volume de 15 % de NaCl et 85 % d'eau, ce qui est égal à 30 m% de NaCl et 70 m% d'eau. Comme la quantité requise d'eau varie de 7 300 m³ à 96 800 m³ selon l'option de remblayage, une production de saumure sur site, en utilisant une livraison de sel gemme, limiterait les coûts de transport, par rapport à une livraison de saumure. Néanmoins, une unité de malaxage de saumure est très coûteuse, l'estimation des coûts doit considérer ces deux faits pour déterminer la meilleure solution pour chaque option.

Au vu des options d'accès décrites dans le chapitre 7.1, le creusement de deux galeries de remblayage au dessus des blocs de déchets d'une longueur totale d'environ 1 400 m, d'une largeur de 3,8 m et d'une hauteur de 3,0 m, produirait environ 34 600 t de sel gemme. Cette quantité est supérieure à celle requise pour produire la saumure pour remblayer par béton les blocs de stockage et les blocs vides ; cela contribue à environ 80 % du sel gemme nécessaire pour produire la saumure utilisée pour le remblayage par béton de tous les blocs et galeries.

L'option 3 inclut les serrements en sel pour fermer les galeries reliées à la mine environnante. Ces serrements sont formés de sel gemme broyé comme composé solide, et de petites quantités de saumure pour humidifier le matériau salé et supporter la compaction. Le bilan massique du sel gemme et de la saumure est donné dans le Tableau 15. Les chiffres pour le matériau de remblayage n'incluent que les composés solides, car les serrements ne sont faits que de sel gemme sans aucun mélange de coulis ou d'autres matériaux.

Tableau 15 Bilan Massique du remblayage pour les Serrements en Sel

	Volume du serrement	Matériau de remblayage		Composé solide (sel gemme)		Composé liquide (saumure-NaCl)	
	en m ³	densité en t/m ³	masse en t	masse en t	volume en m ³	masse en t	volume en m ³
Serrements en sel	12 055	1,65	19 890	19 890	12 055	730	603

7 Techniques de remblayage

La technologie de remblayage comprend l'accès à la zone de remblayage depuis la surface, les matériaux utilisés, l'équipement de stockage et de préparation des composés, les installations et moyens de transport pour emmener les matériaux au site souterrain de remblayage et les installations et équipements pour remblayer le site de stockage des déchets. De plus, il faudra une installation de récupération et de traitement de la saumure, si la technologie choisie comprend des surplus de saumure.

7.1 Options d'accès

L'accès à la zone de remblayage peut être abordée sous trois approches, appelées option A1 (Remblayage depuis la Surface via Forages), A2 (Remblayage depuis le Système de Galeries adjacentes) et A3 (Remblayage via Galeries de remblayage et Galeries d'évacuation de Saumure).

Option A1

Les compartiments des blocs de déchets peuvent être atteints directement et remblayés depuis la surface via un réseau de forages (voir Figure 6). La figure suivante montre l'option de technologie de remblayage T1 (Emplacement de l'Installation de Remblayage en Surface - voir chapitre 7.3) comme exemple. Cependant, chaque option d'accès s'applique aux autres technologies de remblayage décrites.

Avantages :

- aucun équipement et installation pour transporter les matériaux ne sont nécessaires sous terre,
- adapté à tous les matériaux de remblayage proposés

et

- remplissage complet de toutes les cavités avec forages multiples par bloc.

Inconvénients :

- coûteux car 4-6 forages par bloc à une profondeur d'environ 600 m,
- sites de forage en surface et espace requis pour la tour de forage,
- Les forages devront passer au travers des niveaux de mines effondrés et aller précisément dans les cavités des blocs,
- un revêtement est requis, du moins dans les profondeurs des niveaux miniers effondrés

et

- interfère avec le concept de barrières en établissant de multiples connexions possibles entre la zone de stockage des déchets et la géosphère, la biosphère et l'atmosphère.

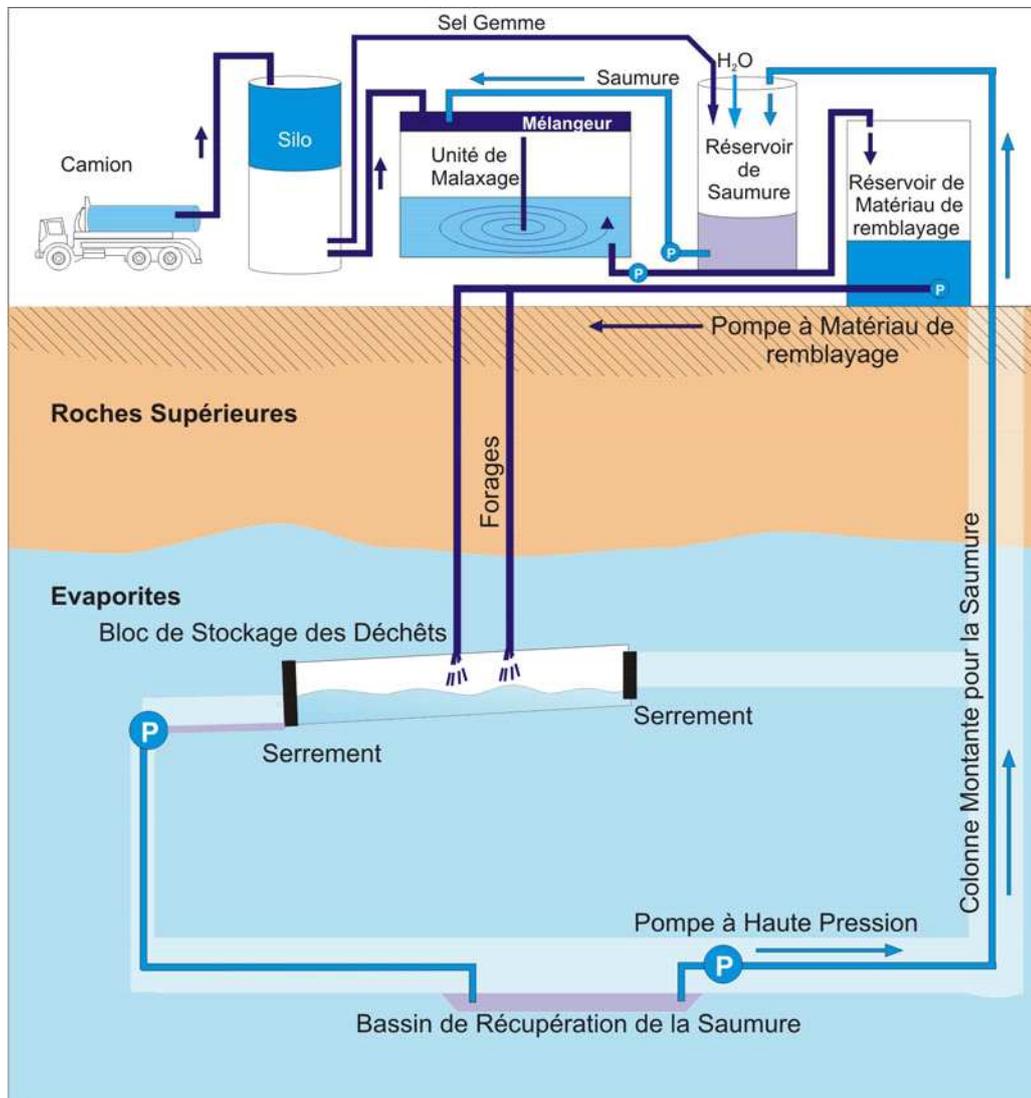


Figure 6 Option A1 - Remblayage depuis la Surface via des Forages

Option A2

On peut accéder aux compartiments des blocs de déchets par les systèmes de galeries adjacentes (voir Figure 7). Ces connexions sont bloquées par coffrage et le bloc est remblayé via des pipelines sous le toit. Selon le matériau de remblayage, il faudra peut-être des pipelines ou galeries supplémentaires en dessous du niveau des déchets, pour récupérer les surplus de saumure.

