

ANNEXE 4 de la DEMANDE

BILAN ECOLOGIQUE ETUDE D'IMPACT

AVERTISSEMENT

La présente étude d'impact est fournie dans le cadre du dossier de demande d'autorisation de transformation du stockage de déchets StocaMine en stockage souterrain de durée illimitée.

Ce document, soumis à enquête publique, est une pièce constitutive du dossier de demande d'autorisation (pièce n°4).

Le présent rapport a été rédigé par le bureau d'études CESAME, sur la base des études réalisées en 2011, 2012 et 2013.

En effet, fin 2009, StocaMine a demandé à l'INERIS (Institut National de l'Environnement et des Risques) de mener une expertise critique de toutes les études déjà faites sur le stockage souterrain et de comparer plusieurs scénarios de fermeture en axant la démarche sur les impacts sanitaires et environnementaux. La comparaison des scénarios a conduit l'exploitant à retenir le projet de confinement illimité des déchets.

Après ce choix, l'INERIS a mené de nouvelles études de référence sur l'impact potentiel du projet puis s'est employé à étudier les principes de mise en œuvre de cette solution pour en limiter les impacts. Des sociétés d'ingénierie spécialisées indiquent que cette solution peut effectivement être menée à terme. Le bilan écologique présenté ici s'appuie sur les études de l'INERIS et sur les études complémentaires d'ingénierie pour les aspects techniques, dont certaines sont encore en cours actuellement.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

CONCERTATION

Comme précisé dans la première pièce du dossier de demande d'autorisation (dont le présent dossier constitue une annexe), une concertation locale a été organisée préalablement au dépôt du dossier administratif. Celle-ci avait pour sujet les différents scénarios de fermeture et leurs enjeux.

StocaMine a ainsi mis en œuvre, depuis 2010, les moyens suivants :

- diffusion d'une lettre d'information,
- organisation de réunions publiques,
- création d'un site internet mis à jour régulièrement et sur lequel les présentations faites au COPIL (Comité de Pilotage mis en place par le préfet et constitué d'experts nommés par les membres de la CLIS) ont été fournies ; ces dernières permettaient notamment de suivre les différents résultats des études menées par l'INERIS.

L'état, actionnaire majoritaire indirect de StocaMine via sa filiale MDPA, souhaite que la concertation soit prolongée et a demandé pour ce faire à la Commission Nationale du Débat Public (CNDP) de désigner un garant et au liquidateur des MDPA, comme le prévoit l'article 121-16 du code de l'environnement, d'organiser une nouvelle concertation locale, entre le dépôt du dossier et l'ouverture de l'enquête publique sous l'égide de ce garant. Ce garant sera nommé par la CNDP ; il sera chargé de veiller à ce que le public puisse présenter ses observations et contre-propositions et participera à l'organisation de la concertation.

Cette concertation sera organisée à partir du 15 octobre 2013 et permettra au public de s'exprimer par la voie d'un site internet et de réunions publiques et de tout moyen suivant les procédures définies par le garant. Un document de synthèse du dossier sera diffusé au plus grand nombre, aux collectivités territoriales et aux associations qui en feront la demande. **Ce programme de concertation sera affiné dès que le garant aura été désigné par la CNDP, ce qui implique le dépôt préalable du présent dossier.**

Préambule

Le bilan écologique, objet du présent rapport, correspond à l'annexe 4 du dossier de demande de stockage illimité constitué par StocaMine conformément au décret 2006-283 relatif à la prolongation pour une durée illimitée de l'autorisation de stockage souterrain de produits dangereux dont l'exploitation a cessé depuis au moins un an.

Dans ce décret (article 2 alinéa II.4), il est précisé que la rédaction du bilan écologique fait appel à deux aspects réglementaires sur les études d'impact :

- celui relatif aux ICPE, catégorie à laquelle appartient le stockage de StocaMine,
- la « Loi nature » du décret du 12 octobre 1977 (abrogé le 23 mars 2007).

Le contenu du présent document a été élaboré sur la base du décret n°2011-2019 du 29 décembre 2011 portant réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements.

Le bilan écologique comprend en outre, conformément au décret n°2006-283, une analyse comparative des données du stockage et des mesures envisagées par rapport à l'étude d'impact réalisée en vue de la délivrance de l'autorisation initiale. Cette partie est intégrée dans le chapitre 6.

Cette étude d'impact comporte ainsi :

Chapitre 1 : La présentation du projet

Chapitre 2 : La description de l'environnement du projet (état initial)

Chapitre 3 : L'analyse des effets du projet

Chapitre 4 : L'analyse des effets cumulés avec d'autres projets

Chapitre 5 : Les raisons pour lesquelles le projet a été retenu, après comparaison des autres solutions envisageables

Chapitre 6 : Les mesures envisagées pour supprimer, réduire, compenser les conséquences du projet

incluant une analyse comparative des données du stockage et des mesures envisagées par rapport à l'étude d'impact réalisée en vue de la délivrance de l'autorisation initiale

Chapitre 7 : La compatibilité du projet avec l'affectation des sols

Chapitre 8 : Les méthodes utilisées pour évaluer les effets du projet et difficultés associées

Un résumé non technique est présenté en fin de rapport (chapitre 9).

Les impacts présentés correspondent bien à l'ensemble du projet, ce dernier n'étant pas découpé en plusieurs phases (alinéa II 11° du décret n°2011-2019 sans objet) .

SOMMAIRE

1. Présentation du projet	13		
1.1. Le stockage souterrain actuel.....	14		
1.2. Le confinement du site	16		
1.3. Mesures complémentaires.....	18		
1.4. Le remblayage des puits	18		
2. Etat initial de l'environnement	19		
2.1. Milieu physique	19		
2.1.1. Climat	19		
2.1.2. Contexte géologique	20		
2.1.3. Contexte hydrogéologique.....	27		
2.1.4. Nappe alluviale et réseau hydrographique	33		
2.1.5. L'air	48		
2.1.6. Les sols	52		
2.2. Milieu biologique	54		
2.2.1. Réseau Natura 2000 (directive habitat et directive oiseaux)	54		
2.2.2. Autres espaces naturels répertoriés.....	56		
2.2.3. Site de StocaMine et abords – Habitats naturels	57		
2.3. Environnement humain.....	60		
2.3.1. Environnement socio-économique.....	60		
2.3.2. Desserte – Trafic.....	64		
2.3.3. État de référence sonore.....	65		
2.3.4. Risques dans l'environnement du stockage	68		
2.3.5. Monuments, sites et paysage	70		
2.4. Environnement minier	71		
2.4.1. Présentation de l'exploitation minière.....	71		
2.4.2. Evolution prévisible du milieu minier	73		
2.4.3. Incidence de l'évolution du milieu minier sur le projet – Prise en compte dans le projet.....	82		
3. Les effets du projet sur l'environnement	86		
3.1. « Terme source » : concentrations mobilisables	86		
3.1.1. Contaminants mobilisables.....	86		
3.1.2. Passage en solution dans la saumure.....	87		
3.1.3. Emissions gazeuses	88		
3.2. Effets sur la nappe alluviale	89		
3.2.1. Etapes de modélisation du transfert de polluants issus du stockage	90		
3.2.2. Choix des critères de comparaison pour évaluer l'impact du stockage sur la nappe d'Alsace	96		
3.2.3. Concentrations calculées en nappe d'Alsace et évaluation de l'impact sur la ressource en eau	100		
3.2.4. Illustration des panaches de pollution liés au scénario de référence	107		
3.2.5. Conclusion – Compatibilité avec le SDAGE.....	109		
3.3. Effets sur l'air	111		
3.3.1. Données utilisées.....	111		
3.3.2. Modélisation du transfert de polluants gazeux	117		
3.3.3. Evaluation de l'impact sur le milieu air extérieur	121		
3.4. Santé publique	126		
3.4.1. Schéma conceptuel.....	126		
3.4.2. Évaluation quantitative des risques sanitaires.....	127		
3.4.3. Conclusion de l'évaluation des risques sanitaires.....	130		
3.5. Effets sur le sous-sol	131		
3.5.1. Stabilité des terrains	131		
3.5.2. Ressources du sous-sol.....	132		
3.6. Effets sur les sols.....	132		
3.7. Effets sur le milieu naturel.....	133		
3.7.1. Incidence Natura 2000.....	133		
3.7.2. Impacts sur le milieu naturel proche.....	133		
3.8. Effets sur l'environnement humain.....	135		
3.8.1. Environnement socio-économique.....	135		
3.8.2. Desserte – trafic.....	136		
3.8.3. Bruit.....	136		
3.8.4. Risques	137		
3.8.5. Patrimoine et paysage.....	137		
4. Effets cumulés avec d'autres projets	138		
4.1. Effets du projet en souterrain – autres projets connus.....	138		
4.2. Effets du projet en surface – autres projets connus	138		
4.3. Phase travaux, effets du projet – autres projets connus.....	139		
5. Raisons pour lesquelles le projet a été retenu	140		
5.1. Approche retenue pour comparer les solutions	141		
5.2. Les 8 scénarios étudiés.....	141		
5.3. Éléments pris en compte pour la comparaison.....	142		
5.4. Résultats	143		
5.5. Comparaison complémentaire de déstockage.....	144		
6. Mesures envisagées pour supprimer, limiter, et si possible compenser les inconvénients du projet – Mesures de surveillance	146		
6.1. Maîtrise des risques.....	146		
6.1.1. Mesure préalable : sortie partielle des déchets contenant du mercure.....	146		
6.1.2. Mesures de confinement pour la fermeture du stockage	147		
6.2. Dispositions relatives au suivi et moyens d'intervention.....	155		
6.2.1. Suivi de l'ennoyage.....	155		
6.2.2. Suivi après travaux.....	156		
6.2.3. Moyens d'intervention	156		
6.3. Servitudes et restrictions d'usage.....	157		

6.4. Analyse comparative des données du projet et des mesures envisagées par rapport à l'étude d'impact réalisée au moment de la délivrance de l'autorisation initiale158

6.5. Estimation des coûts associés159

7. Compatibilité du projet avec l'affectation des sols..... 160

7.1. Propriété foncière – Situation juridique160

7.2. Plan Local d'Urbanisme (P.L.U.)160

7.3. Servitudes d'utilité publique.....160

7.4. Compatibilité du projet161

8. Méthodes utilisées et difficultés..... 164

8.1. Méthodes utilisées pour établir l'état initial164

8.2. Méthodes utilisées pour évaluer les effets du projet sur l'environnement.....166

 8.2.1. Etude de comparaison des différents scénarios de devenir des déchets.....167

 8.2.2. Etude hydrogéologique de l'ennoyage des MDPA et son interaction avec le stockage souterrain.....169

 8.2.3. Etude géomécanique du stockage de StocaMine172

 8.2.4. Etude du terme source.....176

 8.2.5. Etude d'impact sur la nappe et moyens de maîtrise des risques.....178

8.3. Conclusion non technique.....181

9. Résumé non technique..... 182

Données complémentaires (habitats naturels autour de StocaMine).

LEXIQUE, ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

ADMS	Atmospheric Dispersion Modelling System	BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
AEA	Alimentation en Eau Agricole	bure	Voie verticale, souvent armée comme un puits, qui ne débouche pas au jour.
AEI	Alimentation en Eau Industrielle	CAP	Certificat d'Acceptation Préalable
AEP	Alimentation en eau potable.	carreau de mine	Espace où sont regroupés les bâtiments de gestion, d'entretien, de stockage, des matériels et produits d'extraction.
aérage	Ventilation des travaux souterrains – action de faire circuler l'air dans les galeries et chantiers.	CERC	Cambridge Environmental Research Consultants
affaissement	Descente des terrains de surface au-dessus d'une exploitation minière.	CMA	Concentration Maximale Admissible
AFSSA	Agence française de sécurité sanitaire des aliments	COPIL	Comité de Pilotage
AFSSET	Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail	cuvelage	Soutènement métallique étanchant le puits dans la partie où il traverse les terrains aquifères.
anhydrite :	Sulfate hydride de calcium (forme sans H ₂ O du gypse), roche dure généralement associé au sel gemme (elle cristallise en même temps que le gypse en présence de sel NaCl).	DCE	Directive Cadre sur l'Eau
ANSES	Agence Nationale de Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail	DJE	Dose journalière d'exposition
aquifère	Terrain poreux ou fissuré, perméable, susceptible d'autoriser l'existence d'une nappe d'eau souterraine ; par extension, parfois employé pour désigner la nappe souterraine.	DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
ARS	Agence Régionale de Santé	EFSA	European Food Safety Authority
ASPA	Association pour la Surveillance et l'étude de la Pollution atmosphérique en Alsace	ERI	Excès de risque individuel
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry	ERU	Excès de risque unitaire
BMD	Benchmark dose	ETM	Eléments Traces Métalliques
BMDL10	Benchmarkdose à la limite de 10 %	évaporites	Terme général désignant les dépôts riches en chlorures et sulfates alcalins. La précipitation de ces sels se produit par évaporation intense, dans des lagunes, bras de mer ou lacs salés. Par ordre de cristallisation, cela aboutit aux principaux minéraux suivants : gypse, anhydrite, sel gemme (ou halite), carnallite, chlorure de potassium (ou sylvite).
BTEX	Benzène-Toluène-Ethylbenzène-Xylènes	exhaure	Action d'évacuer les eaux d'infiltration d'une mine, en général par pompage

fluage	Déformation continue dans le temps, d'un matériau soumis à une contrainte constante et une température donnée.
foudroyage	Eboulement provoqué volontairement à l'arrière d'un front de taille, ou dans un chantier dont l'exploitation est achevée. Il permet de stabiliser les terrains en comblant les vides
grisou	Mélange gazeux inflammable composé surtout de méthane, qui se dégage parfois dans les mines (principalement de charbon).
IEM	Interprétation de l'état des milieux
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des RISques
JEFCA	The joint FAO/WHO expert Committee on Food Additives
LD	Limite de Détection
LOAEC	Lowest Observed Adverse Effect Concentration (concentration minimale entraînant un effet néfaste observé)
LOAEL	Lowest Observed Adverse Effect Level (dose minimale entraînant un effet néfaste observé)
LOEC	Lowest Observed Effect Concentration (concentration minimale Entraînant un effet observé)
LOEL	Lowest Observed Effect Level (dose minimale entraînant un effet observé)
LQ	Limite de Quantification
MA	Moyenne Annuelle
MDPA	Mines de Potasse d'Alsace
MEDD	Ministère de l'écologie et du développement durable
MEEDDAT	Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire
MMR	Mesure de Maîtrise des Risques
mur	En terme minier, le mur désigne le sol d'une infrastructure souterraine (chambre, galerie, ...) mais également la surface inférieure d'une formation géologique.

NOAEC	No Observed Adverse Effect Concentration (concentration maximale sans effet néfaste observé)
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level (dose maximale sans effet néfaste observé)
NQE	Norme de Qualité Environnementale
NSF	The Public Health And Safety Company (Société internationale)
NTP	National Toxicological Program
OEHA	Office of Environmental Health Hazard Assessment
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PBPK	Physiologie basé sur la pharmacocinétique
pilier	Volume de minerai non abattu participant au soutènement du chantier.
QD	Quotient de danger
recette	Lieu où se trouvent les dispositifs assurant la manutention des produits et du matériel aux abords du puits.
RfD	Reference dose (dose de référence)
RIVM	RijksInstituut voor Volksgezondheid & Milieu (National Institute of Public Health and the Environment, Pays-Bas)
SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
saumure	Eau à forte concentration en sel
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
serrement	Ouvrage permettant d'obturer une galerie.
soutènement	Dispositif de soutien des parois.
stot:	Volume de minerai laissé en place pour protéger une voie ou une installation du fond ou de la surface.
TDI	Tolerable Daily Intake
toit	En terme minier, le toit désigne le plafond d'une infrastructure souterraine (chambre, galerie, ...) mais également les terrains situés au-dessus d'un gisement, d'une formation ou d'une couche géologique.