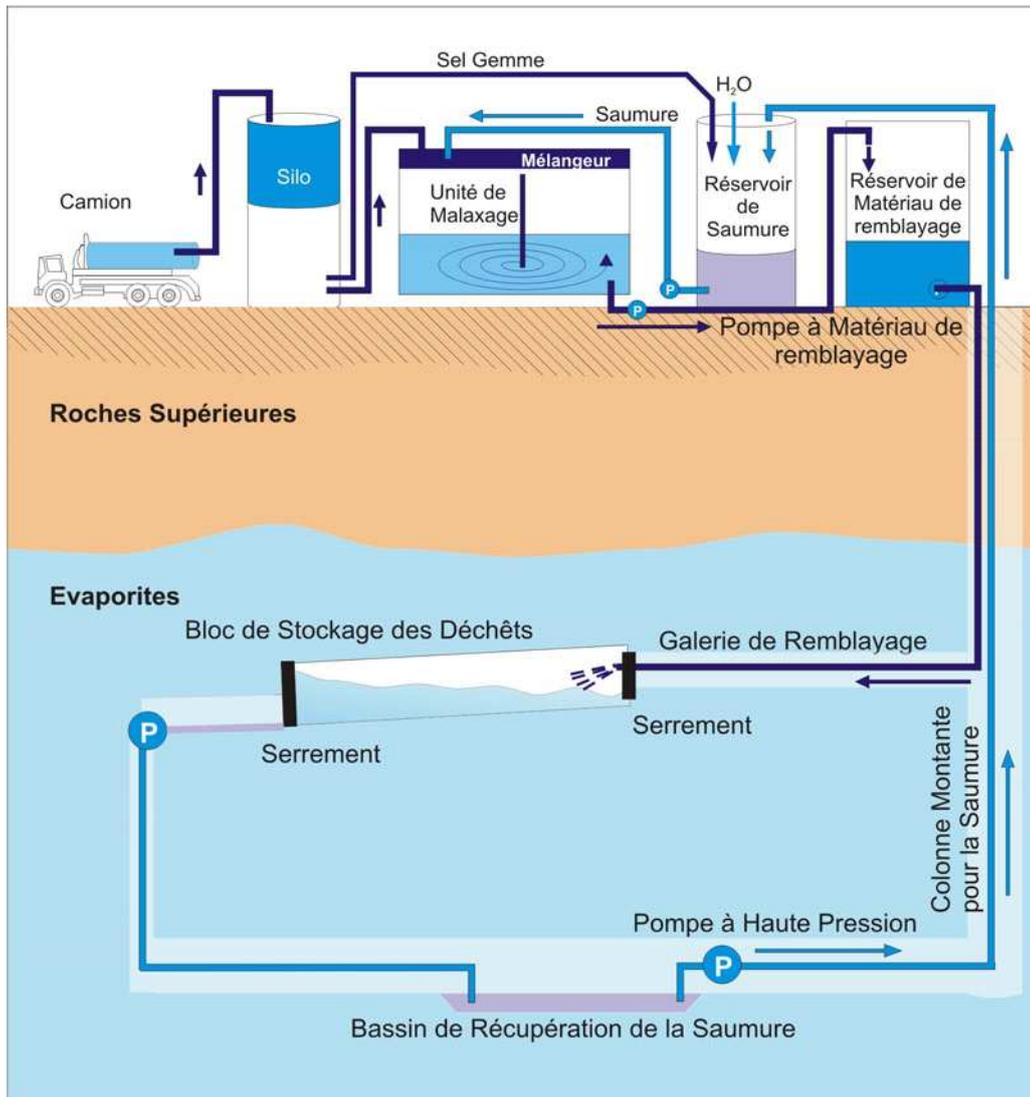


Figure 7 Option A2 – Remblayage depuis le Système de Galeries adjacentes

Avantages :

- un accès complet déjà existant,
- pas besoin d'espace en surface,

et

- aucun équipement de forage nécessaire.

Inconvénients :

- le remplissage complet de toutes les cavités ne peut être garanti

et

- certains matériaux de remblayage ne sont pas adaptés pour l'évacuation de la saumure.

Option A3

On peut accéder aux compartiments des blocs de déchets en creusant des galeries de remblayage entre le niveau de stockage des déchets et la partie supérieure des niveaux d'exploitation de la mine, et en forant des trous de remblayage jusqu'aux compartiments. Si nécessaire, des galeries supplémentaires de récupération des surplus de saumure pourront être creusées en dessous du niveau des déchets où des trous de récupération seront creusés jusqu'aux compartiments (voir Figure 8).

Avantages :

- adapté à tous les matériaux de remblayage proposés
- remplissage complet de toutes les cavités avec forages multiples par bloc.

et

- le sel gemme provenant des forages peut être utilisée comme matériau de remblayage.

Inconvénients :

- équipement de forage nécessaire.
- besoin d'une facilité de stockage pour le sel gemme (stockage intermédiaire si utilisé ultérieurement pour le remblayage)

et

- affaiblissement de la couche de sel sur et sous le niveau du site des déchets, comme faisant partie de la barrière géologique.

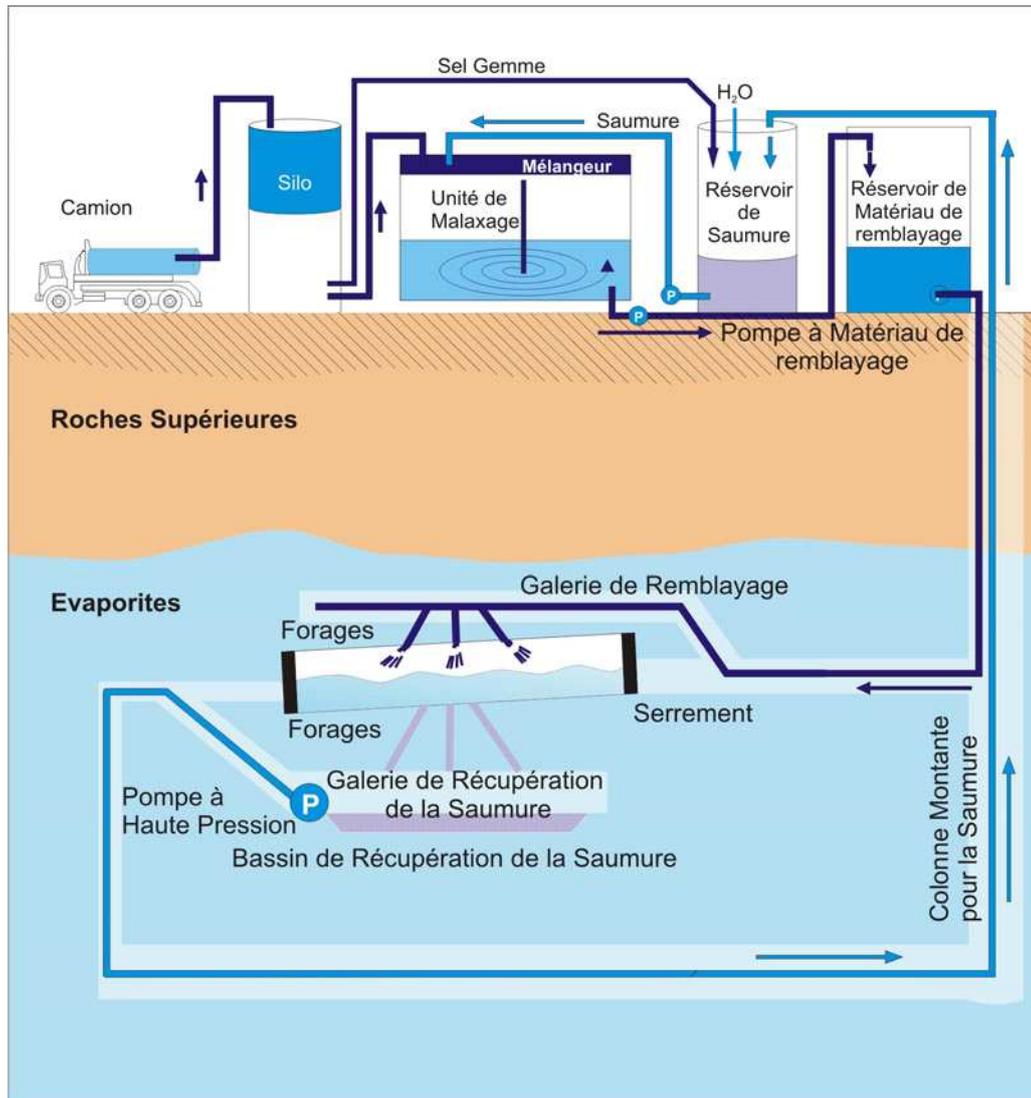


Figure 8 Option A3 - Remblayage par Galeries de Remblayage et Galeries d'Évacuation de Saumure

L'option A1 (Remblayage depuis la Surface via Forages) est rejetée à cause de ses inconvénients comme ses interférences avec le concept de barrière, les coûts très élevés du forage de précision des cavités de remblayage et l'espace requis pour les installations de forage.

Les deux autres options A2 (Remblayage depuis le Système de Galeries adjacentes) et A3 (Remblayage par Galeries de Remblayage et Galeries d'Évacuation de Saumure) sont toutes deux avantageuses sur certains points, mais comme l'option A3 nécessite le forage de galeries additionnelles, il faudrait faire une étude plus détaillée ou de l'ingénierie de base pour vérifier s'il y a un besoin d'un permis minier et des possibilités de soit forer avec un équipement propre/loué ou de sous-traiter ces tâches. De plus, le

sel gemme exploité devra être ramené à la surface et stocké pour produire la saumure nécessaire au remblayage. Il est possible de combiner les options A2 et A3. Le remblayage serait fait selon l'option A2 mais la récupération de la saumure se ferait par galeries d'évacuations et forages jusqu'aux blocs. Cela réduit les coûts du travail préparatoire et améliore la récupération de saumure des blocs.

7.2 Préparation des Blocs

Avant de commencer le remblayage d'un bloc de déchets, celui-ci doit être protégé des fuites provenant des matériaux de remblayage. Les étapes préparatoires sont décrites ci-dessous.

Tout d'abord, il faut inspecter toutes les galeries et les compartiments pour vérifier l'écaillage. Il faut écailler et renforcer le toit et les murs si nécessaire, pour que le site soit sûr.

Les matériaux de remblayage devraient être insérés au point géodésique le plus haut pour atteindre le taux maximum de remblayage. A cause de l'accès limité, les points de remplissage seront aux entrées des blocs ou via les forages à partir d'une galerie de remblayage au dessus. Les points de remplissage aux entrées devraient être directement sous le toit. Pour élever ce point d'avantage, un espace suffisant devrait être creusé dans le toit où la conduite de remblayage est installée. Dans le cas de forages depuis une galerie de remblayage, le niveau de remplissage sera limité à la hauteur du toit à l'endroit du trou.

L'entrée des blocs doit être bloquée par coffrage. Le coffrage doit répondre aux conditions suivantes :

- besoin de peu d'espace,
- étanche aux matériaux de remblayage,
- drainage du surplus de saumure

et

- pression minimum de 0,6 bar.

Au vu du peu d'espace disponible, des panneaux de coffrage, des barrages en bois ou en acier sont des options possibles.

Les panneaux de coffrage sont des panneaux préfabriqués en bois renforcé qui se mettent dans les entrées. Si nécessaire, ils peuvent être renforcés par des attaches.

Les barrages en bois consistent en des planches ou du bois disposés verticalement et fixés par des planches ou du bois alignés horizontalement. Si nécessaire, ils peuvent être renforcés par des attaches.

Les barrages en acier consistent en des planches de bois disposées verticalement et fixées par des rails d'acier alignés horizontalement. Si nécessaire, ils peuvent être renforcés par des attaches.

Comme l'acier est plus cher que le bois, et avec une faible pression à supporter, des panneaux de coffrage ou des barrages en bois sont recommandés pour le coffrage. Les panneaux de coffrage sont inclus dans l'estimation des coûts au chapitre 8.

Si le remblayage comprend un surplus de saumure, des bassins pour collecter la saumure doivent être créés, en inclinaison nord-ouest des blocs de déchets. Une pompe et des conduites de saumure additionnelles jusqu'aux puits sont nécessaires, de même qu'une colonne montante pour la saumure dans le puits.

7.3 Options de Techniques de remblayage

Le procédé de remblayage comprend les étapes suivantes :

- livraison et stockage des composés des matériaux de remblayage,
- transport des composés à l'installation de malaxage,
- préparation des matériaux de remblayage dans l'installation de malaxage,
- transport des matériaux de remblayage dans les compartiments préparés à cet effet,
- remplissage des compartiments

et

- récupération et traitement des surplus de saumure, si nécessaire.

La livraison et le stockage des composés de remblayage, de même que le transport des composés et de la préparation des matériaux dépendent du type de matériau prévu ; le fonctionnement est cependant le même pour toutes les options, une fois que le matériau est sélectionné.

Certains composés comme le ciment ou le sel gemme, seront stockés dans des silos ou des bâtiments de stockage. Les composés peuvent être transportés par convoyeurs ou pipelines pour les matériaux en vrac, et par chariot élévateur, monte-charge ou camion pour les matériaux emballés. Le matériau de remblayage préparé sera transporté par pipelines.

Pour éviter de laisser des cavités ouvertes, le matériau de remblayage doit être inséré au point géodésique le plus haut du bloc à remblayer. Comme l'accessibilité des blocs est limitée, le point d'insertion doit être directement en dessous du toit pour limiter les cavités ouvertes.

L'emplacement de l'installation de malaxage dépend de la distance de transport maximum possible des matériaux de remblayage. Les besoins en espace sont un autre facteur essentiel pour l'emplacement de l'installation de malaxage.

Trois différentes options peuvent être identifiées pour l'emplacement de l'installation ; il s'agit des options T1 (Installation en Surface), T2 (Installation souterraine) et T3 (Installation de pré-Malaxage en Surface et Installation de Remblayage Souterraine).

Option T1

L'installation de malaxage et les bâtiments de stockage des composés sont construits en surface. Le matériau de remblayage malaxé est pompé via pipelines vers les compartiments préparés. Le matériau peut être stocké dans un réservoir souterrain pour une distribution efficace dans les blocs sur de courtes distances (voir Figure 9). La figure suivante prend l'option d'accès A2 (Remblayage depuis le Système de Galeries adjacentes - voir chapitre 7.1) comme exemple. Cependant, chaque option de technologie de remblayage s'applique aux autres options d'accès décrites.

Avantages :

- Aucune installation souterraine, sauf les pipelines,
- Aucune limite d'espace pour le stockage et l'installation de malaxage

et

- La différence de hauteur géodésique dans le puits peut-être utilisée pour transporter le matériau de remblayage au site souterrain de remblayage.

Inconvénients :

- Les longues distances de transport de matériau malaxé limitent le choix de ces derniers,
- Besoins en espaces pour les installations de stockage et de malaxage à la surface

et

- De hautes pressions nécessitant des pipelines et des appareillages plus solides (et plus chers).