US EPA	Environmental Protection Agency of United States
voie	Nom général désignant tout ouvrage de communication souterraine.
VTR	Valeur Toxicologique de Référence

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de StocaMine.....	13	Figure 25 : Localisation des mesures « air » en surface	50
Figure 2 : Zone de stockage en souterrain (source : StocaMine).....	14	Figure 26 : Localisation du point de suivi sol intérieur site pendant l'activité de Stocamine.....	52
Figure 3 : Plan d'un bloc de stockage.....	14	Figure 27 : Espaces naturels répertoriés	55
Figure 4 : Plan de des galeries de stockage de StocaMine (source : StocaMine).....	15	Figure 28 : Emprise de la réserve naturelle régionale du Rothmoos.	56
Figure 5 : Projet de confinement du stockage (d'après études en cours, Ercosplan, Ineris, ...).	16	Figure 29 : Occupation du sol – Milieu naturel	59
Figure 6 : Barrières de confinement des galeries de stockage (d'après étude INERIS)	17	Figure 30 : Zone d'activité Joseph Else Heiden (Parc Secoia).....	61
Figure 7 : Coupe générale nord-sud des terrains dans la région de Mulhouse [4]	20	Figure 31 : Occupation du sol, environnement urbain	63
Figure 8 : Coupe stratigraphique synthétique des terrains du bassin potassique [4].....	20	Figure 32 : Trafic des axes principaux les plus proches (source : Direction des Routes 68)	64
Figure 9 : Log géologique schématique des terrains salifères de l'Oligocène ≈ SANNOSIEN [4]	21	Figure 33 : Accès au site par le sud (sans traversée d'agglomération)	64
Figure 10 : Carte géomorphologique de la plaine du Rhin [42]	22	Figure 34 : Localisation des points de mesure bruit [14]	66
Figure 11 : Coupe des alluvions de la nappe d'Alsace [62].....	23	Figure 35 : Localisation du stockage dans l'environnement minier	71
Figure 12 : Contexte géologique, mines de potasse d'alsace	24	Figure 36 : Les travaux miniers du secteur ouest des MDPa.....	72
Figure 13 : Schéma tectonique de la partie sud du fossé rhénan	25	Figure 37 : Schéma de principe de l'ennoyage des MDPa	74
Figure 14 : Log hydrogéologique du bassin minier.	27	Figure 38 : Illustration du phénomène de fluage sur une galerie	75
Figure 15 : Schéma synthétique de l'hydrogéologie de la zone salifère supérieure à l'aplomb du site de stockage [4].....	28	Figure 39 : Schématisation du comportement de l'interface eau/saumure en fin d'ennoyage.	78
Figure 16 : Carte piézométrique de référence de juin 2002 [MDPA]	30	Figure 40 : Niveau de remontée de la saumure dans le secteur ouest.....	78
Figure 17 : Caractéristiques des différentes couches d'alluvions de la nappe	31	Figure 41 : Extrait de la coupe ouest-est du bassin potassique au droit du site de stockage [28]	80
Figure 18 : Extrait de la carte piézométrique du bassin potassique (piézométrie en m NGF).....	32	Figure 42 : Représentation schématique des phénomènes de convergence des parois et compaction des déchets du fait du fluage du sel.....	82
Figure 19 : Usages de l'eau dans la nappe d'Alsace autour du site.....	39	Figure 43 : Evolution du système, scénario avec barrières de confinement du stockage (d'après INERIS [68])	84
Figure 20 : Carte de la salure de la nappe en 2005 [42]	40	Figure 44 : Chronogramme du scénario de référence utilisé par l'INERIS	85
Figure 21 : Localisation des piézomètres existants sur le site de StocaMine	42	Figure 45 : Schéma de principe du modèle de compaction utilisé.....	90
Figure 22 : Contexte hydrologique, masses d'eau superficielles.....	45	Figure 46 : Débit d'épanchement de saumure (mine) pour les 5 puits autour de StocaMine	93
Figure 23 : Localisation des points de prélèvements	46	Figure 47 : Carte illustrant la discrétisation horizontale du modèle régional (maillage gigogne sur le bassin potassique) [62].....	94
Figure 24 : Février 2010, positionnement des points de mesure « air souterrain » M1 et M2 [52].....	49		

Figure 48 : Coupe ouest/est illustrant la discrétisation verticale du modèle régional (3 couches d'alluvions) [62]	94
Figure 49 : Illustration des concentrations moyennes calculées après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans)..	100
Figure 50 : Position des puits "de la mine Amélie" (Joseph, Else, Amélie 1 et 2, Max).	102
Figure 51 : Concentrations calculées en Hg (critères : 0,2 et 1 µg/L) et Cr (critères : 7 et 50 µg/L) après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans, incertitude ± 50 %).....	102
Figure 52 : Concentrations calculées en Hg (critères : 0,2 et 1 µg/L) et Cr (critères : 7 et 50 µg/L) après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 2 puits Joseph et Else (sortie dans 1000 ans, incertitude ± 50 %).....	103
Figure 53 : Chronique des concentrations calculées pour le mercure sur le puits Amélie 1 (pour un épanchement par 5 puits dans 500 ans, incertitude ± 50 %, échelle semi-log, origine du temps prise à 500 ans)	104
Figure 54 : Chronique des concentrations calculées pour le mercure sur le puits Amélie 1 (pour un épanchement par 5 puits dans 1000 ans, incertitude ± 50%, échelle semi-log, origine du temps prise à 1000 ans).....	104
Figure 55 : Modélisation de la dispersion du mercure dans la nappe depuis les puits de mine.....	107
Figure 56 : Evolution des concentrations en Hg à 1000 ans de simulation le long d'un profil ouest / nord-est.....	108
Figure 57 : Evolution des concentrations en Cl- à 300 ans de simulation le long d'un profil ouest/nord-est.....	108
Figure 58 : Positionnement des points de mesure M1 et M2	111
Figure 59 : Représentation schématique des modèles appliqués	120
Figure 60 : Schéma conceptuel (étude sanitaire), INERIS complété.....	126
Figure 61 : Représentation schématique surexcavation des galeries pour la mise en place des barrières	131
Figure 62 : Marais de Rothmoos et site StocaMine	134
Figure 63 : Schéma conceptuel du déstockage pris en compte dans la comparaison des solutions [68].	140
Figure 64 : Option de réversibilité, sites où re-stocker les déchets.	142
Figure 65 : Projet de confinement du site de stockage (source : Ercosplan, étude en cours).....	148
Figure 66 : Schéma de principe des barrières de confinement (cf. prescriptions INERIS).	149
Figure 67 : Exemple de barrière de confinement (études d'avant-projet Ercosplan, [77]).	149

Figure 68 : Galerie favorisant un court-circuit hydraulique (source : StocaMine).....	152
Figure 69 : Schéma de principe, fermeture des puits Joseph et Else.....	154
Figure 70 : Forage de surveillance de l'ennoyage (source : MDPa).....	155
Figure 71 : Implantation prévue du forage de surveillance de l'ennoyage (source : MDPa).	156
Figure 72 : Planning prévisionnel (données : StocaMine, mai 2013).....	159
Figure 74 : Distinction propriété StocaMine / MDPa (les puits), section 35 feuille 2 commune de Wittelsheim (68).....	160
Figure 75 : Extrait du P.L.U.....	162
Figure 76 : Servitudes inscrites au P.L.U.....	163

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Températures moyennes et précipitations, poste météorologique de Mulhouse	19	Tableau 25 : Critères de qualité d'origine réglementaire (eau).....	98
Tableau 2 : Principales caractéristiques des aquifères de la série Secondaire [4]	28	Tableau 26 : Critères de qualité retenus considérant les données sur l'environnement local témoin (état initial puis suivi de 1998 – 2010) et les critères de qualité d'origine réglementaire.....	99
Tableau 3 : Éléments fondamentaux de la Directive Cadre sur l'Eau.....	34	Tableau 27 : Valeurs de concentrations moyennes calculées après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans). 101	
Tableau 4 : Les orientations fondamentales du SDAGE Rhin-Meuse	35	Tableau 28 : Concentrations maximales calculées dans le modèle (pour un épanchement dans 1000 ans et en considérant 5 puits d'épanchement).....	102
Tableau 5 : Masses d'eau du SDAGE	36	Tableau 29 : Comparaison des concentrations moyennes calculées en Hg dans le stockage, à la sortie des barrières et dans la partie inférieure de la nappe dans le cas d'un épanchement par 5 puits 103	
Tableau 6 : SAGEs locaux	37	Tableau 30 : Comparaison des concentrations moyennes calculées en Hg dans le stockage, à la sortie des barrières et dans la partie inférieure de la nappe dans le cas d'un épanchement par 2 puits 105	
Tableau 7 : Données SIERM sur la nappe alluviale.....	41	Tableau 31 : Concentrations maximales (mg/m ³) mesurées en acceptation de déchet en espace de tête de fût ([8]).....	111
Tableau 8 : Qualité de la nappe phréatique à l'aplomb du site, analyses de novembre 1998 et suivi postérieur	43	Tableau 32 : Résultats des analyses qualitatives des prélèvements d'air de la mine réalisés par l'INERIS en février 2010 aux points M1 et M2	112
Tableau 9 : Synthèse des masses d'eau superficielles (source : SIERM).....	46	Tableau 33 : Concentrations « estimées » (µg/m ³) issues des analyses qualitatives des prélèvements d'air de la mine réalisés par l'INERIS en février 2010 aux points M1 et M2	112
Tableau 10 : Résultat des analyses eau et sédiments de l'état initial 1998.....	47	Tableau 34 : Concentrations dans les prélèvements d'air de la mine réalisés par l'INERIS en février 2010 aux points M1 et M2	112
Tableau 11 : Suivi air.....	50	Tableau 35 : Concentration (mg/m ³) calculées en mercure élémentaire et acide cyanhydrique dans le stockage sous forme gazeuse suite à l'ennoyage de StocaMine en présence de barrières	113
Tableau 12 : Sols à l'extérieur du site.....	52	Tableau 36 : Valeurs réglementaires dans l'air ambiant extérieur (cf. annexe 1 de l'étude [71]).	115
Tableau 13 : Suivi sols, à l'intérieur du site.....	53	Tableau 37 : Les 3 étapes (ou scénarios) étudiées pour les émissions gazeuses : concentrations dans StocaMine, étude [71].....	118
Tableau 14 : Site Natura 2000 le plus proche (habitats)	54	Tableau 38 : Paramètres pour l'étape avec aérage	119
Tableau 15 : Site Natura 2000 le plus proche (espèces)	54	Tableau 39 : Paramètres du modèle de type « boîte » pour les scénarios 2 et 3	120
Tableau 16 : Habitats naturels proches des installations de surface de StocaMine	57	Tableau 40 : Concentrations (mg/m ³) modélisées dans l'air extérieur au droit des zones de promenade à proximité du site de StocaMine (puits Else) et en limite des zones de servitudes des anciens puits [56]	121
Tableau 17 : Effectif de StocaMine du 01/10/1997 au 31/07/2011.....	62	Tableau 41 a et b : Concentrations dans l'air extérieur associées aux trois scénarios étudiés et critères de comparaison.....	123
Tableau 18 : Résultat des mesures bruit [20]	66		
Tableau 19 : Résumé des vitesses moyennes de convergences retenues (INERIS).....	75		
Tableau 20 : Durée d'ennoyage approchée des vides miniers pour le scénario de référence.....	76		
Tableau 21 : Masses des principaux contaminants contenus dans le stockage [56].....	87		
Tableau 22 : Concentration de la saumure au contact des déchets.....	88		
Tableau 23 : Répartition des débits d'épanchement de saumure (mine) pour les 5 puits autour de StocaMine (en m ³ /an) [62].....	93		
Tableau 24 : Concentrations de l'environnement local témoin, mesures concernant la partie supérieure de la nappe (état initial puis suivi de 1998 à 2012)	97		

Tableau 42 : Tableau simplifié, concentrations modélisées dans l'air et critère de comparaison (étape 1)
.....124

Tableau 43 : Tableau simplifié, concentrations modélisées dans l'air et critères de comparaison (étapes
2 et 3).....125

Tableau 44 : Bilan du schéma conceptuel127

Tableau 45 : Synthèse des VTR sélectionnées dans le cadre de l'étude pour la voie inhalation.....127

Tableau 46 : Paramètres d'exposition d'une personne128

Tableau 47 : Synthèses des risques (quotient de danger) pour les substances avec des effets à seuil
liés à l'inhalation d'air extérieur.....129

Tableau 48 : Synthèses des risques (excès de risques individuel) pour les substances avec des effets
sans seuil liés à l'inhalation d'air extérieur129

Tableau 49 : Comparaison financière de 4 scénarios de fermeture (source : MDPA / StocaMine)145

Tableau 50 : Comparaison projet initial, projet actuel158

Tableau 51 : Durée d'ennoyage approchée des vides miniers selon les scénarios retenus dans le
secteur ouest.....171

1. PRESENTATION DU PROJET

Le stockage souterrain de StocaMine est un site de stockage de déchets ultimes existant depuis 1997 (date d'autorisation), situé sur la commune de Wittelsheim (figure 1).

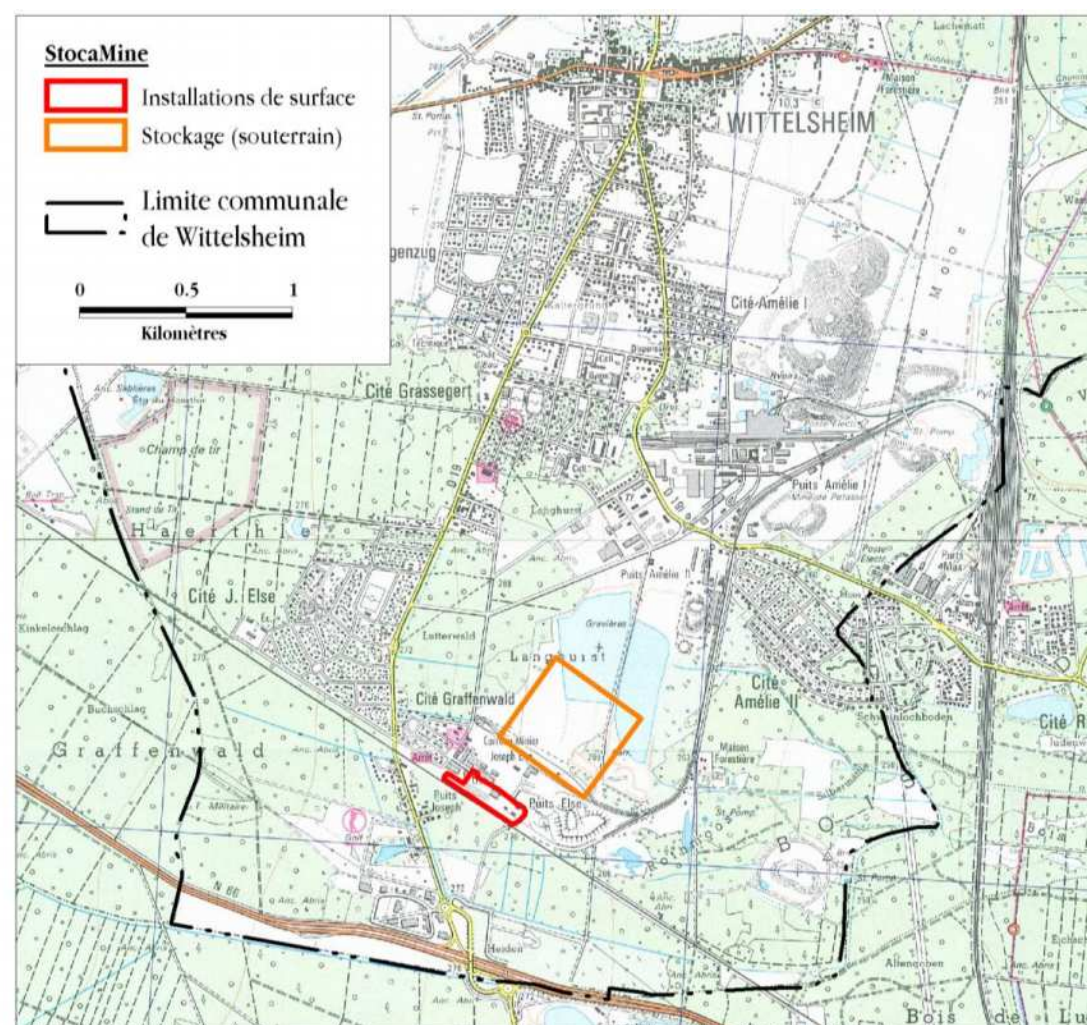


Figure 1 : Localisation de StocaMine.

Il comprend des installations de surface (bureaux, bâtiments de stockage temporaire des déchets, ...) et, en souterrain, des galeries de stockage.

Les galeries de stockage des déchets ont été creusées en utilisant les infrastructures existantes de la Mine de Potasse d'Alsace, mais sont distinctes de l'ancienne mine. Il s'agit en effet de galeries spécifiquement dédiées au stockage de déchets. Elles sont situées dans un niveau inférieur à la mine de potasse, à 550 mètres de profondeur environ.

Dès sa création, le site de stockage pouvait évoluer vers deux options :

- soit un stockage illimité des déchets,
- soit un stockage temporaire (par exemple en cas de valorisation possible des déchets, ces derniers pouvaient être remontés au jour),

L'autorisation de stockage avait été accordée pour 320 000 tonnes de déchets ultimes. Entre 1999 et 2002, seules 44 000 tonnes de déchets ont été entreposées dans les galeries de stockage.