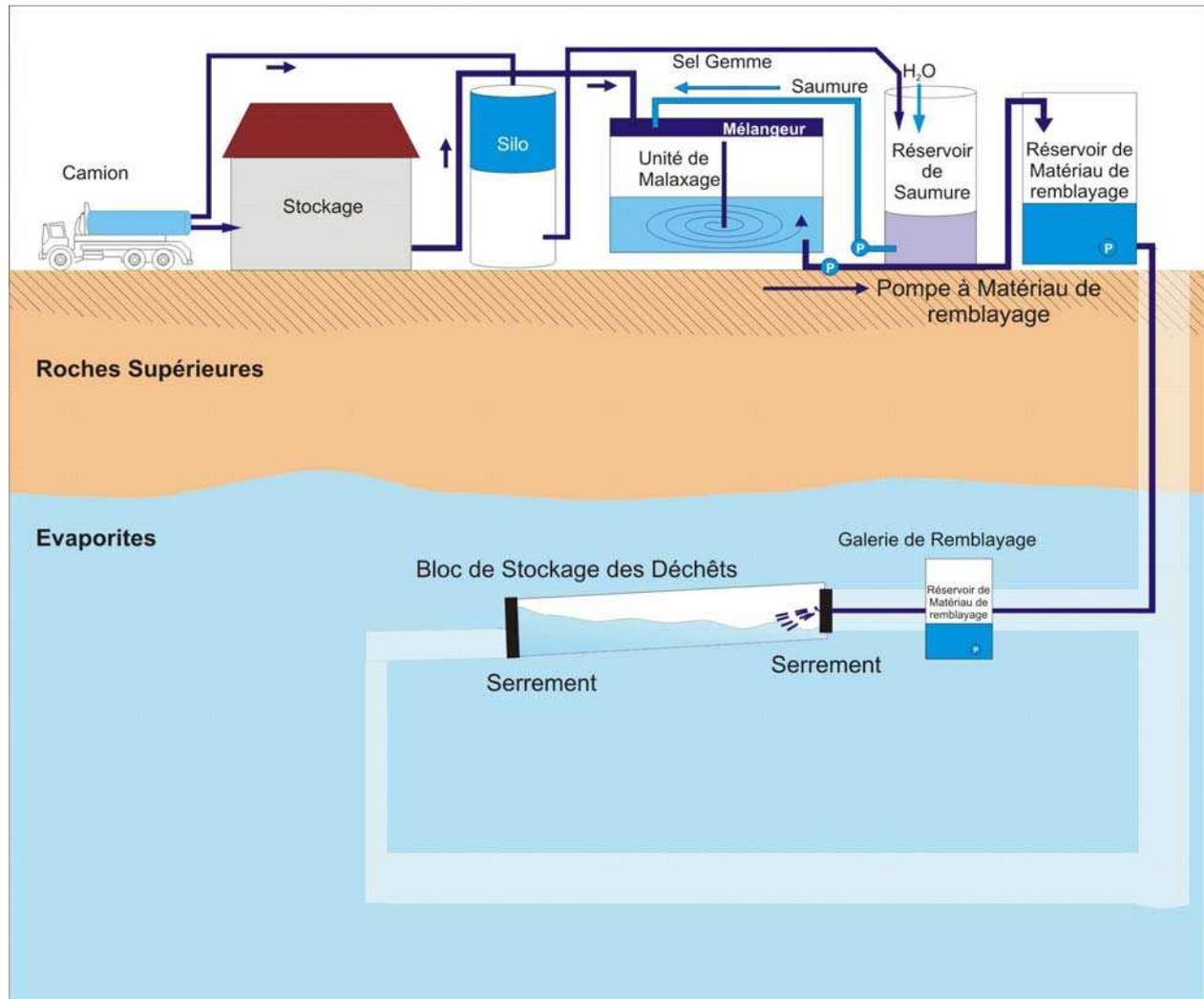


Figure 9 Option T1 - Installation en Surface

Option T2

L'installation de remblayage est installée sous terre dans les galeries allant des puits aux blocs de déchets. Les bâtiments de stockage des composés sont à la surface, et une petite aire de stockage reste près de l'installation souterraine pour continuer les opérations en cas d'interruption d'approvisionnement des composés. Le matériau de remblayage malaxé est pompé via pipelines sur de petites distances vers les compartiments préparés (voir Figure 10).

Il faut pré-examiner la nécessité de rendre l'installation souterraine conforme avec la réglementation grisou.

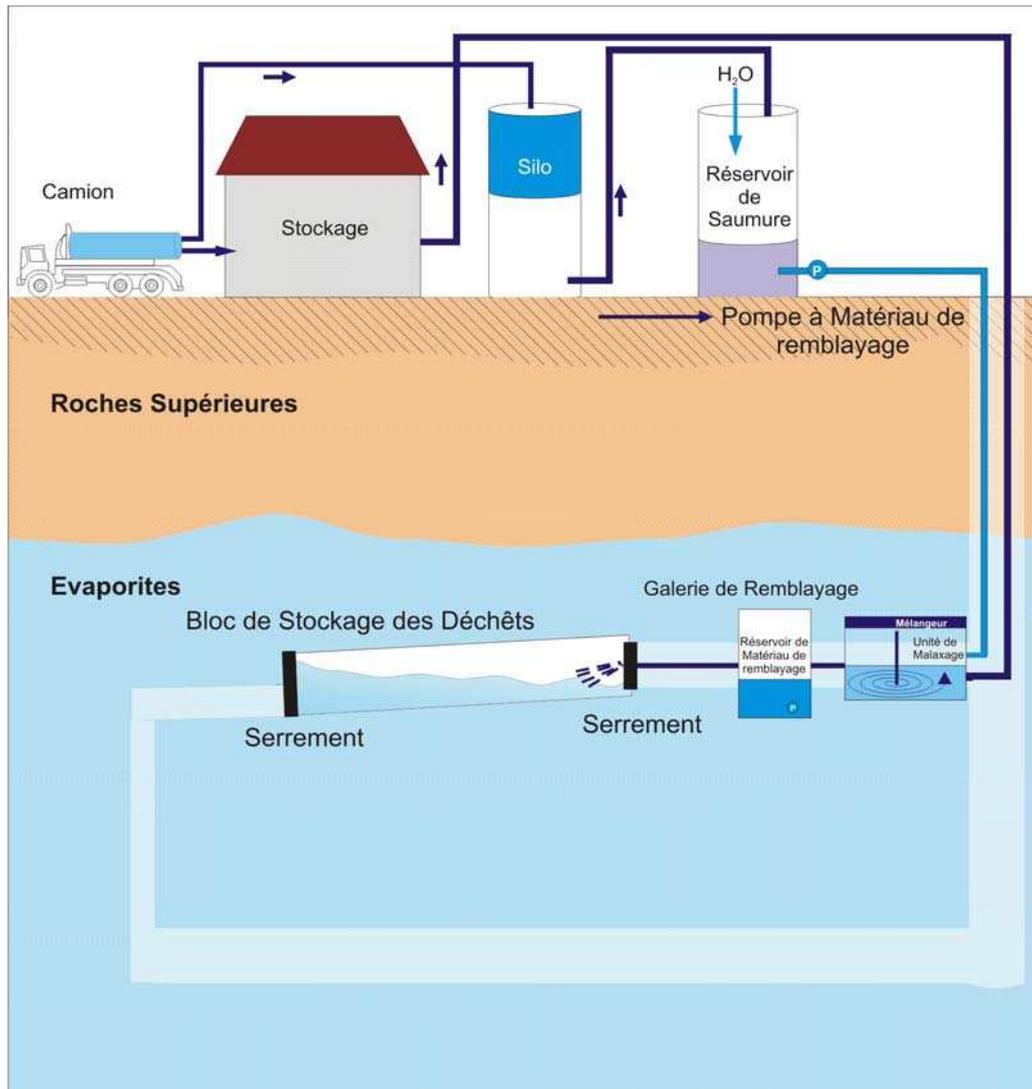


Figure 10 Option T2 - Installation Souterraine

Avantages :

- Pas besoin d'espace en surface pour l'installation,

et

- Adapté pour différents matériaux de remblayage car les distances de transport sont courtes.

Inconvénients :

- La mise en conformité de l'installation souterraine avec la réglementation grisou peut être requise,
- Seules des petites installations de malaxage peuvent être construites à cause de l'espace limité,

- Des pompes sont requises pour transporter le matériau de remblayage malaxé

et

- Une aire de stockage supplémentaire près de l'installation souterraine est nécessaire, en plus du stockage en surface.

Option T3

L'installation de malaxage et les bâtiments de stockage des composés sont construits en surface. Le matériau pré-malaxé est pompé vers la station de malaxage souterraine où il est finalisé au moyen d'additifs. Le matériau de remblayage est ensuite pompé vers les compartiments préparés. Ceci est une option si le mélange final ne permet que le pompage sur de courtes distances (voir Figure 11).

Il faut pré-examiner la nécessité de rendre l'installation souterraine conforme avec la réglementation grisou.

Avantages :

- aucune limite d'espace pour le stockage et l'installation de malaxage

et

- La différence de hauteur géodésique dans le puits peut-être utilisée pour transporter le matériau de remblayage au site souterrain de malaxage.

Inconvénients :

- La mise en conformité de l'installation souterraine avec la réglementation grisou peut être requise,
- Deux installations de stockage sont nécessaires pour les composés du matériau de remblayage,
- Deux installations de malaxage sont nécessaires,
- Besoins en espace pour les installations de stockage et de malaxage en surface

et

- La capacité de l'installation de malaxage en surface est limitée par la capacité de l'installation de malaxage souterraine.

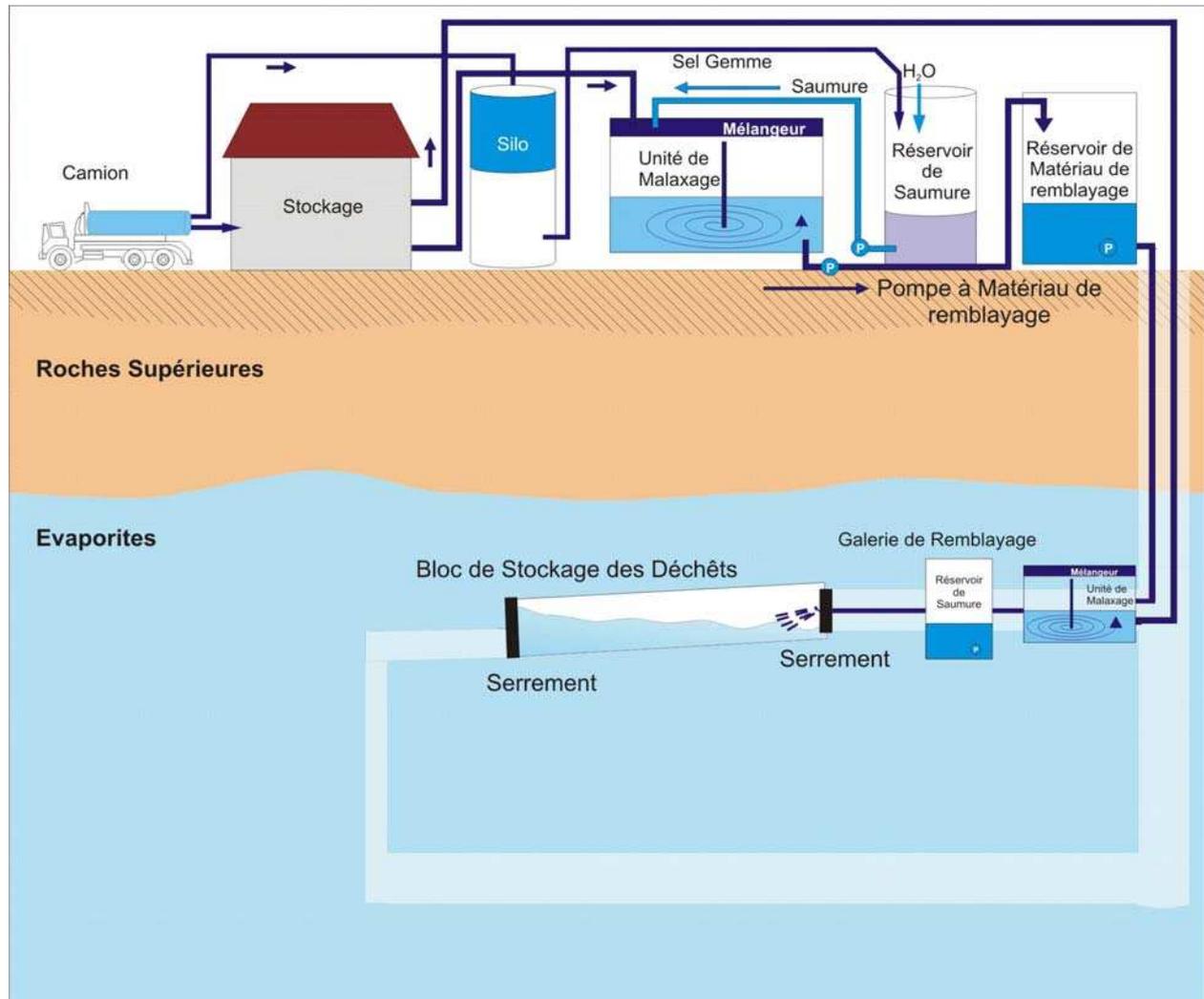


Figure 11 Option T3 - Installation de pré-Malaxage en Surface et Installation de Remblayage Souterraine

Comme les matériaux de remblayage proposés peuvent être traités par une seule installation en surface (T1) ou souterraine (T2), l'option T3 (Installation de pré-Malaxage en Surface et Installation de Malaxage Souterraine) est rejetée. L'option T3 ne serait avantageuse que si le matériau de remblayage pré-malaxé peut être facilement pompé sous terre et finalisé en ajoutant des additifs directement sur le site de remblayage. Ce n'est pas le cas pour les matériaux de remblayage proposés. Les options T1 et T2 étant toutes deux avantageuses, le choix final dépendra de l'estimation des coûts.

7.4 Obturer la Zone de Stockage des Déchets par des Serrements

En se basant sur le Concept de Barrière, la zone de stockage des déchets remblayée sera obturée et séparée des chantiers d'exploitation environnants par des serrements dans le système de galeries adjacentes. Les galeries concernées sont données dans le chapitre 3.5.

StocaMine a proposé une disposition générale des serrements. Les serrements seront en sel gemme et d'une longueur d'environ 40 m. Ils sont situés

- à l'entrée des galeries adjacentes SE de la zone de stockage des déchets (emplacements 1, 2 et 3 dans l'annexe 2),
- à la sortie des galeries adjacentes à droite des blocs de stockage 11 et 21 (emplacements 8, 9, 10 et 11 dans l'annexe 2),
- dans la galerie Vam RAJ3 menant au bloc 11 pour sceller les forages des galeries Vam JBb et VAM JNc (emplacement 7 dans l'annexe 2),
- dans les galeries de Vam AQ0T menant aux blocs 11 et 12 (emplacements 5 et 6 dans l'annexe 2)

et

- aux entrées dans la zone de stockage des déchets dans les galeries Vam AQ0T et Vam AQ0D à la sortie des connexions aux galeries adjacentes (emplacements 4 et 12 dans l'annexe 2).

Les serrements aux emplacements proposés isolent de façon fiable la zone de stockage des déchets de la mine environnante. Ils sont placés non seulement pour isoler la zone de stockage des déchets, mais aussi pour bloquer les parcours d'écoulement entre les niveaux extérieurs. Au vu du remblayage de tous les blocs et galeries à l'intérieur des serrements, ceux-ci devraient être repositionnés pour minimiser la quantité de matériau requis. Cependant, il y a d'autres restrictions pour un positionnement libre des serrements. Surtout au sud-ouest de la zone de déchets, des forages dans d'autres galeries au dessous du niveau de stockage devront être obturés ou ne devront pas être inclus dans la zone isolée. Avec des serrements en béton, le positionnement doit prendre en compte les piliers centraux dans les galeries adjacentes. L'élargissement nécessaire des contours des galeries affaiblira ces piliers. Les serrements sont repositionnés pour minimiser l'impact de cet élargissement. Les nouveaux emplacements sont adéquats autant pour des serrements en béton que pour des serrements en sel gemme. Ces corrections mineures afin d'optimiser l'isolation de la zone de déchets donnent les emplacements indiqués dans la Figure 12.