Le 10 Septembre 2002, un incendie s'est produit dans le bloc 15 du stockage, engendrant la suspension de l'exploitation du site. En septembre 2003, les administrateurs de StocaMine ont décidé à l'unanimité de ne pas stocker de déchets supplémentaires.

Les deux options de fermeture du site ont alors été comparées. L'INERIS a notamment étudié plusieurs variantes en comparant les risques associés pour l'environnement et la santé. Au vu des résultats de ces études, l'option retenue par l'exploitant est celle de la transformation du site en stockage illimité.

Le projet actuel consiste en la transformation du stockage de StocaMine en site de stockage à durée illimitée.

Le projet prévoit ainsi de fermer toutes les galeries entourant les cellules de stockage (on parle ici de blocs) par de long bouchons de très faible perméabilité obstruant les galeries d'accès. Cette principale mesure de confinement du stockage sera accompagnée de travaux complémentaires assurant des sécurités supplémentaires (remblayage des galeries et blocs vides, galerie exutoire, ...).

Les puits de mine, qui relient la surface à ce site profond seront également entièrement remblayés (d'un point de vue réglementaire, ils sont propriété des Mines de Potasse d'Alsace, StocaMine participera financièrement et donnera des prescriptions techniques prenant en compte la proximité du stockage).

Les déchets seront ainsi enfermés à 550 mètres de profondeur dans le massif de sel du fossé rhénan.

Pour mener à bien ce projet, de nombreuses études sont en cours pour fixer précisément les techniques à mettre en œuvre et matériaux à utiliser afin de les adapter concrètement aux caractéristiques des galeries et des terrains en place.

Les paragraphes ci-après présentent les caractéristiques du stockage souterrain en situation actuelle puis le positionnement et les caractéristiques des bouchons de fermeture ainsi que le remblayage prévu des puits de mine.

L'étude d'impact présentera ensuite en détail l'environnement dans lequel s'inscrit le projet, les impacts potentiels et les mesures qui seront prises en complément du rebouchage du site pour maîtriser les risques associés.

1.1. Le stockage souterrain actuel

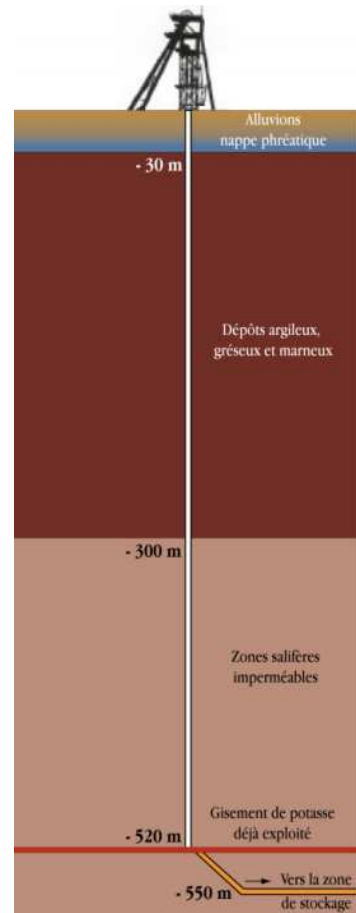


Figure 2 : Zone de stockage en souterrain (source : StocaMine)

Une description détaillée de l'organisation du stockage en souterrain est fournie dans la pièce n°1 du dossier (« La Demande »). Ne sont repris ci-après que les éléments permettant de comprendre le principe de confinement proposé.

Sous la surface, à environ 550 mètres de profondeur, des galeries ont été aménagées pour stocker les déchets.

Pour atteindre les déchets il faut traverser les formations géologiques superficielles sièges de la nappe alluviale d'Alsace (environ 30 mètres), puis des argiles, grès et marnes (environ 300 mètres) avant d'atteindre les formations salifères.

C'est ensuite sous les couches de potasse que les galeries de stockage ont été creusées (soit 220 m supplémentaires de terrains). Les seuls accès aux galeries de stockage sont les deux puits encore ouverts des Mines de Potasse d'Alsace : les puits Joseph et Else.

La figure page suivante présente le plan du stockage en souterrain.

Chaque bloc est constitué de deux ou trois galeries parallèles de 225 m de long (appelées allées) redécoupées orthogonalement par huit galeries de 70 mètres de long (appelées recoupes). Les allées et les recoupes délimitent des piliers carrés de sels gemme de 20 mètres de côtés.

A l'arrêt du stockage en 2002, et actuellement :

- 10 blocs sont totalement ou partiellement aménagés, parmi eux :
 - o 8 blocs sont actuellement remplis (blocs 11 à 14 et 21 à 24),
 - o le bloc 15 est partiellement plein,
 - o le bloc 25 est vide,
- 2 ne sont pas achevés (blocs 16 et 26) : ces blocs n'ont pas été livrés par les MDPA à StocaMine.

Les déchets entreposés sont sous forme de big-bags (cf. photo ci-dessous) ou de fûts.



Exemple de bloc rempli (cas de déchets en big-bags).

Le stockage est organisé en galeries perpendiculaires les unes aux autres, avec le découpage suivant :

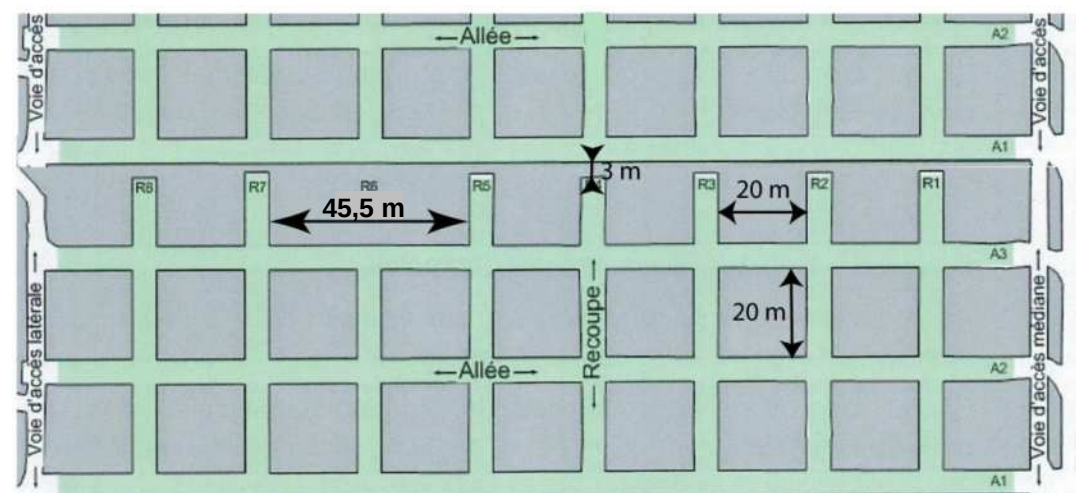


Figure 3 : Plan d'un bloc de stockage (en gris le massif de sel, en vert les galeries de stockage) (source étude BMG, [30]).

Dans la légende du plan ci-contre, il est fait référence aux couches de potasse (couche supérieure et couche inférieure encore appelée couche de la série 1, pour simplifier ici S1).

Les galeries de mine ont été creusées soit :

- dans la couche supérieure (bleu) ou dans la couche inférieure (rouge), il n'y en a pas dans le secteur étudié,
- à la base (« Mur ») de la couche supérieure (elles sont représentées en marron),
- au mur de la couche inférieure (en vert),
- à plusieurs mètres sous S1 (orange, violet et rose).

Les couches ayant une légère inclinaison, les galeries qui les suivent ne sont donc pas tout à fait horizontales.

Les blocs de stockage ont été réalisés sous la couche inférieure (23 m en-dessous, représentés en violet et à 25 m en-dessous représentés en rose).

Les blocs 16, 25 et 26 sont vides.



Figure 4 : Plan de des galeries de stockage de StocaMine (source : StocaMine)

1.2. Le confinement du site

Dans le dossier initial de demande d'autorisation d'exploiter, l'option de maintenir les déchets en souterrain était prévue avec fermeture des accès du site par de simples bouchons à rôle mécanique.

Les techniques, tant d'étude que de réalisation se sont améliorées depuis l'ouverture du stockage. De plus, l'expérience d'autres sites de confinement est venue éclairer le sujet et des analyses plus approfondies ont complété et amélioré la connaissance du site.

Ces études ont ainsi montré qu'il n'était pas exclu que des débits d'eau très faibles, provenant de la nappe, puissent passer par les anciens puits de la mine¹ de potasse et atteindre les vieux travaux miniers souterrains. Si elle se prolonge pendant des centaines d'années, l'accumulation progressive de ces infiltrations d'eau pourrait aboutir à un ennoyage progressif des anciens travaux jusqu'à atteindre les galeries du stockage.

Ainsi, même si les galeries de stockage sont aujourd'hui totalement sèches, le projet de fermeture du site ne doit pas exclure la possibilité que de l'eau atteigne ces galeries à long terme (plusieurs siècles) puis migre vers la surface par l'intermédiaire des puits de mine sous l'effet de la fermeture des vides miniers, entraînant une pollution de la nappe aquifère de la plaine d'Alsace.

Les études menées sur la base de ce scénario conduisent à la nécessité de confiner les galeries de stockage. Des barrages seront donc mis en place, en souterrain, sur toutes les galeries d'accès² au site de stockage (cf. figure 5).

Le but de ces ouvrages sera de retarder le passage potentiel de saumure de la mine vers les déchets puis en sens inverse pour qu'il n'y ait pas de risque de pollution de la nappe d'Alsace même en cas de remontée de saumure jusqu'à celle-ci.

L'étude INERIS concernant l'impact du projet sur la ressource en eau [69] a montré que des ouvrages qui permettent de retarder d'environ 1000 ans le passage de la saumure pourront garantir, même avec les hypothèses les plus pessimistes, une pollution minime de la nappe.

En effet à cette échéance, la convergence naturelle des parois des galeries³ du stockage aura conduit à un vide résiduel très réduit autour des déchets et se poursuivra avec une vitesse de convergence minime. Or c'est le processus de convergence qui pourrait constituer à terme un moteur pour qu'une saumure polluée située à 550 m de profondeur remonte jusqu'à la nappe d'Alsace⁴.

¹ : Et plus précisément par le pourtour (extrados) des puits.

² : Les galeries d'accès sont soit des galeries simples, soit des galeries doubles. Leur section est d'environ 11 m².

³ : Toute cavité creusée dans le sel se referme progressivement (caractéristique particulière du sel = fluage).

⁴ : Ces phénomènes seront décrits dans la suite de l'étude d'impact. La fermeture des galeries pourraient en effet « pousser » la saumure contenue dans les galeries qui remonterait alors progressivement par les puits.

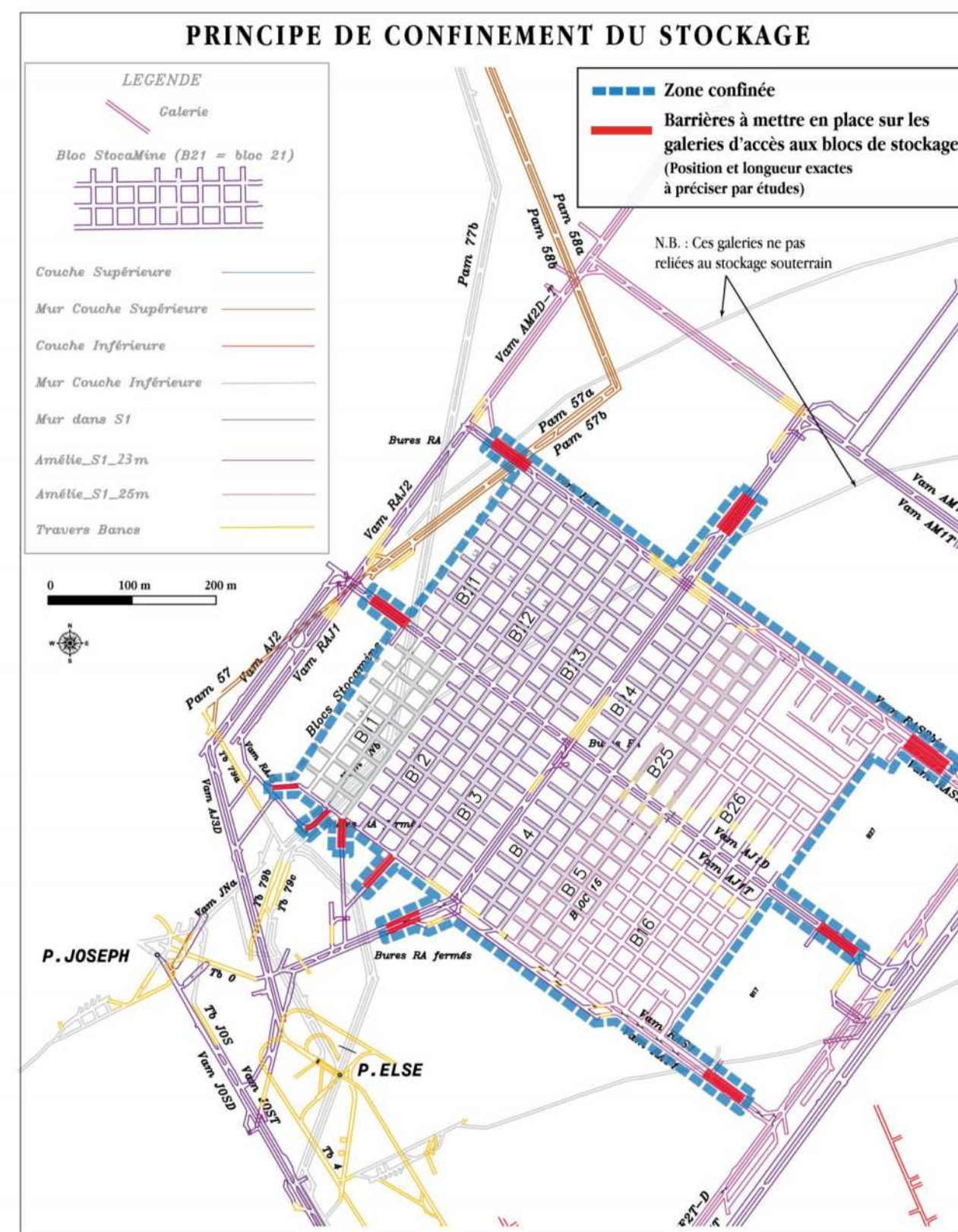


Figure 5 : Projet de confinement du stockage (d'après études en cours, Ercosplan, Ineris, ...).

Les barrages seront dimensionnés pour que, si un épanchement de saumure polluée arrive à remonter jusqu'à la nappe d'Alsace, les débits associés conduisent à une concentration des substances dans l'aquifère bien inférieures aux seuils réglementaires, c'est-à dire demeure à un niveau comparable au bruit de fond actuel.

Le principe retenu (suite aux études INERIS notamment) est représenté schématiquement ci-après (et consiste à prévoir :

- si nécessaire, un surcreusement des parois des galeries au droit des barrières pour ancrer la barrière dans du terrain sain,
- un noyau de matériau de très faible perméabilité, permettant de ralentir la progression de la saumure si celle-ci atteignait les barrières (permettant de retarder l'entrée de la saumure dans le stockage puis la sortie potentielle de saumure polluée du stockage sous l'effet de la convergence des terrains),
- une structure de part et d'autre du noyau visant à assurer la stabilité géométrique du noyau de la barrière de confinement.