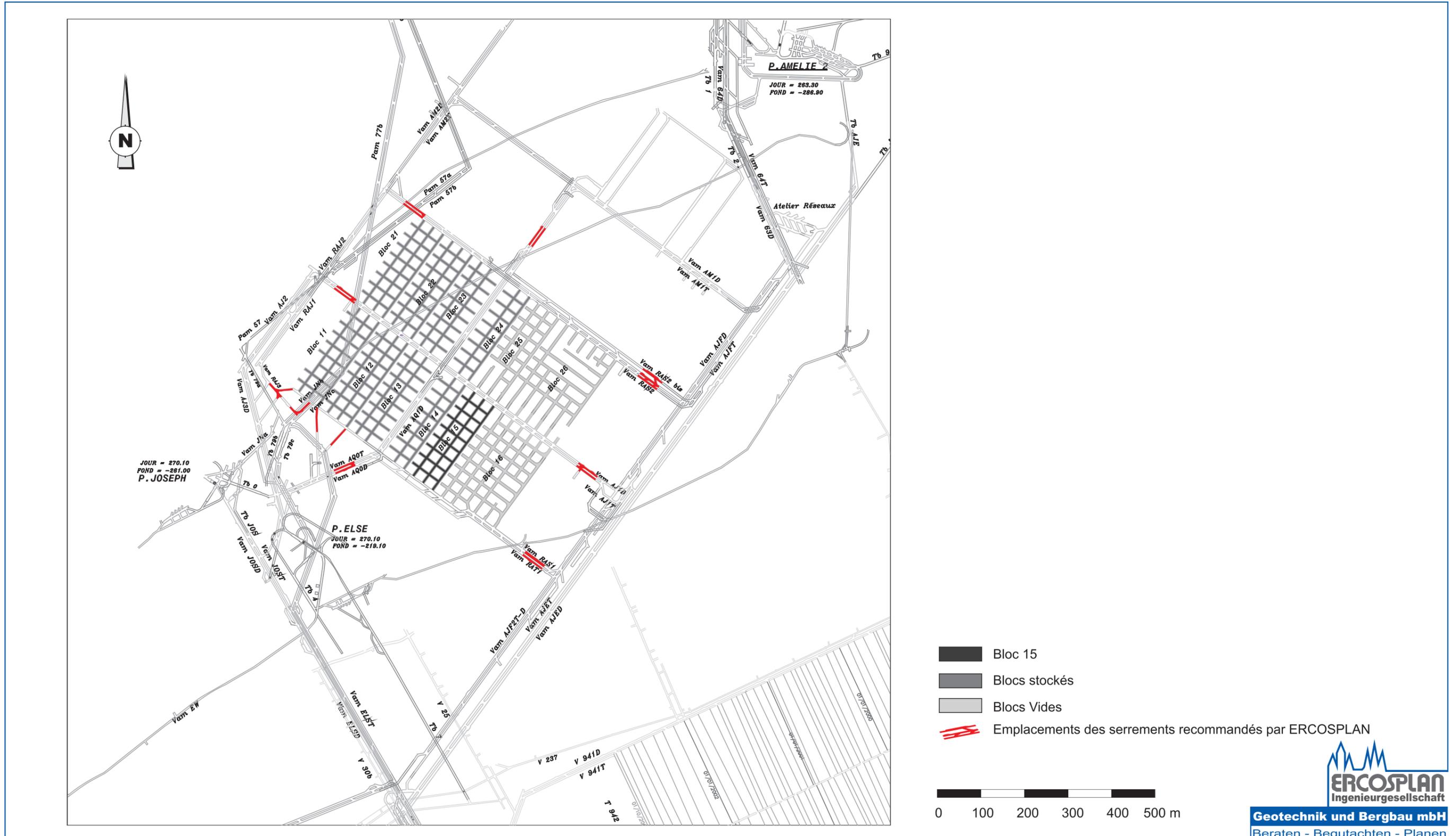


Figure 12 Emplacements recommandés des serrements (basé sur /11/ - Plan de mine - Site de stockage des déchets, /16/ - Plan de mine Emplacements proposés des serrements)

a) Serrements en Sel Gemme

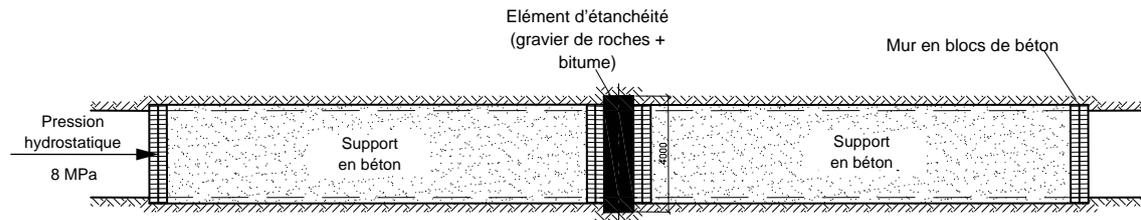
StocaMine a proposé de construire des serrements en sel gemme. Ils permettent une isolation de base de la zone des déchets contre la saumure lorsque la mine Amélie sera inondée. Les serrements n'empêcheraient pas des fuites de saumure dans la zone des déchets. Cela exigerait des taux de convergence beaucoup plus élevés pour atteindre une compaction suffisante du sel gemme avant l'inondation de la mine. Les serrements fonctionneraient comme un frein ralentissant la circulation de saumure. Cela réduit le transfert de masse entre la saumure dans la zone de déchets, et la saumure dans la mine environnante. De plus, une fois la saumure complètement saturée, la dissolution de la surface des piliers s'arrêta, et l'érosion de la surface du matériau de remblayage ralentira. Pendant l'inondation, comme l'eau sera saturée par les sels minéraux, la saumure sera déjà relativement concentrée lorsqu'elle atteindra la zone des déchets. La phase initiale de dissolution sera donc courte et l'érosion des piliers sera moindre. L'érosion de la surface du matériau de remblayage ne s'arrêta pas complètement à cause de la saumure contenant du $MgCl_2$, et la corrosivité de ce composé sur les matériaux en béton. En conséquence, il n'est pas recommandé d'utiliser des serrements en sel gemme, si d'autres mesures d'imperméabilisation contre les saumures provenant de l'inondation ne sont pas prises.

b) Serrements en Béton

Afin d'isoler la zone de déchets de façon étanche sans obturer chaque entrée de bloc, il est recommandé d'utiliser des serrements en béton avec fermeture au bitume, plutôt que des serrements en sel gemme. Ils sont composés d'une barrière en bitume et de deux supports en béton incrustés dans la barrière en bitume. La construction des serrements est décrite ci-dessous.

Les contours des galeries sont d'abord élargis pour obtenir des zones de contact stables au toit, sur la sole et sur les murs. Une fente est ensuite découpée pour la construction ultérieure de l'élément d'étanchéité en bitume et des trous d'injection sont creusés dans le toit. Pour le premier support, deux murs en blocs de béton sont construits. L'espace entre les murs est rempli de béton. Un autre mur en blocs de béton est construits et avec la construction de ce mur, les espaces sont comblés avec du gravier de roches et du bitume. Après fermeture des éléments d'étanchéité, du bitume est injecté depuis les trous d'injection jusqu'à remplissage complet. Le second support est construit comme le premier. Le croquis dessiné en Figure 13 montre la conception du serrement en béton décrit ci-dessus.

croquis – Conception du serrement



details – étanchéité en bitume

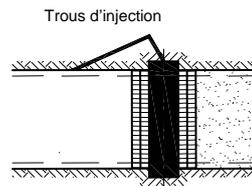


Figure 13 Conception Générale d'un Serrement en Béton avec Fermeture au Bitume

Les serrements en béton pour isoler la zone de déchets sont dimensionnés pour supporter la charge de la pression hydrostatique la plus élevée (8 Mpa si la saumure remplit les chantiers d'exploitation et les puits jusqu'à la surface) avec un seul support en béton. La construction avec deux supports de même taille donne un coefficient de sécurité de 2 pour le serrement.

7.5 Option recommandée

La comparaison des différentes options montre que la combinaison suivante de matériaux, accès, technologie et isolation de la zone des déchets serait préférable, et devrait être étudiée plus en détails en ingénierie de base:

- Béton de Remblayage,
- Option A2 (Remblayage depuis le Système de Galeries adjacentes),
- Option de technologie de remblayage T2 (Installation de Malaxage Souterraine) ou T1 (Installation de Malaxage en Surface)

et

- Serrements en béton.

L'avantage majeur du béton de remblayage est que la saumure se lie complètement dans le béton. Il n'y a donc pas besoin de la récupérer et de la traiter. La pulpe de sel

gemme de remblayage coûte moins cher, mais entraîne des dépenses supplémentaires pour la récupération et le traitement de la saumure.

L'option d'accès A2 (Remblayage depuis le Système de Galeries adjacentes) utilise complètement les galeries et compartiments existants pour le remblayage, et ne requiert donc pas de travail préparatoire comme le forage ou le percement de galeries. Le remplissage complet jusqu'au toit des blocs ne peut être garanti. Cependant, la fermeture des compartiments éliminera les vides restants. Après remblayage, la convergence des compartiments sera limitée à environ 7 à 8 % du volume initial d'excavation.