Schéma de principe de conception des barrières à faible perméabilité

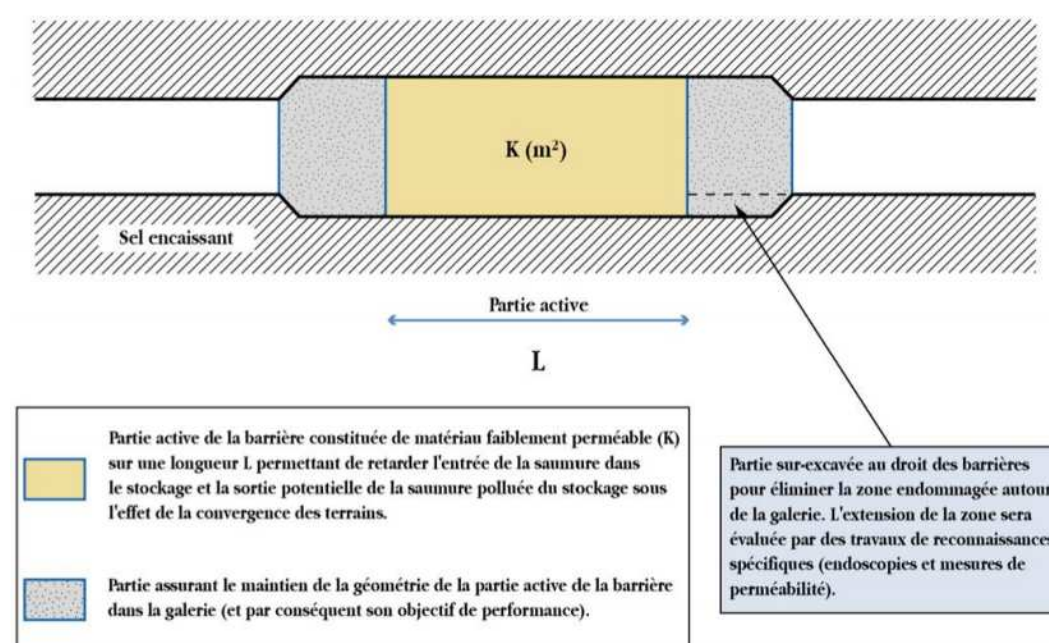


Figure 6 : Barrières de confinement des galeries de stockage (d'après étude INERIS)

Les premiers éléments de conception des barrières orientent le choix du matériau constituant le noyau vers une bentonite (argile gonflante souvent utilisée pour le confinement de déchets car permettant d'assurer de très faibles perméabilités).

Une étude menée par le bureau d'études Itasca [76] a montré qu'avec des barrages de confinement comportant un noyau de bentonite de 5 à 6 m, le temps pour que la saumure atteigne le stockage puis sature les barrières, remplisse les vides résiduels du stockage et traverse ensuite les barrières en direction de la mine serait de plus de 2000 ans.

La conception détaillée des barrages est en cours, elle se fait en collaboration avec un bureau d'ingénierie spécialisée. Le suivi de leur réalisation sera confié à une maîtrise d'œuvre indépendante.

Les études réalisées pour préciser quel est le meilleur choix de devenir du site, en fonction des données disponibles et de l'état actuel de la science, ont orienté le projet vers un stockage de durée illimitée des déchets, avec confinement de la zone de stockage.

Le confinement de la zone de stockage passera par la réalisation de barrières sur chacune des galeries d'accès du stockage. Ces barrières devront présenter des noyaux de très faible perméabilité (matériau envisagé : bentonite) sur une longueur d'au moins 5 m qui sera précisée in situ en fonction des caractéristiques de chaque galerie.

L'objectif du projet est de retarder de 1000 ans la possibilité de sortie de saumure (potentiellement chargée en contaminants au contact des déchets) du stockage.

En effet, les études menées ont montré qu'avec un retard de 1000 ans les débits pouvant sortir du stockage du fait du fluage du sel sont suffisamment réduits pour que le risque de pollution de la nappe d'Alsace soit minime, même dans les hypothèses les plus pessimistes.

1.3. Mesures complémentaires

Les premières études de conception indiquent que des barrières pourront à elles seules assurer le retard de 1000 ans de sortie de la saumure fixé en objectif, toutefois StocaMine souhaite mettre en œuvre des **mesures complémentaires pour qu'aucun phénomène de fuite parasite ne puisse affecter l'efficacité des barrières.**

Ainsi, malgré les risques de pollution rendus minimes par la présence des barrières de confinement, plusieurs mesures complémentaires sont proposées par l'exploitant pour maîtriser les risques résiduels associés au projet :

- traitement du sondage de reconnaissance W3,
- traitements des forages de dégazage de part et d'autre des barrages,
- creusement d'un exutoire dans une galerie périphérique au stockage,
- remblayage du bloc 15 et des blocs non stockés,
- remblayage des galeries d'accès aux blocs à l'intérieur du périmètre confiné par les barrières de fermeture.

Le traitement du sondage et des trous de dégazage permettra d'éviter que la saumure ne puisse emprunter des chemins autres que les galeries fermées par les barrages.

La galerie « exutoire » constituera un chemin préférentiel assurant l'évacuation des eaux s'infiltrant par les puits Joseph et Else afin d'empêcher que ces venues d'eau ne viennent hydrater précocément les barrages.

L'objectif des remblayages sera à la fois d'éviter une fragilisation des terrains entre le stockage et l'ancienne couche inférieure en assurant un soutènement des galeries et de maintenir une certaine porosité qui, en augmentant les vides disponibles, retardera le remplissage du stockage par la saumure et diminuera la concentration initiale de certains polluants et l'éventuel débit de sortie de polluants (le phénomène moteur de sortie de saumure générant potentiellement des débits de plus en plus faibles). Contrairement aux barrières, c'est la présence de vides résiduels qui sera recherchée dans les matériaux de remblayage et non une faible perméabilité.

Par ailleurs, l'Etat a demandé à StocaMine de procéder à un **retrait partiel des déchets riches en mercure** afin d'ajouter un niveau de protection pour limiter les éventuels risques de pollution de la nappe phréatique (résultats des études INERIS). Une étude sur l'organisation à mettre en place a été menée (étude logistique et technique, BMG [75]) et les appels d'offre sont d'ores et déjà lancés⁵.

⁵ : Des essais préalables seront engagés, , pour affiner les méthodes retenues et s'assurer de la sécurité du personnel.

Des suivis sont réalisés pour contrôler le comportement des galeries, du massif et des déchets (pas de dégagements gazeux, etc.).

Des investigations sont également en cours pour aider à la conception des ouvrages prévus (mesures de perméabilités, endoscopies pour visualiser l'état des parois des galeries, ...). De plus, un forage profond est prévu par les Mines de Potasse d'Alsace pour contrôler l'envoyage des vieux travaux miniers souterrains. Les données acquises seront utilisées par StocaMine pour ajuster son projet.

En plus du confinement du stockage par des barrières ouvragées, plusieurs mesures permettant d'assurer des **sécurités complémentaires** sont prévues (remblayage des galeries à l'intérieur de la zone confinée pour un rôle de soutènement et de retard de mobilisation de la saumure, chemin de court-circuit hydraulique pour favoriser la circulation éventuelle de saumure en périphérie de la zone confinée, retrait d'une partie des déchets).

1.4. Le remblayage des puits

Une fois que toutes les mesures de fermeture définitive du stockage seront terminées, le remblayage des puits Joseph et Else sera entrepris. La coopération entre les MDPa (en charge de leur remblayage) et StocaMine permettra d'adapter la méthode retenue au cas du stockage de StocaMine pour assurer une sécurité supplémentaire.

Les puits Joseph et Else sont les deux seuls puits de mine encore ouvert des Mines de Potasse d'Alsace.

Le concept de fermeture des puits Else et Joseph restera dans le principe similaire à celui des autres puits des MDPa (méthode mise en place avec l'accord de la DRIRE et n'ayant donné suite à aucune manifestation particulière depuis les premières réalisations il y a 35 ans).

Toutefois, des adaptations spécifiques au cas du stockage de StocaMine seront proposées **de façon à limiter les suintements dans ces puits et à leur extradados.**

Les premiers éléments techniques concernant les barrières, les mesures complémentaires et le remblayage des puits sont fournis dans le chapitre 6, après la description de l'environnement du stockage et des évolutions prévues ayant conduit à la définition de ces mesures.

2. ETAT INITIAL DE L'ENVIRONNEMENT

Le projet, objet du présent dossier de demande d'autorisation, consiste à transformer le site de stockage souterrain StocaMine en un site de stockage à durée illimitée.

L'état initial (avant le projet) correspond donc à l'état actuel, c'est-à-dire le site de stockage avec les déchets en place en souterrain.

Toutefois, dans cette partie, on présentera également des aspects liés à l'état initial avant la mise en activité de StocaMine afin de mener une analyse générale quant à l'évolution de l'environnement du site.

2.1. Milieu physique

2.1.1. Climat

Le climat alsacien est de type continental prononcé : l'effet d'abri des Vosges accentue la continentalité et limite l'influence modératrice des océans.

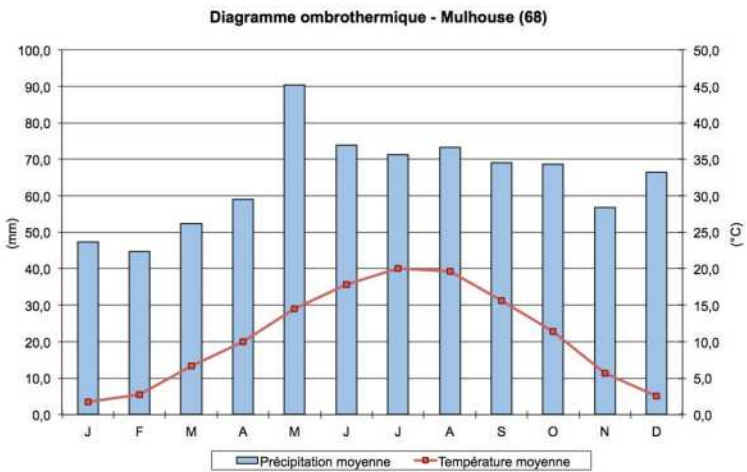
La Haute Alsace est cependant plus ouverte vers la Méditerranée par la trouée de Belfort, entraînant des conditions de température, d'occurrence de brouillards, de précipitations un peu moins rudes.

Le poste météorologique de Mulhouse est situé à moins d'une dizaine de kilomètres de Wittelsheim, dans un contexte similaire et fournit les indications suivantes (voir également tableau 1 et Graphique 1) :

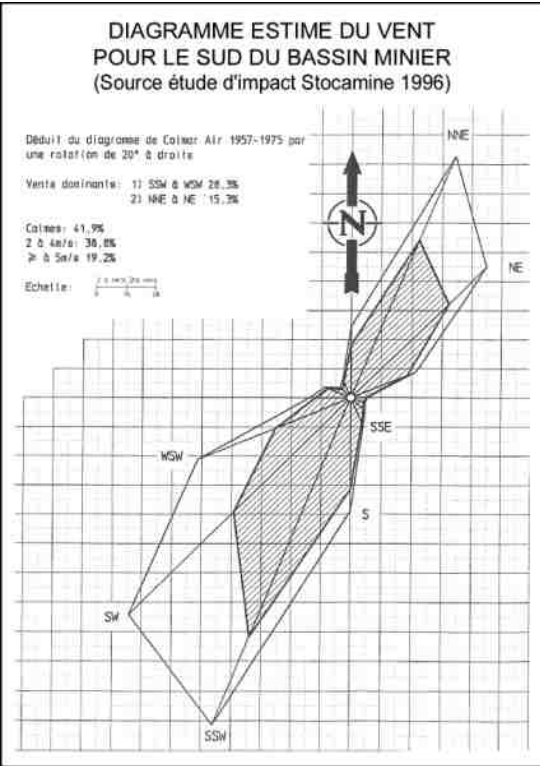
- Les précipitations sont relativement faibles et présentent des variations importantes d'une année sur l'autre, la moyenne annuelle se situant à environ 773 mm d'eau.
- La température moyenne annuelle est relativement douce, voisine de 11°C, mais l'amplitude entre le mois le plus chaud (juillet) et le mois le plus froid (janvier) reste élevée avec plus de 18 °C.
- Les brouillards sont fréquents, de même que les phénomènes d'inversion de température. Entre novembre et mars, on compte en moyenne 74 jours de gel.
- Les vents dominants sont de secteur sud-ouest (cf. Graphique 2), présentant fréquence et vitesse des vents) ; ils sont chargés d'humidité et soufflent parfois en bourrasques. Les vents de secteur nord-est, plus secs et plus froids, sont plus rares.
- La vitesse des vents est généralement faible puisque 80 % des vents ont une vitesse moyenne inférieure à 4 m/s (soit 14 km/h).

Station Météo France Mulhouse-Bâle (68)	Moyennes mensuelles normales (1981-2010)												
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNÉE
Températures Moyennes (°C)	1,7	2,8	6,7	10,0	14,5	17,8	20,0	19,6	15,6	11,4	5,7	2,6	10,7
Précipitations (mm)	47,3	44,7	52,3	59,0	90,4	73,9	71,2	73,2	69,1	68,6	56,7	66,4	772,8

Tableau 1 : Températures moyennes et précipitations, poste météorologique de Mulhouse (source : Météo France)



Graphique 1 : Diagramme ombrothermique de Mulhouse



Graphique 2 : Rose des vents, sud du bassin minier.

Les vents dominants sont très nettement orientés vers le sud-sud-ouest et le nord-nord-est, ils donnent l'orientation des sites potentiellement vulnérables en terme de bruit ou de pollution atmosphérique.

2.1.2. Contexte géologique

Ce chapitre propose une synthèse de l'environnement du site. De nombreuses études réalisées lors de la demande d'autorisation d'exploitation, pendant le fonctionnement du stockage et après l'arrêt du stockage ont traité du sujet. On s'y réfèrera pour de plus amples détails techniques (voir liste bibliographique à la fin du document).

Les paragraphes ci-dessous présentent :

- la description détaillée de l'ensemble de la série stratigraphique du bassin potassique
- le contexte tectonique (failles, diapirisme).

2.1.2.1.Stratigraphie

La succession stratigraphique des terrains est schématisé sur la figure 7 et la figure 8.

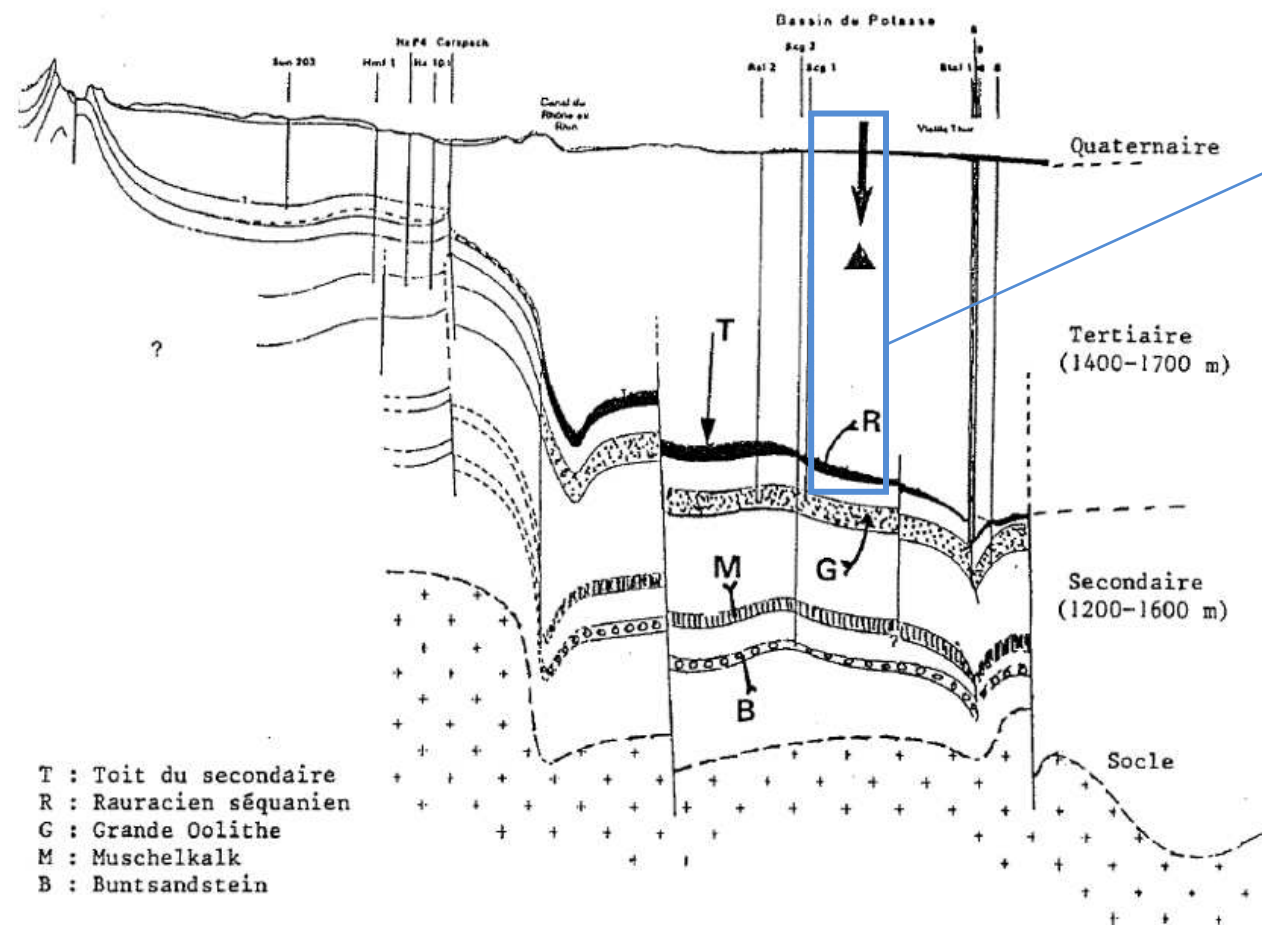


Figure 7 : Coupe générale nord-sud des terrains dans la région de Mulhouse [4]
(le nord est à gauche ; le triangle noir schématise l'emplacement du stockage souterrain de Stocamine)

Log général du bassin potassique

QUATERNAIRE	50 m	Alluvions
CHATTIEN	0 à 550 m	
STAMPIEN	sup 110 m	couches à cyrènes
	moyen 290 m	couches à meletta
	inf 15 m	c. à amphisiiles
	10 m	c. à foraminifères
TERTIAIRE		
SANNIEN	550 m	1 ^{er} sel gemme
	CS	Zone du gisement de potasse
	CI	
	Zone s. moy 300 m	marnes à hydrobies
	Zone s. inf 850 m	Grand banc de sel
EOCENE	50 m	
JURASSIQUE	Calla 100 m	
	Oxto	
BATHONIEN		
BAJOCIEN		

Secteur du stockage souterrain

QUATERNAIRE	30 m	Alluvions
SANNIEN		Alternance d'argile bleues et d'argiles rouges (quelques niveaux de marnes)
		Marnes et anhydrite
		1 ^{er} sel gemme (à 320 m)
		C.S (à 500 m)
		C.I (à 520 m)
		Stockage souterrain

Figure 8 : Coupe stratigraphique synthétique des terrains du bassin potassique [4]

Le site de stockage appartient à la série salifère du Tertiaire, il se trouve à 20 m sous la couche inférieure de potasse référencée « CI », soit autour de 550 m de profondeur.

a - TERRAINS DU SECONDAIRE

La figure 7 page précédente permet de visualiser la constitution des terrains sous-jacents à la série salifère du bassin Alsacien (Tertiaire). Le **substratum** de la série salifère est représenté, de bas en haut, par :

- des grès du Bundsandstein, situés à 2400 m de profondeur et constitués de grès détritiques d'une épaisseur inférieure à 100 m ;
- des calcaires et dolomies du Muschelkalk, situés vers 2200 m dans la région de Mulhouse, également épais d'environ 100 m d'épaisseur ;
- des calcaires oolithiques massifs du Dogger, encore appelés « Grande Oolithe », situés à près de 2000 m de profondeur, épais d'environ 150 m ;
- des calcaires du Malm, dont le toit se trouve vers 1500-1600 m de profondeur, épais de moins de 100 m ; ils n'existent que dans la région de Mulhouse car ils ont été érodés ailleurs.

Allant du Trias au Jurassique, le substratum des terrains salifères est représenté par environ 1300 m de formations essentiellement marneuses (donc très peu perméables) qui renferment quatre niveaux lithologiques plus perméables.

b - TERRAINS SALIFERES DU TERTIAIRE

De la base du Tertiaire jusqu'au Plio-Quaternaire, on trouve :

L'Eocène

Cette formation, épaisse de 0 à 100 m, est discordante sur le substratum jurassique plissé dont la profondeur est d'environ 1600 à 1800 m au droit du site de stockage. Il s'agit de conglomérats marneux riches en pisolithes ferrugineux et en rognons d'anhydrite renfermant, parfois, un horizon de calcaire lacustre. D'après l'échelle chrono-stratigraphique des MDPA, la limite Eocène-Oligocène est fixée à l'apparition des marnes vertes à Limnées⁶.

Situé à la base de la série salifère, notamment au droit du site de stockage, l'Eocène à dominante marneuse n'est pas partout présent.

Le Sannoisien

La série salifère du Sannoisien constitue l'essentiel du remplissage du bassin de Mulhouse et renferme notamment les horizons potassiques exploités par les MDPA ainsi que l'horizon salifère au sein duquel a été creusé le site de stockage.

⁶: Ce repère correspondrait en fait à la limite entre Eocène moyen et supérieur, la véritable limite Eocène-Oligocène se trouvant au sommet de la formation de Sel III.

Epaisse de 1450 à 1750 m, cette série a été subdivisée en 3 zones et en 9 unités distinctes qui sont, de bas en haut (figure 9) :

- la zone salifère inférieure, épaisse de 700 à 900 m, qui comprend les unités A (marnes à Limnées), B (grand banc de sel gemme surmonté d'une alternance de marnes et de couches de sel gemme), C (marnes à Limnées) et D (alternance de marnes et de couches de sel gemme) ;
- la zone salifère moyenne, épaisse de 300 m, qui comprend les unités E (ensemble salifère constituée d'alternances de marnes bitumineuses, de lits dolomitiques et de bancs de sel gemme) et F (zone fossilifère renfermant des marnes à anhydrite) ;
- la zone salifère supérieure, épaisse de 450 à 550 m, qui comprend les unités G, H et I.

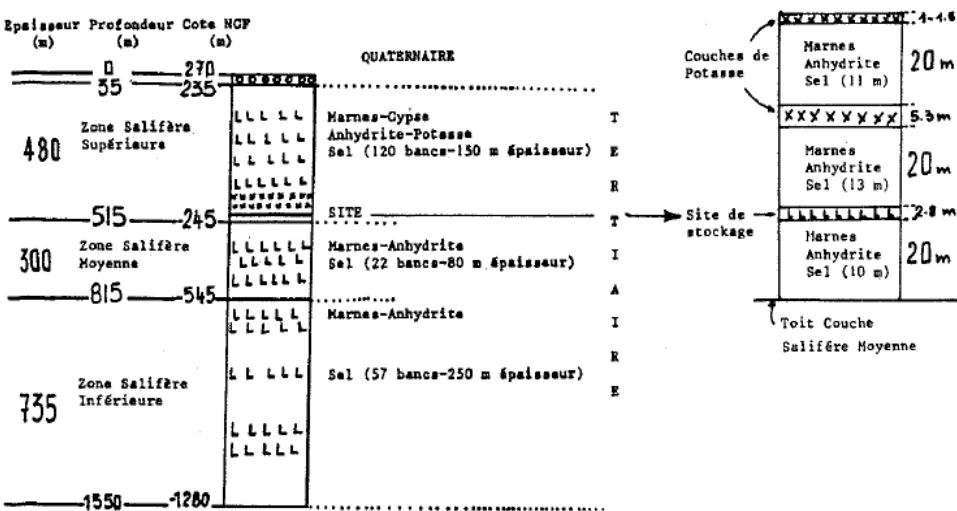


Figure 9 : Log géologique schématique des terrains salifères de l'Oligocène ≈ SANNOISIEN [4]

La zone salifère supérieure, qui renferme le site de stockage, est détaillée ci-après. De bas en haut, il s'agit de :

- Unité G ou « complexe salin » : formation de 200 m d'épaisseur elle-même subdivisée en :
 - une partie inférieure de 100 m constituée de marnes bitumineuses, de couches de sel gemme, de strates d'anhydrite (souvent dolomitique mais jamais en rognons) ; c'est à ce niveau que se trouve le site de stockage ;
 - deux niveaux exploités de potasse (un niveau inférieur de 6 m d'épaisseur situé à 40 m au-dessus de la base de cette zone et un niveau supérieur de 2 m situé à 20-25 m au dessus) ;
 - une partie supérieure de puissance et de composition identique à la partie inférieure sauf que l'anhydrite y est en rognons ;
- Unité H ou « complexe salifère » : renfermant 300 m de marnes, d'anhydrite en gros rognons et de couches de sel ;

- Unité I : complexe marneux sans sel mais renfermant des filets ou des rognons de gypse ou d'anhydrite.

N.B. : vers les bordures sud et ouest du bassin de Mulhouse, le sel des unités G et H disparaît peu à peu et la série devient entièrement marneuse.

Épaisse d'environ 1500 m, la série salifère du Sannoisien est essentiellement formée de terrains marneux et évaporitiques structurés en trois zones superposées.

Le site de stockage se trouve vers 500 m de profondeur, à la base du « complexe salin » qui appartient lui-même à la base de la série salifère supérieure. Au sommet, sur environ 100 m d'épaisseur, l'anhydrite y est transformée en gypse.

Le Stampien

Cette série n'est pas présente au droit du site de stockage mais elle a été recoupée par de nombreux puits dont Amélie I⁷, Amélie II et Max. Elle est épaisse de 400 à 430 m et subdivisée en trois parties :

- 7 à 29 m de Stampien inférieur qui comprend des marnes pyriteuses (Couche à Foraminifères) puis bitumineuses (Couche à Amphisiles) ;
- 300 m de Stampien moyen correspondant aux « couches à Mélettes », marnes micacées renfermant à leur base de petits bancs de calcaire dolomitique ou de grès à ciment calcaire ;
- 100 m de Stampien supérieur qui forme les « couches à Cyrènes », alternance de marnes finement sableuses et de couches de grès tendres mal consolidés.

Bien qu'absent au droit du site, le recouvrement stampien de la série salifère a été recoupé par de nombreux puits de mine. Il est épais d'environ 400 m et formé de terrains marneux qui, vers le sommet, s'enrichissent de plus en plus, en dépôts carbonatés puis gréseux.

Le Chattien

Cette formation n'existe pas au niveau du site de stockage mais se retrouve à 5 km au nord-est, dans le secteur de Staffelfelden, Ungersheim et Ensisheim. Elle comprend des marnes à horizons gréseux renfermant, vers le sommet, des niveaux de calcaires vacuolaires et des nids de gypse en gros cristaux.

Ainsi, le bassin n'est pas complètement homogène : les étages supérieurs ne sont pas présents partout, ce que l'on peut visualiser sur la figure 12, notamment avec la coupe Sud-Sud-Ouest / Nord-Nord-Est traversant la zone exploitée pour la potasse.

C - RECOUVREMENT PLIO-QUATERNAIRE

Le Pliocène est peu représenté mais le Quaternaire correspond à un ensemble alluvial complexe, épais de 20 à 50 m, formé de dépôts à dominante sableuse renfermant des lentilles de dépôts fins et des chenaux plus grossiers. Ce complexe alluvial est doublement structuré :

- Dans le plan horizontal (figure 10) avec l'important cône alluvial de déjection de la Thur à l'ouest du site (épais de 80 m environ en bordure de l'III à 20-30 m près de Mulhouse) et le domaine des alluvions rhénanes à l'est (de 20 m près de Mulhouse à plus de 200 m vers Neuf-Brisach) ; bien que séparés par la plaine d'épandage de l'III, ces deux domaines alluviaux se recouvrent sur 2 à 3 km avec une interstratification des alluvions vosgiennes et rhénanes ;

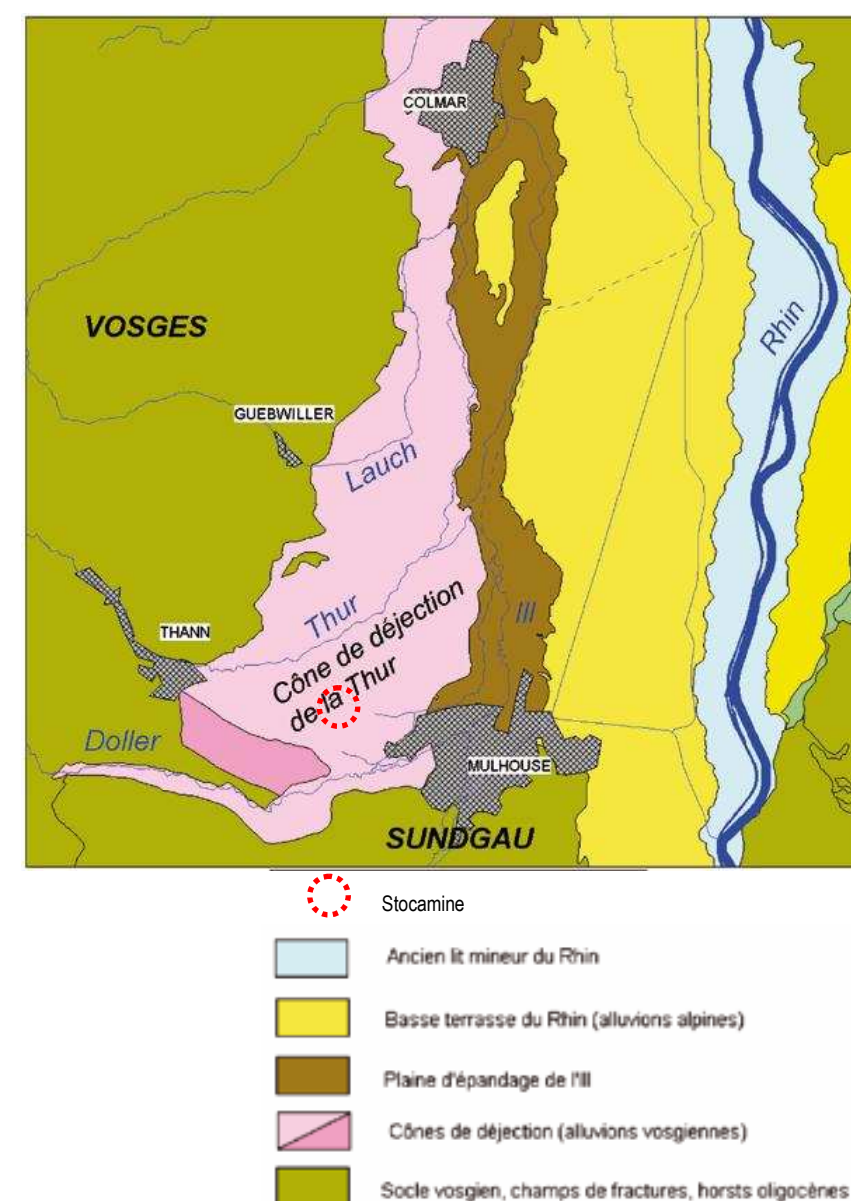


Figure 10 : Carte géomorphologique de la plaine du Rhin [42]

⁷ : où la série à Amphisiles et celle à Mélettes sont même répétées suite à un accident tectonique.

- Dans le plan vertical (figure 11) avec 3 couches d'âges différents :
 - o la couche 1 d'alluvions récentes non à peu altérées et très perméables ;
 - o la couche 2 d'alluvions anciennes argilo-sableuses, moyennement à localement très peu perméable ; en domaine vosgien, elle est parfois séparée de la précédente et de la suivante par quelques mètres d'intercalations argileuses ;
 - o la couche 3 d'alluvions basales dont la perméabilité diffère selon le domaine considéré : souvent peu perméable en domaine rhénan, elle est plus perméable en domaine vosgien car constituée de sables grossiers à galets et blocs, formant des paléochenaux.

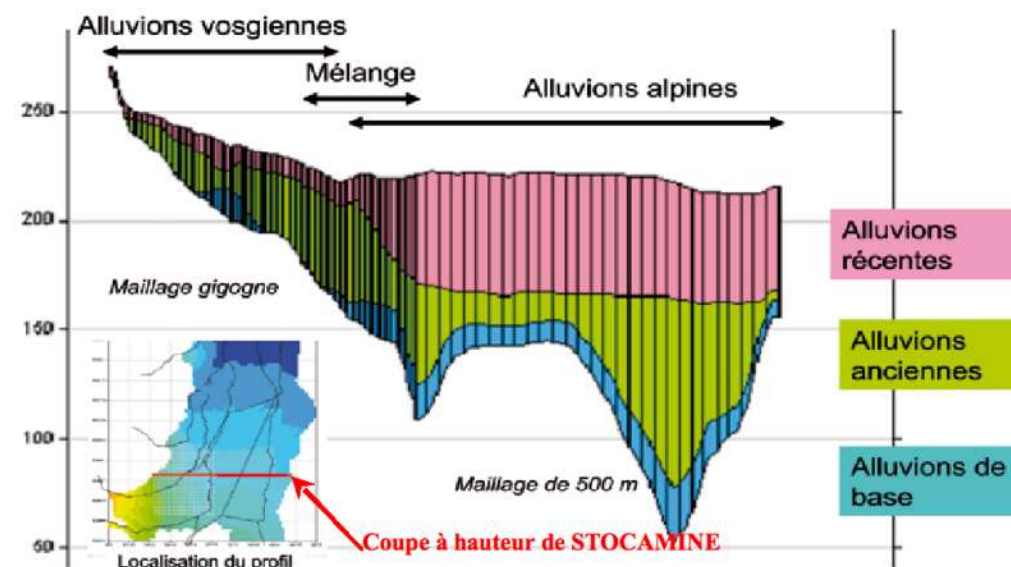


Figure 11 : Coupe des alluvions de la nappe d'Alsace [62]

Le bassin potassique a fait l'objet de nombreuses reconnaissances géologiques, notamment pour l'exploitation de potasse.