La technologie de remblayage T2 (Installation de Malaxage Souterraine) répond aux exigences du matériau de remblayage et, contrairement aux autres options, ne nécessite aucune autorisation pour une installation de malaxage en surface. La capacité de l'installation de malaxage souterraine est limitée par l'espace disponible dans les galeries existantes.

Alternativement, l'option de technologie de remblayage T1 (Installation de Malaxage en Surface) pourrait également être choisie. Néanmoins, les besoins en espace à la surface et l'obtention d'autorisation pour l'installation de malaxage en surface rendent l'option T2 (Installation de Malaxage Souterraine) plus intéressante. La capacité de malaxage ne serait pas limitée par les dimensions des pièces.

La construction de serrements en béton permet non seulement d'isoler la zone des déchets de la mine environnante mais fournit aussi une protection étanche contre la saumure pour le massif de remblai. Des serrements en béton sont recommandés, car des serrements en sel gemme ne peuvent donner cette fermeture.

Toutes les options discutées peuvent s'appliquer de manière générale, mais devront s'ajuster à la composition finale du matériau de remblayage. La composition finale devra être développée en tenant compte des résultats d'une étude sur les réactions chimiques possibles entre les déchets et le matériau de remblayage.

8 Estimation des Coûts Approximatifs

Ce chapitre donnera une estimation des coûts approximatifs pour chaque option et comparera les résultats. L'option d'accès A2 (Remblayage depuis le Système de Galeries adjacentes) et l'option de technologie de remblayage T1 (Installation de Malaxage en Surface) sont la base pour l'estimation du coût des équipements. L'option favorable de technologie de remblayage T2 (Installation de Malaxage Souterraine) est évaluée en comparaison des coûts estimés pour l'option T1. L'installation et le démontage des équipements de remblayage, ainsi que la construction des serrements de béton sont inclus. Les coûts de main d'œuvre pour le remblayage et la construction des serrements en sel gemme n'ont pas été calculés ; ces tâches sont censées être effectuées par le personnel de StocaMine.

L'installation de malaxage et les équipements de remblayage sont calculés sur une capacité de remblayage de 300 m³/j. La durée résultante de remblayage est donnée pour chaque option. Le temps nécessaire au montage de l'installation de remblayage et des équipements a été estimé à 22 semaines. Le temps de démontage est estimé à 5 semaines. Le temps de construction des serrements en sel gemme est estimé à 21 semaines. Cela doit s'ajouter à la durée de remblayage puisque StocaMine est censé fournir la main d'œuvre et les équipements. Le temps de construction des serrements de béton est estimé à 79 semaines. Ce temps beaucoup plus long pour la construction est le résultat de la complexité de la mise en place d'une barrière imperméable comme le serrement en béton proposé (voir chapitre 7.4). Ces travaux peuvent commencer pendant le remblayage puisque cette tâche sera sous-traitée. Cependant, afin d'assurer l'accessibilité à la zone des déchets pour le remblayage, la moitié des serrements seront construits après remblayage. Cela résulte dans l'ajout de seulement 40 semaines (0,5 x 79) pour la durée totale de remblayage.

Les coûts estimés et les temps sont indiqués dans le Tableau 16. Les coûts pour l'installation de malaxage en surface incluent

- unité de malaxage de la saumure,
- unité de malaxage du matériau de remblayage,
- conduite de puits,
- pipelines souterrains,
- unité de contrôle du système

et

- installation.

Le démontage est calculé pour les unités en surface seulement ; les pipelines seront usés après les opérations de remblayage et resteront sous terre.

Les coûts de l'installation de l'usine de malaxage représentent une part considérable du montant total, tout particulièrement pour l'option 4 (Remblayage en béton pour le bloc 15 et fermeture des galeries adjacentes par serrements en béton). Si seule une petite partie du site de stockage des déchets doit être remblayée, il vaut mieux louer les équipements de remblayage ; cela devra être pris en compte dans l'ingénierie de base pour le calcul des coûts.

Le malaxage de la saumure sur site coûte relativement cher, environ 1 688 000 EUROS, pour l'unité, son montage et démontage après l'opération de remblayage. La comparaison entre la livraison de sel gemme et le malaxage de saumure sur site et la livraison de saumure-NaCl, montre que l'option 1 de remblayage complet du site de stockage des déchets est plus chère alors que les options 2, 3 et 4 avec remblayage d'un seul ou plusieurs blocs sont moins coûteuses si le mélange saumure-NaCl est livré. L'installation d'une unité de malaxage de saumure n'est recommandée que pour l'option 1.

L'option de technologie de remblayage T2 (Installation de Malaxage Souterraine) est aussi recommandée comme alternative à l'option T1 (Installation de Malaxage en Surface). La seule partie de l'estimation des coûts différente de l'option T1 est l'unité de malaxage, y compris son montage et démontage (item 1). Les composés du matériau de remblayage seraient transportés dans des galeries de roulage (béton) et des pipelines (saumure) et mélangés près des blocs de déchets pour minimiser la longueur de pipeline et les coûts. Cela limite la capacité de remblayage à la capacité du puits de mine de 240 t/j ou environ 120 m³/j. Une construction de serrements et un remblayage simultanés ne sont pas possibles, chaque tâche dépendant des galeries de roulage pour l'approvisionnement en matériel. La capacité limitée ainsi que l'opération consécutive augmentent la durée de manière considérable, par un facteur de 1,6 pour l'option 3 (3 ans au lieu de 2) et de 2,2 pour l'option 1 (9 ans au lieu de 4). Les coûts pour une installation souterraine de capacité plus petite représentent 50 à 60 % des coûts de l'installation en surface.

StocaMine est censé fournir le personnel et des équipements de base pour le remblayage du site, afin de réduire les coûts. Les panneaux de coffrage pour fermer les blocs avant remblayage sont inclus dans les calculs des opérations de remblayage.

La construction des serrements en sel gemme de l'option 3 inclut l'équipement de remblayage et les coûts opératoires, alors que StocaMine est censé fournir la main d'œuvre.

La construction des serrements en béton dans les options 1, 2 et 4 est calculée comme étant en sous-traitance et représente le coût total des serrements en béton.

Les serrements en sel gemme sont moins chers que les serrements en béton, mais ne peuvent être recommandés en raison des inconvénients décrits au chapitre 7.4.

Comme indiqué au chapitre 5, le système de galeries Vam AJ1D / Vam AJ1T devrait être remblayé entre l'intersection de la galerie Vam AQ1D et la position recommandée du serrement au sud-ouest ; Cela assurerait la stabilité de la zone qui est soumise à la charge du pilier résiduel dans le niveau minier potassique. Cette zone comprend environ 7 600 m³ de volume additionnel de remblayage et ajouterait 460 000 EUROS aux coûts de remblayage quelque soit l'option choisie.

Cette estimation des coûts approximatifs est basée sur des coûts comparables en Allemagne en 2007. Tous les coûts sont donnés avec une marge d'erreur de +/- 35 % et ne comprennent pas la TVA.