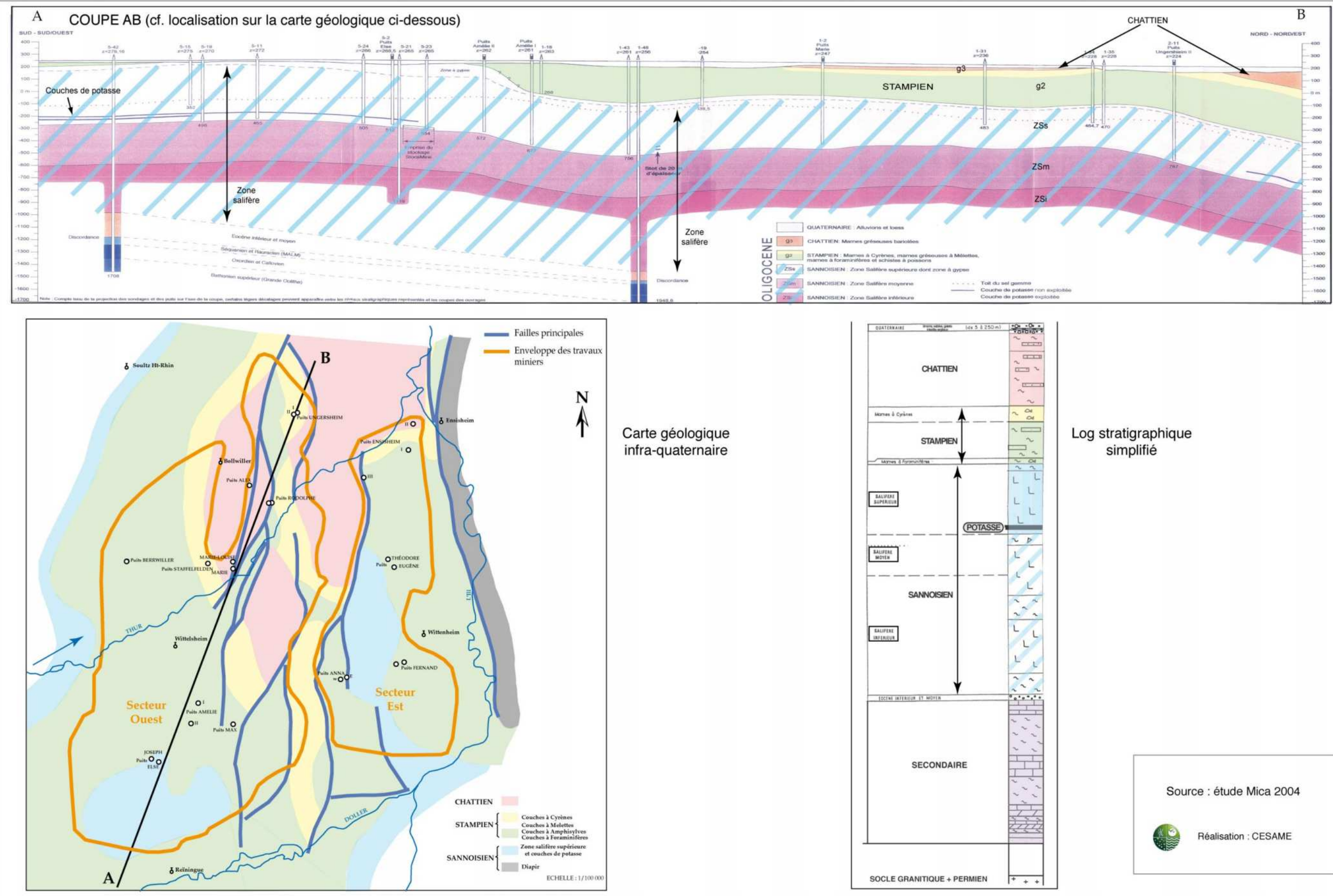
Il présente des terrains de remplissage allant de l'ère secondaire à l'ère quaternaire. Les terrains de l'ère tertiaire se caractérisent par une importante série évaporitique.

Le site de stockage est situé au cœur de la formation Sannoisienne, constituée de marnes à niveau de sel, d'anhydrites ou de gypse (présente sur plus de 500 m au-dessus du stockage souterrain et plus de 550 m en-dessous).

Le recouvrement plio-quaternaire, de nature alluviale, est essentiellement formé de dépôts sableux, avec localement des paléo-chenaux à remplissage plus grossier à sa base.

Ce recouvrement est relativement épais (20 à 50 m) au droit du site de stockage et abrite une nappe aquifère.

FIGURE 12 : CONTEXTE GÉOLOGIQUE, MINES DE POTASSE D'ALSACE



2.1.2.2. Tectonique et diapirisme

Le contexte tectonique a été étudié pour préciser la stabilité de l'encaissant dans lequel le stockage se trouve.

a - TECTONIQUE

Le bassin potassique de Mulhouse se trouve dans le fossé d'effondrement rhénan (figure 13). Ce dernier est orienté NNE-SSW et limité de part et d'autre par une série de failles de même direction datant de l'orogénèse hercynienne et disposées en baïonnette.

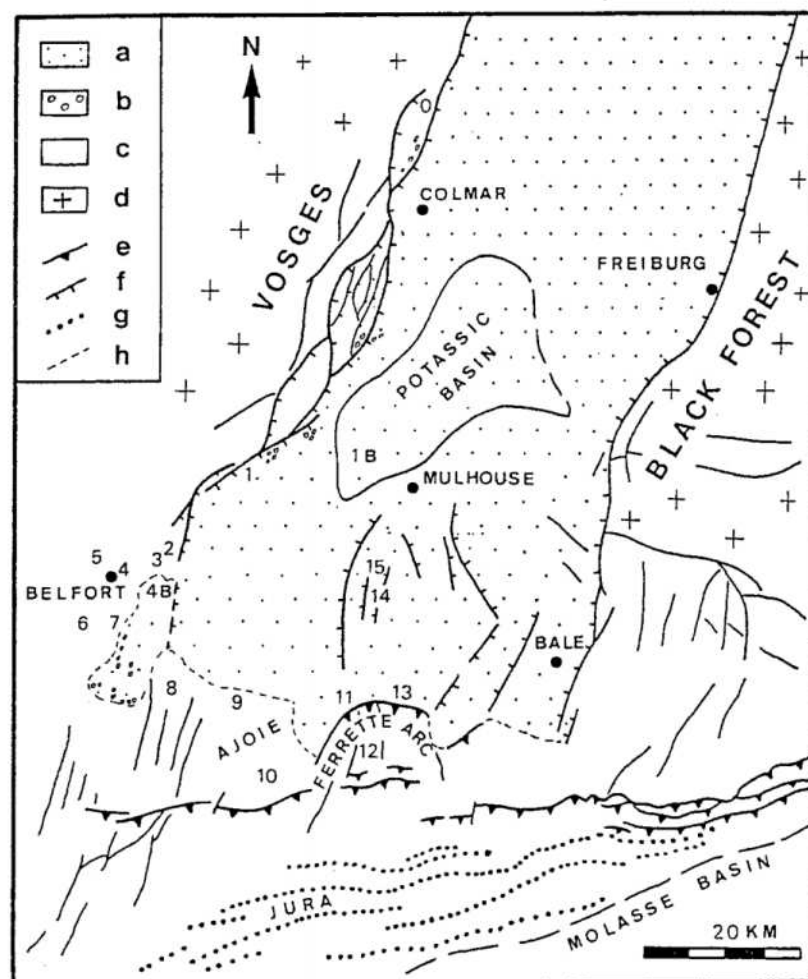


Schéma tectonique de la partie Sud du Fossé Rhénan. a= cénozoïque, b= conglomérats oligocènes, c= sédiments mésozoïques, d= paléozoïque, e= failles inverses, f= failles normales, g= axes de plis, h= limite Sud du Fossé Rhénan. Les nombres indiquent les endroits où des analyses microtectoniques ont été faites.

Figure 13 : Schéma tectonique de la partie sud du fossé rhénan

A l'exception de ces accidents bordiers qui sont synsédimentaires, les autres failles sont en générale post-sédimentaires [55].

A la fin du Crétacé, les mouvements prémonitoires de l'orogénèse alpine ont en effet affecté le substratum secondaire en y créant des plis à grand rayon de courbure orientés WNW-ESE. Ces reliefs n'étaient que partiellement érodés lors des premiers dépôts du Tertiaire, qui se sont donc effectués dans des bassins séparés. Leur individualité s'est affirmée au cours de l'affaissement du fossé rhénan et a contribué à accroître la diversité de leur remplissage sédimentaire. **Au droit du site de stockage, la base du Tertiaire se trouve ainsi vers 1600 m de profondeur alors que dans le secteur du horst de Mulhouse, elle n'est qu'à 200 m.**

L'effondrement du fossé, d'une amplitude totale de 5 km, a débuté à l'Eocène et a atteint son paroxysme à l'Oligocène. Il a permis l'invasion marine qui a déposé les couches de sel et de potasse. Dans le bassin de Mulhouse, ce remplissage tertiaire est affecté d'ondulations de direction subméridienne, à grand rayon de courbure, parfois interrompues par des failles post-sédimentaires dont les rejets peuvent atteindre 500 m et qui découpent de grands panneaux monoclinaux.

Dans le secteur du stockage, la structure est monoclinale⁸ avec un pendage de 6 à 10° vers le nord-ouest qui correspond au flanc d'un bombement anticlinal d'axe NE-SW [55]. Cette déformation souple à grand rayon de courbure (donc non fracturée) est **interrompue près du puits Max, à 1,5 km à l'est du site de stockage, par une faille subméridienne de 170 m de rejet** qui affaisse le bloc Amélie par rapport au bloc Max.

Il est également noté l'existence de deux autres accidents tectoniques affectant les formations du Stampien :

- une zone broyée recoupée par le puits Amélie I et qui a conduit à un dédoublement de la série géologique du Stampien ; dans ce puits, les couches à Mélettes et les schistes à Amphisiles, situés entre 25 et 135 m de profondeur, se retrouvent de nouveau entre 135 et 245 m de profondeur ; il est possible que cette zone broyée corresponde à une faille subhorizontale de type chevauchant ; son recoupement a été apparemment accompagné d'une faible venue d'eau (7 l/min) mentionnée à 137 m de profondeur dans le puits ;
- le recoupement d'une faille dans les grès aquifères du Stampien à l'occasion du creusement d'une galerie « travers banc T » qui devait relier les mines Marie-Louise et Berrwiller ; ce recoupement a donné lieu à une venue d'eau qui a nécessité plusieurs interventions de colmatage pour la juguler [55].

⁸ : structure avec une pente régulière, sans plissement.

Le remplissage du fossé rhénan est affecté par un certain nombre de failles qui le découpent en panneaux monoclinaux très homogènes. Aucune de ces failles n'est mentionnée aux environs immédiats du site de stockage.

On note l'existence d'une zone broyée à 135 m de profondeur dans le Stampien du puits Amélie I (soit plusieurs centaines de mètres au-dessus de la série salifère renfermant le site de stockage), d'une autre faille également recoupée dans le Stampien entre les puits Marie-Louise et Berwiller et d'une faille située à 1,5 km de distance à l'est du stockage en direction du puits Max.

b - SISMICITE ET MOUVEMENTS FUTURS

Le site de stockage se trouve « dans une région réputée sismiquement active (à l'échelle nationale) » [55].

Une étude de l'impact de la sismicité sur le stockage a été menée par l'institut de Physique du Globe de Strasbourg [3] : les prédictions d'accélération du sol à 500 m de profondeur ont été conduites en prenant un séisme de magnitude 5,5 à une distance de 8 km du site (équivalent au séisme de Remiremont de 1685) et de 6,5 à une distance de 32 km (équivalente au séisme de Bâle de 1356). Il ressort [55] :

- d'une part que les accélérations au fond seraient « inférieures d'un facteur 4 à 5 par rapport aux accélérations de surface » avec, dans les hypothèses les plus pessimistes, « des accélérations horizontales inférieures à 0,1 g à la profondeur de 500 m et des accélérations verticales au moins deux fois plus faibles » ;
- d'autre part, que « les probabilités d'occurrence de ces séismes à des distances aussi rapprochées du site de stockage sont faibles » ; ainsi la probabilité d'occurrence d'un séisme de magnitude 6,5 au sud du fossé rhénan peut être estimée à environ 10^{-3} .

Les probabilités d'occurrence d'un séisme potentiellement destructeur dans la zone du stockage sont de l'ordre d'un par millénaire avec des accélérations très faibles en profondeur (< 0,1 g à -500 m).

c - DIAPIRISME

Du fait de sa faible masse volumique⁹ par rapport aux terrains surincombants et de son comportement viscoplastique, le sel peut migrer vers le haut à travers les terrains sus-jacents et former un dôme de sel ou un diapir¹⁰. Celui-ci déséquilibre alors l'encaissant et favorise ainsi l'émergence d'autres dômes de sel ou diapirs, généralement alignés.

Dans le fossé rhénan, il existe quelques diapirs à Ensisheim, à 10 km à l'est du site de stockage, le long de l'III : une remontée du substratum liée à des phénomènes de diapirisme y est à l'origine du dôme de Hettenschlag et de la crête de Meyenheim.

Les conditions les plus favorables à l'apparition de dômes ou de diapirs sont une épaisseur de sel d'au moins 500 m et une profondeur d'enfouissement de 1 à 2 km minimum : sa vitesse d'ascension est alors de l'ordre de 0,1 à 0,5 mm/an [4].

Dans le secteur d'étude, toutefois, les conditions sont assez peu favorables à la formation de diapirs car le sel est peu épais et situé à faible profondeur : cela est d'ailleurs confirmé par la régularité des couches [4]. C'est ainsi que l'absence d'un diapir « est en soi une preuve convaincante que le risque de formation d'un nouveau diapir est pratiquement inexistante » [55]. D'autre part, les données des nombreux puits et sondages confirment la régularité des bancs de sel.

Les conditions nécessaires à l'apparition de dômes de sel ou de diapirs ne se rencontrent pas a priori au droit du site de stockage ni dans son environnement immédiat.

Le site de stockage se trouve dans un encaissant considéré comme stable (très faible probabilité d'ondes sismiques destructrices ou de mouvements globaux de migration de la formation salifère).

⁹ : 2160 kg/m³ pour le sel gemme contre 2550 kg/m³ pour la moyenne des roches.

¹⁰ : Un diapir se forme essentiellement à la suite d'une instabilité mécanique de bancs de sel soumis à une forte poussée tectonique alors que la montée d'un dôme de sel est exclusivement liée à l'écart de densité du sel avec son encaissant.

2.1.3. Contexte hydrogéologique

Les reconnaissances effectuées dans le bassin potassique, notamment pour l'exploitation de la potasse, se sont particulièrement intéressées à la problématique des venues d'eau. En effet, sel et potasse sont solubles et les venues d'eau constituaient un risque pour les exploitants des mines souterraines.

Sont repris ci-après, pour toutes les formations présentes dans le bassin potassique, les caractéristiques des niveaux potentiellement aquifères (= qui contiennent de l'eau).