Tableau 16 Comparaison des Estimations Approximatives des Coûts et des Calendriers Généraux pour les options discutées

Item	Description	Option 1 Remblayage au béton du site des déchets et serrements en béton		Option 2 Remblayage au béton des blocs de stockage et serrements en béton		Option 3 Remblayage au béton des blocs de stockage et serrements en sel gemme		Option 4 Remblayage au béton du bloc 15 et serrements en béton	
		Coût estimé ² en EURO	Durée estimée en semaines	Coût estimé en EURO	Durée estimée en semaines	Coût estimé en EURO	Durée estimée en semaines	Coût estimé en EURO	Durée estimée en semaines
1.1	installation de malaxage	3 469 000		3 469 000		3 469 000		3 469 000	
1.2	montage de l'installation	1 035 000	22	1 035 000	22	1 035 000	22	1 035 000	22
1.3	démontage de l'installation	243 000	5	243 000	5	243 000	5	243 000	5
<i>sous-total 1</i>		<i>4 747 000</i>	<i>27</i>	<i>4 747 000</i>	<i>27</i>	<i>4 747 000</i>	<i>27</i>	<i>4 747 000</i>	<i>27</i>
2.1	Matériaux de remblayage	10 494 000		2 880 000		2 880 000		808 000	
2.2	remblayage	50 000	128	50 000	37	50 000	37	20 000	12
<i>sous-total 2</i>		<i>10 544 000</i>	<i>128</i>	<i>2 930 000</i>	<i>37</i>	<i>2 930 000</i>	<i>37</i>	<i>828 000</i>	<i>12</i>
3.1	matériaux pour serrements en sel gemme	-		-		846 000		-	
3.2	construction des serrements en sel gemme	-	-	-	-	251 000	21	-	-
<i>sous-total 3</i>		<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>1 097 000</i>	<i>21</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
4.1	matériaux pour serrements en béton	4 422 000		4 422 000		-		4 422 000	
4.2	construction des serrements en béton	1 748 000	79	1 748 000	79	-	-	1 748 000	79
<i>sous-total 4</i>		<i>6 170 000</i>	<i>40³</i>	<i>6 170 000</i>	<i>40</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>6 170 000</i>	<i>40</i>
<i>total</i>		<i>21 461 000</i>	<i>195</i>	<i>13 847 000</i>	<i>103</i>	<i>8 774 000</i>	<i>85</i>	<i>11 745 000</i>	<i>78</i>

² Cette estimation approximative des coûts est basée sur des coûts comparables en Allemagne en 2007. Tous les coûts sont donnés avec une marge d'erreur de +/- 35 % et ne comprennent pas la TVA.

³ Comme la construction des serrements en béton est sous-traitée, une partie des serrements peut déjà être construite pendant le remblayage. La moitié des serrements seront construits après remblayage, en conséquence la moitié du temps total de construction est incluse dans l'estimation des durées.

9 Conclusions et Recommandations

La société StocaMine a l'intention d'isoler définitivement le site de déchets contre les fluides au sein de la mine Amélie, avant inondation de celle-ci. ERCOSPLAN a évalué les options possibles et les présente dans ce rapport.

L'étude de l'environnement géologique, de même que de la situation de la mine Amélie et du site des déchets au sein de la mine a démontré qu'il était faisable d'isoler les blocs de déchets par remblayage.

Les contenus des blocs de déchets ont été analysés pour déterminer les composés les plus dangereux pouvant contaminer l'eau, respectivement la saumure et son possible impact après remblayage. On estime que l'élution des principaux polluants que sont l'arsenic, le cyanure, le chrome, la chromate et le mercure, serait de l'ordre de moins de 1% de la quantité déposée. Ces résultats s'appliquent également à d'autres matériaux déposés.

L'examen des matériaux de remblayage applicables a montré les propriétés, avantages et inconvénients de deux types de matériaux potentiels, le béton de remblayage et la pulpe de sel gemme de remblayage. La pulpe de remblayage a été rejeté à cause de ses nombreux inconvénients, comme la contamination potentielle de larges quantités de saumure et un manque de support du massif de remblai pour réduire la charge des piliers. Une étude approfondie des réactions chimiques entre les matériaux déposés et les matériaux de remblayage est conseillée, afin de développer la composition finale des matériaux de remblayage.

Plusieurs options d'accès, de technologies de remblayage et d'obturation du site des déchets ont été examinées et comparées. Cette comparaison inclut les conditions existantes comme l'espace limité pour une installation de malaxage souterraine, et l'accès limité aux blocs intérieurs.

Les différentes options pourront être ajustées de façon détaillée pour développer la composition finale des matériaux de remblayage.

Nous proposons une technologie préférable, basée sur les connaissances actuelles et sur l'étude réalisée. Le site de stockage des déchets de StocaMine devrait être remblayé préférablement par béton depuis le système de galeries adjacentes. Une installation en surface ou une installation souterraine sont toutes deux envisageables. Des serrements en béton aux emplacements indiqués dans l'annexe 3 permettront d'isoler efficacement la zone des déchets de la saumure.

Ces recommandations sont la base de l'estimation des coûts approximatifs pour quatre options allant du remblayage du bloc 15 uniquement au remblayage complet de la zone de stockage des déchets. Les coûts et les calendriers généraux ont été présentés et examinés. En conclusion de l'analyse, l'option 2 (remblayage au béton de tous les blocs et fermeture des galeries adjacentes par serrements en béton) est recommandée. Le remblayage du système de galeries se trouvant sous le pilier résiduel dans les niveaux miniers inférieurs est également conseillé, de même qu'une installation de malaxage souterraine plutôt qu'une en surface. L'option modifiée 2 coûterait environ 12 200 000 d'EUROS.

Cependant, une étude plus approfondie, ou de l'ingénierie de base, est requise pour que cette technologie soit identifiée comme non seulement préférable, mais aussi comme étant la plus viable ; une étude donnera également des détails sur l'ampleur des opérations de remblayage.

REFERENCES

- /1/ Notes of the meeting at StocaMine waste disposal site. – Wittelsheim, 05 November 2007
- /2/ Hinsken, S.; Ustaszewski, K.; Wetzel, A. (2007): Graben width controlling syn-rift sedimentation: the Palaeogene southern Upper Rhine Graben as an example. - International Journal of Earth Sciences 96, pages 979-1002, 2007.
- /3/ Dezes P.; Schmid S.M.; Ziegler P.A. (2004): Evolution of the European Cenozoic Rift System: interaction of the Alpine and Pyrenean orogens with their foreland lithosphere. - Tectonophysics 389, pages 1-33, 2004.
- /4/ Lowenstein T.K.; Spencer R.J. (1990): Syndepositional origin of potash evaporates: Petrographic and fluid inclusion evidence. – American Journal of Science 290, pages 1-42, 1990.
- /5/ BMG Engineering (2004): Stockage souterrain de Wittelsheim: evaluation des risques suite au confinement de déchets dans la mine – Risques dus aux substances chimiques. – 90 pages, 7 annexes, Zürich, 2004.
- /6/ Ecole nationale supérieure des Mines de Paris, Centre de Geotechnique et d'Exploitation du sous-sol Armines (2006): StocaMine – Actualisation de l'Etude de Stabilité du Stockage de Déchets toxiques dans la Mine d'Amélie. – 37 pages, 2 annexes, Fontainebleau, 2006.
- /7/ Conseil en Environnement, Sol AMEnagement (2006): L'Ennoyage de la mine de potasse, secteur ouest – StocaMine. – 40 pages, 2 annexes, Fraisses, 2006.
- /8/ Groupe EMC (1991): Une mine au service de l'environnement. – 16 pages, Mulhouse, 1991.
- /9/ MDPA S.A. (1995): Carreau Joseph – Stratigraphical column, 15 November 1995.
- /10/ MDPA S.A. (1997): Rock salt StocaMine – Stratigraphical column, 29 August 1997.
- /11/ MDPA S.A. (2007): Mine Plan – Waste disposal site, 10 May 2007.
- /12/ Garrett, D. (1996): Potash Deposits, Processing, Properties and Uses. – Chapman & Hall, 734 pages, London, 1996.
- /13/ Fulda, D.; Gruchot, G.; Michalzik, A. (1966): Handbuch für den Spülversatz im Kalibergbau (Compendium: Slurry backfill in potash mining). – Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 236 pages, Leipzig, 1966.
- /14/ Rauche, H.; Sitz, P. (2001): Spülversatz im Salzbergbau (Slurry backfill in salt mining). – Freiburger Forschungshefte, Bd. A 855, 162 pages, Freiberg, 2001.
- /15/ Schäffler, H.; Bruy, E.; Schelling, G. (1996): Baustoffkunde (Materials Science). – Vogel Verlag und Druck KG, 232 pages, Würzburg, 1996.
- /16/ MDPA S.A. (2006): Mine Plan – Proposed Dam Positions, 09 November 2006.

PFAD	O:\@Projekte	EGB	aktuell\EGB_07-
	042_Studie_Hohlraumverfuellung_Stocamine\03proj_AUSLIEFERUNG\2008-08-		
	26_Draft_rev002_French\07-042_FS_Stocamine_rev003_FR.doc		
REVISION	3_FR		
GEPRÜFT VON	C.Ackermann		
	H.Hopf		