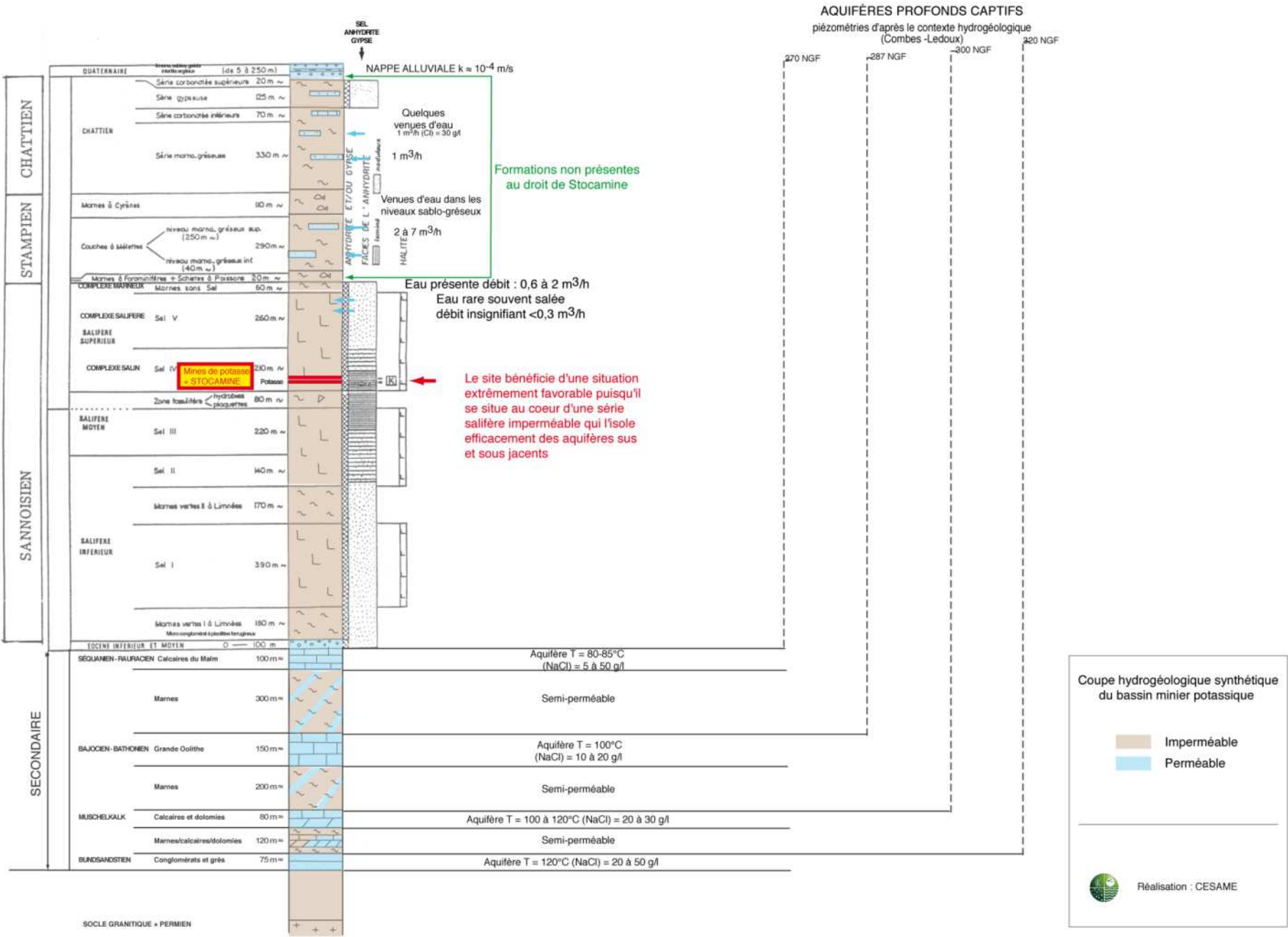


Figure 14 : Log hydrogéologique du bassin minier.

2.1.3.1. Aquifères du Secondaire

Les aquifères situés sous la formation salifère correspondent aux quatre formations perméables précédemment décrites des grès du Buntsandstein et des calcaires du Muschelkalk, du Dogger et du Malm [4].

Des mesures faites en laboratoire avec ces roches indiquent que leur porosité matricielle est inférieure à 10% mais, dans les trois réservoirs calcaires, la porosité de fracture est importante. Leur perméabilité, mesurée sur carotte, est faible (10^{-14} à 10^{-15} m²) sauf dans la Grande Oolithe (Dogger) en raison de sa fracturation et de sa « dolomitisation erratique » [4]. Enfin, la salinité de l’eau de ces aquifères est très élevée, comprise entre 5 et 50 g/l.

Les données piézométriques de ces nappes profondes sont rares mais on peut considérer qu’elles sont artésiennes au droit du site de stockage (tableau 2).

Aquifère	Epaisseur de l'horizon Productif	Piézométrie	t°C	Salinité des eaux (secteur de Mulhouse) Nacl
Calcaire du Malm	Moins de 100 m	270 m NGF	80°-85°	Très variable 5 à 50 g/l
Grande Oolithe (Dogger)	120 à 150 m	280 m NGF	100°	10 à 20 g/l
Calcaire du Muschelkalk	75 à 100 m	300 m NGF	100 à 120°	20 à 30 g/l
Grès du Buntsandstein	75 à 100 m	320 m NGF	120°	20 à 50 g/l

Tableau 2 : Principales caractéristiques des aquifères de la série Secondaire [4]

Ainsi, en ce qui concerne les sondages pétroliers réalisés dans le bassin potassique et qui ont atteint ces aquifères profonds « lors de leur foration, ces ouvrages étaient pour la plupart légèrement artésiens » [28]. A titre d’exemple, au sud de l’exploitation minière, le sondage Reiningue 2 bis présentait un niveau piézométrique à 7 m au-dessus du sol tandis que le sondage Schweighouse 2bis présentait un niveau piézométrique à 9,82 m sous la surface [55].

Bien qu’en charge sous la série salifère sannoisienne, les aquifères du Secondaire en sont isolés par plus d’un millier de mètres de terrains imperméables, ce qui rend difficile - voire impossible - toute communication naturelle avec le site de stockage.

2.1.3.2. Aquifères du Tertiaire

a - LE SANNOISIEN

Le comportement hydrogéologique des terrains du Sannoisien surplombant le site de stockage est schématisé sur la figure 15.

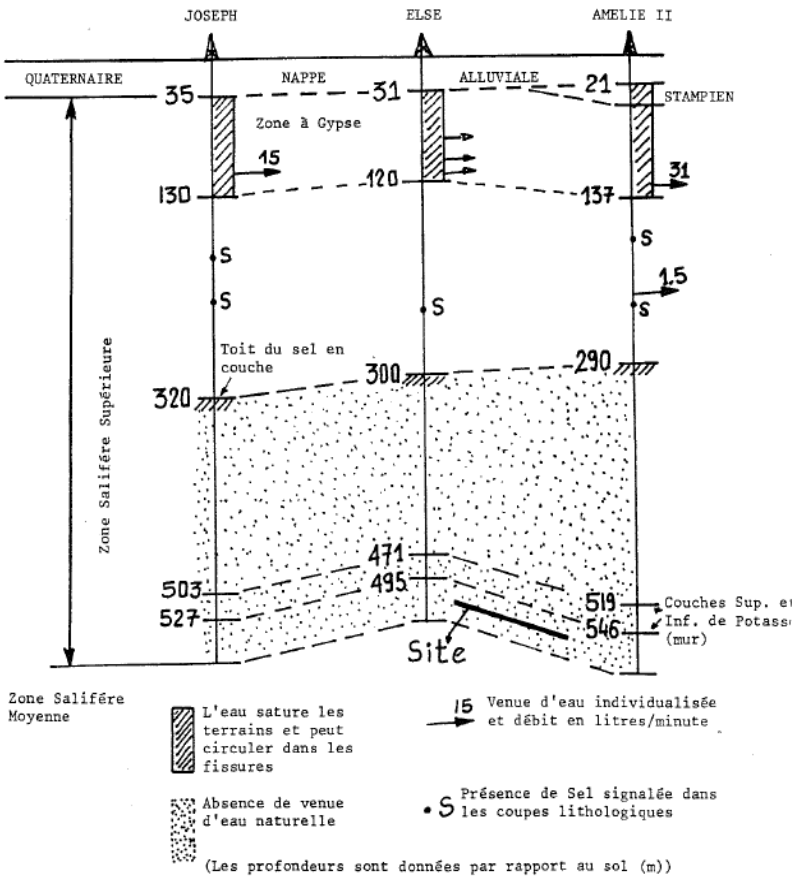


Figure 15 : Schéma synthétique de l'hydrogéologie de la zone salifère supérieure à l'aplomb du site de stockage [4]

Le Sannoisien renferme des zones salifères dont le comportement hydrogéologique diffère significativement :

- sous le site de stockage, les zones salifères moyenne et inférieure ainsi que la base de la zone salifère supérieure ne renferment aucun aquifère ;
- au-dessus du site de stockage, le reste de la zone salifère supérieure comprend (figure 15) :
 - o environ 200 m de partie basale (c'est-à-dire les terrains juste au-dessus du stockage) sans venue d'eau ;

- une **partie intermédiaire** (épaisse de 180 m, constituée de marnes, d'anhydrite et de sel) dans laquelle 6 puits de mine sur 22 ont rencontré des venues d'eau dont le tarissement a cependant été rapide, aboutissant à un débit < 4 l/min avec une salinité stable autour de 30-32 g/l ;
- une **partie supérieure** (épaisse de 100 m) où les rognons d'anhydrite ont été transformés en rognons de gypse¹¹. On observe dans cette « zone à gypse » des suintements au débit insignifiant sauf dans les puits Joseph¹² et Amélie II¹³ où, lors de leur fonçage, les venues d'eau ont respectivement atteint 15 et 31 l/min.

Des venues d'eau peuvent être recoupées dans les niveaux les moins profonds de la formation salifère du Sannoisien (jusqu'à 400 m de profondeur environ). Au-delà aucune venue d'eau n'a jamais été décrite. Avec plus de 500 m d'épaisseur, la formation salifère sannoisienne est ainsi considérée comme imperméable.

b - LE STAMPIEN

Cet étage. n'est pas présent à l'aplomb du stockage souterrain de StocaMine.

Sur le plan hydrogéologique, le Stampien est divisé en deux parties :

- le Stampien inférieur, essentiellement marneux, qui peut être considéré comme imperméable, à l'exception du recoupement d'une petite fissure ayant fourni un débit de 7 l/min (soit 0,4 m³/h) au puits Amélie I ;
- le Stampien moyen et supérieur, puissant ensemble marneux renfermant des horizons sablo-gréseux, qui présente très souvent des horizons aquifères dont les débits sont faibles et chutent très rapidement.

Situés sous la nappe alluviale, entre 20-50 m et jusqu'à 200 m de profondeur, les terrains du Stampien peuvent être faiblement aquifères et les quelques failles qui les traversent ont montré des venues d'eau significatives.

Cette formation n'est pas présente à l'aplomb du stockage souterrain.

c - LE CHATTIEN

Aux puits Marie, Marie-Louise, et Rodolphe - où le Chattien mesure 20 à 51 m d'épaisseur - aucune venue d'eau notable n'y a été observée lors du fonçage. En revanche, au puits Alex, où son épaisseur atteint 300 m, des venues d'eau importantes ont été observées, avec des débits de 1 à 500 l/min. Les zones les plus aquifères correspondent à des niveaux gréseux disloqués ou broyés, comme celui situé à 276 m de profondeur qui a fourni un débit initial de 500 l/min, tombé à 20 l/min au bout de 8 jours, avec une salinité de 30 g/l.

Cette formation localement aquifère n'est pas présente à la verticale du site de stockage.

¹¹ : le gypse est un sulfate de calcium hydraté de formule CaSO₄ · 2H₂O, l'anhydrite étant la forme anhydre CaSO₄.

¹² : le site de stockage se trouve entre les puits Joseph, Else et Amélie II.

¹³ : il s'agit ici de la venue d'eau la plus profonde mesurée sur le site (411m de profondeur).

2.1.3.3. Aquifère alluvial du Quaternaire

a - CARACTERISTIQUES

Les paragraphes ci-dessous décrivent les caractéristiques physiques de l'aquifère. Les aspects qualité d'eau, usages et protection sont abordés ultérieurement (chapitre 1.1.3 « Nappe alluviale et réseau hydrographique »).

Coiffant l'ensemble des formations précédemment décrites, les formations du Quaternaire sont constituées d'alluvions, ici formées de sables, graviers et de galets sur une trentaine de mètres d'épaisseur.

Au sein de cet ensemble, trois couches alluviales se superposent (de la surface vers la base) :

- les alluvions récentes (tant rhénanes que vosgiennes),
- la partie supérieure des alluvions anciennes,
- la partie inférieure des alluvions anciennes, lorsqu'elle est présente (paléochenaux).

Ces alluvions très perméables forment le principal aquifère de la plaine du Rhin et hébergent la nappe de la plaine d'Alsace (plus communément appelée la « nappe d'Alsace »).

Cet aquifère très productif, d'intérêt régional, est fortement exploité pour l'alimentation en eau potable (AEP) des collectivités. Il est encore exploité par les MDPAs pour l'extraction d'eau destinée à la dissolution accélérée de certains terrils ainsi que pour le pompage (dépollution) du sel introduit dans la nappe par le lessivage des terrils¹⁴.

Au débouché des vallées vosgiennes, la nappe s'écoule tout d'abord vers l'est puis, rejoignant la nappe d'accompagnement du Rhin, son écoulement s'oriente alors vers le nord-est.

La nappe d'Alsace constitue un seul ensemble, mais des circulations préférentielles se distinguent du fait de la superposition des trois couches alluviales. Les vitesses et axes d'écoulement dans ces trois couches ont fait l'objet d'une modélisation par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières).

La figure 17 fournit les représentations cartographiques des différentes couches utilisées pour la modélisation du BRGM (épaisseurs et variations de perméabilité).

Globalement on constate que :

- dans sa partie est, la nappe est constituée d'alluvions relativement régulières, de forte épaisseur et de perméabilité relativement élevée (souvent $> 5.10^{-3}$ m/s) correspondant à des alluvions d'origine alpine apportées par le Rhin,

- dans sa partie ouest, et donc autour de Wittelsheim, les alluvions en provenance des Vosges sont plus irrégulières, avec des perméabilités variables du fait de la présence de zones argileuses mais aussi d'axes plus drainants correspondant aux paléovallées.

Les formations quaternaires (env. 30-35 m d'épaisseur) hébergent la nappe alluviale d'Alsace. L'hétérogénéité des alluvions fait retenir un fonctionnement en 3 couches, qui ont fait l'objet d'une modélisation par le BRGM permettant de reconstituer les axes et vitesses d'écoulement dans ces 3 niveaux.

b - PIEZOMETRIE

La figure 16 représente la piézométrie de juin 2002 utilisée par le BRGM dans l'étude réalisée pour StocaMine [62]. Cette piézométrie est représentative de conditions moyennes.

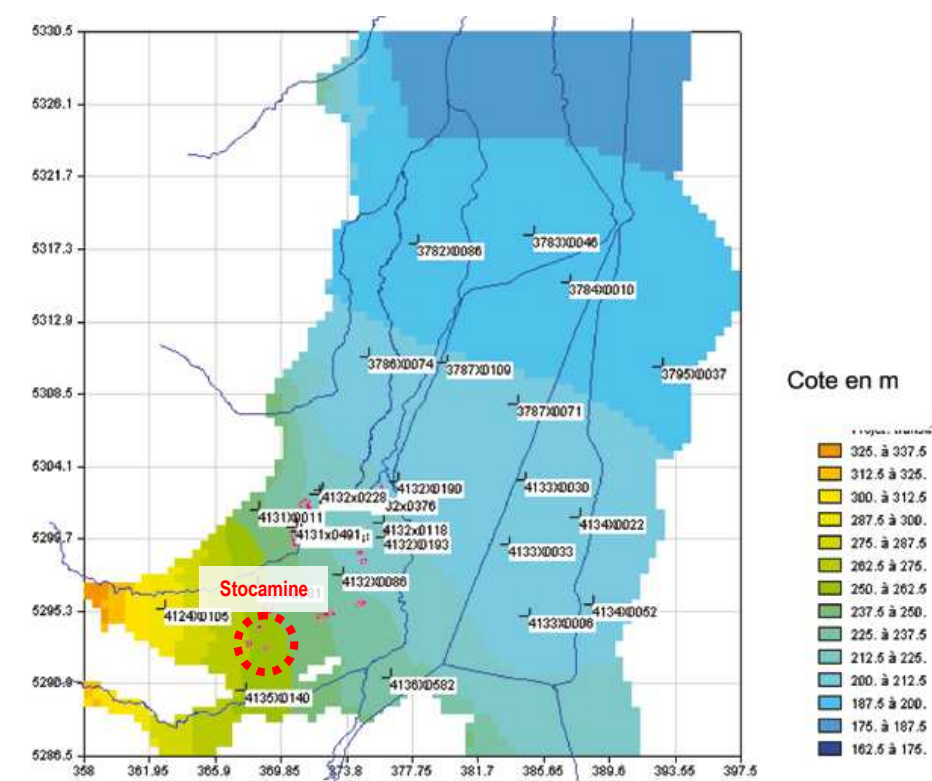


Figure 16 : Carte piézométrique de référence de juin 2002 [MDPA]

La nappe s'écoule globalement du piémont vosgien où la piézométrie atteint 330 m NGF jusqu'à la région de Colmar où elle se trouve à 170 m NGF. Dans des conditions moyennes (figure 16), le niveau piézométrique à l'aplomb du site de stockage se trouve à environ 250 m NGF.

¹⁴ : La saumure extraite de la nappe étant envoyée dans le « saumoduc » qui aboutit au Rhin.

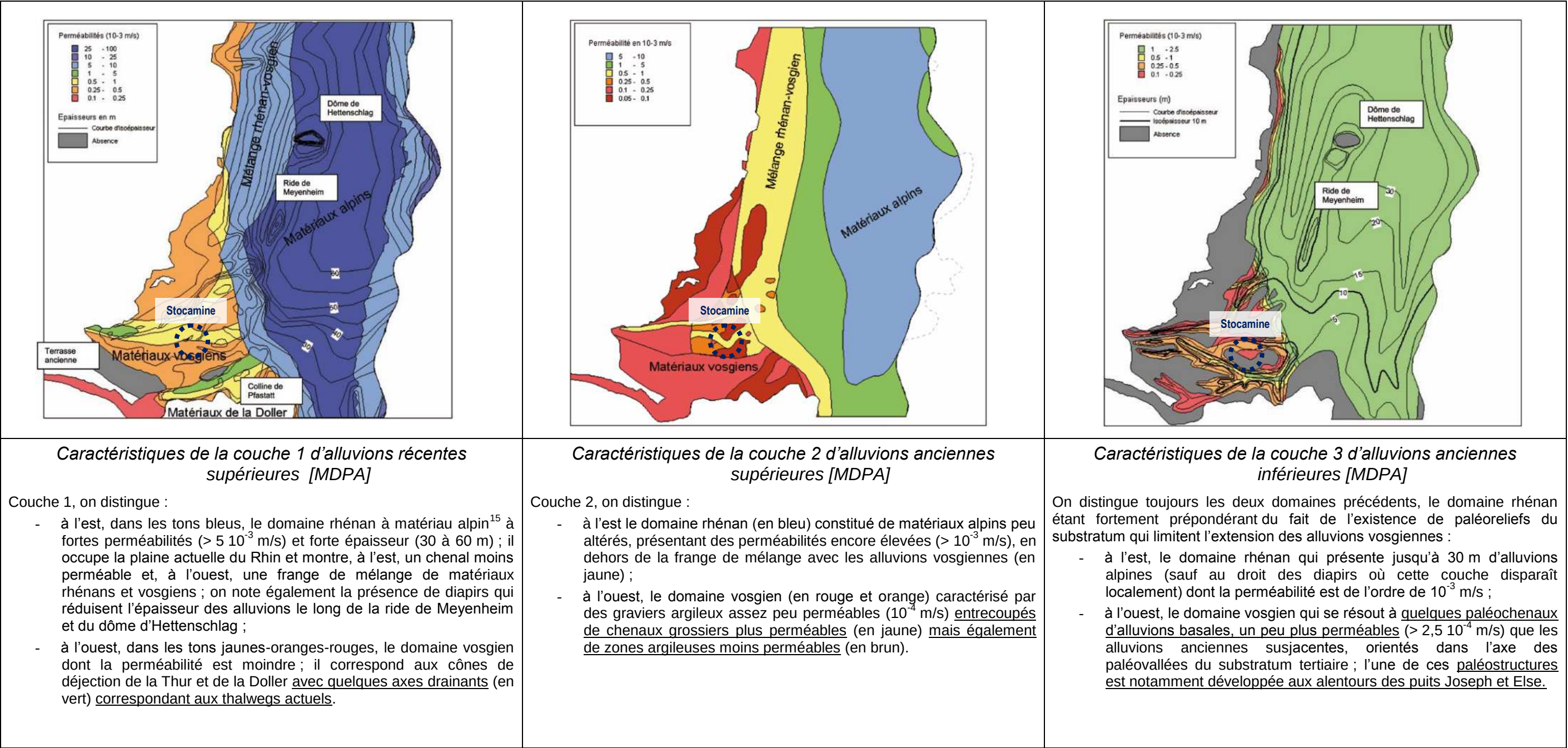


Figure 17 : Caractéristiques des différentes couches d'alluvions de la nappe

¹⁵ : C'est-à-dire renfermant des sédiments originaires des Alpes.

La piézométrie au-dessus du site de stockage est illustrée plus précisément ci-dessous (figure 18), avec un niveau d'eau compris autour 258 m NGF aux puits Joseph et Else, et un sens global d'écoulement de la nappe dirigé d'Ouest en Est¹⁶.

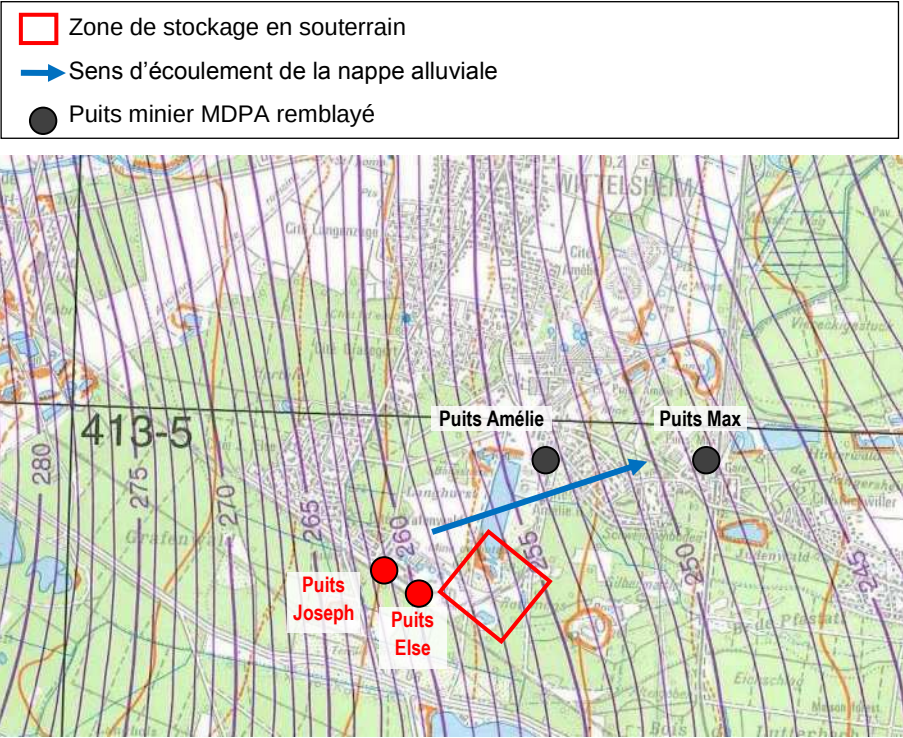


Figure 18 : Extrait de la carte piézométrique du bassin potassique (piézométrie en m NGF)

Le sens d'écoulement de la nappe a été modélisé à l'échelle régionale et plus spécifiquement autour de StocaMine.

Globalement la nappe s'écoule vers l'Est-Nord-Est.

2.1.3.4. Conclusion

Le stockage souterrain bénéficie d'un contexte hydrogéologique très favorable puisqu'il se situe au cœur d'une série salifère imperméable qui l'isole des aquifères sus et sous-jacents.

¹⁶ : plus précisément de l'ouest-sud-ouest vers l'est-nord-est.

2.1.4. Nappe alluviale et réseau hydrographique

Le chapitre précédent s'intéressait au contexte hydrogéologique afin de préciser quels niveaux pouvaient être aquifères dans l'environnement souterrain.

Le présent chapitre s'attache à préciser la qualité et les objectifs de protection du compartiment superficiel constitué par la nappe alluviale de la plaine d'Alsace et le réseau hydrographique superficiel qu'elle alimente ou draine.

2.1.4.1. Contexte réglementaire

La protection des ressources en eaux et des milieux aquatiques est une préoccupation européenne, nationale et locale.

Qualité et quantité des eaux souterraines et des eaux de surface font l'objet de suivis et de comparaisons avec des valeurs guides et des grilles d'objectifs.

Nous rappelons ci-après les grands documents qui orientent à la fois la qualification des milieux et la politique de l'eau :

- DCE, Directive Cadre sur l'Eau (à l'échelon européen),
- SDAGE, Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (échelon du bassin, ici Rhin-Meuse)
- SAGE, Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (échelon local)
- Contrats de milieux

Ces différents documents sont récents, et tous postérieurs à la création de StocaMine.

a - LA DCE

La Directive cadre sur l'eau¹⁷ (DCE) a été adoptée par le parlement Européen le 23 octobre 2000 puis transposée en droit français par la loi 2004-338 du 21 avril 2004.

Le tableau 3, regroupe quelques éléments fondamentaux du texte et ses grands principes d'application qui seront repris dans le chapitre concernant les impacts du projet. On retiendra ici que :

- Les cours d'eau, plans d'eau, eaux souterraines, sont divisés en « masses d'eau », pour lesquels des objectifs de qualité et quantité sont à fixer, puis à respecter.
- Des objectifs de limitation d'introduction de substances polluantes sont également fixés.

- Des surveillances ou restrictions de rejet plus strictes sont instaurées au niveau de zones dites « protégées ».
- Chaque district hydrographique est doté d'un outil de planification qui décline localement les objectifs pour chaque masse d'eau : en France, le SDAGE.

b - LE SDAGE RHIN-MEUSE

La portée du SDAGE

Les SDAGE sont nés avec la loi sur l'eau de 1992, qui stipule qu'ils « fixent pour chaque bassin ou groupement de bassins les orientations fondamentales* d'une gestion équilibrée* de la ressource en eau ». Le concept de « gestion équilibrée de la ressource en eau » a été étendu par la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006 à celui de « gestion équilibrée et durable de la ressource en eau ».

La valeur juridique du SDAGE le place en dessous des lois et décrets et au dessus des décisions administratives dans le domaine de l'eau, des Schémas départementaux des carrières (SDC), des Schémas de cohérence territoriale (SCOT), des Plans locaux d'urbanisme (PLU) et des cartes communales.

Le SDAGE est le document de planification de la ressource en eau au sein du bassin. A ce titre, il a vocation à encadrer les choix de tous les acteurs du bassin dont les activités ou les aménagements ont un impact sur la ressource en eau.

Les orientations du SDAGE Rhin-Meuse

Le tableau 4 présente une synthèse des enjeux définis dans le SDAGE Rhin-Meuse et les orientations fondamentales qui y sont associées¹⁸

On notera ici spécialement que l'orientation T2-O1 précise que :

« Toute opération soumise à autorisation, au titre des Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et toute opération soumise à autorisation ou déclaration au titre de la Loi sur l'eau (opération nouvelle ou modification notable d'une installation existante) susceptible d'impacter l'état d'une masse d'eau devra tenir compte de l'impact du rejet par rapport aux objectifs fixés par le SDAGE au regard de l'ensemble des éléments de qualité définissant le bon état des masses d'eau au sens de la DCE et de ses annexes et tels que précisés, le cas échéant, dans les textes de transposition de cette directive et notamment les éléments de qualité biologique ».

¹⁷ Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000.

¹⁸ Les orientations fondamentales se déclinent en nombreuses sous-parties. Ne sont repris ici que les orientations de niveau 1.

Le texte et ses ambitions	La DCE a pour ambition d'établir un cadre unique et cohérent pour la politique et la gestion de l'eau en Europe.	Les ambitions affichées sont de : - prévenir la dégradation des milieux aquatiques, préserver ou améliorer leur état ; - promouvoir une utilisation durable de l'eau, fondée sur la protection à long terme des ressources en eau disponibles ; - supprimer ou réduire les rejets de substances toxiques dans les eaux de surface ; - réduire la pollution des eaux souterraines ; - contribuer à atténuer les effets des inondations et des sécheresses.
Les objectifs Ils se décomposent en trois catégories : - des objectifs à appliquer aux masses d'eau - des objectifs relatifs aux substances, - des objectifs relatifs aux zones protégées.	Pour les masses d'eaux souterraines, les objectifs concernent quantité et qualité. Pour les masses d'eau de surface, les objectifs sont qualitatifs au sens général.	Dans tous les cas : - aucune masse d'eau ne doit se dégrader, - au plus tard en 2015, toutes les masses d'eau naturelles doivent atteindre le bon état : - bon état écologique et bon état chimique pour les eaux de surface, - bon état quantitatif et bon état chimique pour les eaux souterraines, - toutes les masses d'eau fortement modifiées ou artificielles doivent atteindre le bon potentiel écologique et le bon état chimique ;
		Concernant les objectifs relatifs aux substances, il s'agit : - dans les eaux de surface, de réduire ou supprimer progressivement les rejets, les émissions et les pertes de 41 substances ou familles de substances toxiques prioritaires; - dans les eaux souterraines, de prévenir ou de limiter l'introduction de polluants et de mettre en œuvre les mesures nécessaires pour inverser toute tendance à la hausse, significative et durable, de la concentration de tout polluant résultant de l'activité humaine.
	Les zones protégées comprennent : - Les masses d'eau utilisées pour le captage d'eau destinée à la consommation humaine et fournissant en moyenne plus de 10 m3 d'eau par jour ou desservant plus de 50 personnes ainsi que celles destinées dans le futur à un tel usage ; - Les masses d'eau utilisées à des fins de loisirs aquatiques et notamment les masses d'eau désignées en tant qu'eaux de baignade (dans le cadre de la directive 76/160/CEE) ; - Les Zones « sensibles » (ZS) (au sens de la directive 91/271/CEE) concernant le traitement des Eaux résiduaires urbaines (ERU) ; - Les Zones « vulnérables » (ZV) au sens de la directive Nitrates (91/676/CEE) ; - Les zones de protection des habitats et des espèces en lien avec l'eau au sens des directives Habitats (92/43/CEE) et Oiseaux (79/409/CEE) dont les sites NATURA 2000 ; - Les zones de protection des espèces aquatiques importantes d'un point de vue économique au sens de la directive relative à la vie piscicole (directive Piscicole 78/659/CEE du 18 juillet 1978) ainsi que de la directive 91/492/CEE fixant les règles sanitaires régissant la production et la mise sur le marché de mollusques bivalves vivants.	Les objectifs relatifs aux zones protégées* dans le cadre des directives européennes : toutes les normes et tous les objectifs fixés doivent y être appliqués selon le calendrier propre à chaque directive ou par défaut, selon le calendrier de la DCE.
La mise en place de ces objectifs (lien avec le SDAGE)	Pour atteindre les objectifs environnementaux qu'elle impose, la DCE demande que chaque district hydrographique soit doté : - d'un Plan de gestion, qui fixe notamment le niveau des objectifs environnementaux à atteindre ; - d'un Programme de mesures, qui définit les actions à mettre en œuvre pour atteindre ces objectifs et doit donc rendre opérationnel le Plan de gestion ; - d'un Programme de surveillance qui, entre autres, doit permettre de contrôler si ces objectifs sont atteints.	Pour le Plan de gestion de ses districts hydrographiques, la France a choisi de conserver son outil de planification à l'échelle des bassins déjà existant, le SDAGE, et de l'adapter pour le rendre compatible avec le Plan de gestion qui doit être réalisé au titre de la DCE.

Tableau 3 : Éléments fondamentaux de la Directive Cadre sur l'Eau.

LES ORIENTATIONS FONDAMENTALES DU SDAGE RHIN-MEUSE			
Code	Enjeux	Code	Orientations fondamentales
T1	Améliorer la qualité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine et à la baignade.	T1 -O1	Assurer à la population, de façon continue, la distribution d'une eau potable de qualité.
		T1 -O2	Favoriser la baignade en toute sécurité sanitaire, notamment en fiabilisant prioritairement les sites de baignades aménagés et en encourageant leur fréquentation.
T2	Garantir la bonne qualité de toutes les eaux, tant superficielles que souterraines.	T2 - O1	Réduire les pollutions responsables de la non atteinte du bon état des eaux.
		T2 - O2	Connaître et réduire les émissions de substances toxiques.
		T2 - O3	Veiller à une bonne gestion des systèmes d'assainissement publics et des boues d'épuration
		T2 - O4	Réduire la pollution par les nitrates et les produits phytopharmaceutiques d'origine agricole.
		T2 - O5	Réduire la pollution par les produits phytopharmaceutiques d'origine non agricole.
		T2 – O6	Réduire la pollution de la ressource en eau afin d'assurer à la population la distribution d'une eau de qualité.
T3	Retrouver les équilibres écologiques fondamentaux des milieux aquatiques.	T3 O1	Appuyer la gestion des milieux aquatiques sur des connaissances solides, en particulier en ce qui concerne leurs fonctionnalités.
		T3 - O2	Organiser la gestion des cours d'eau et des plans d'eau et y mettre en place des actions respectueuses de ces milieux, et en particulier de leurs fonctions.
		T3 - O3	Restaurer ou sauvegarder les fonctions naturelles des milieux aquatiques, et notamment la fonction d'auto-épuration.
		T3 O4	Arrêter la dégradation des écosystèmes aquatiques.
		T3 O5	Améliorer la gestion piscicole.
		T3 O6	Renforcer l'information des acteurs locaux sur les fonctions des milieux aquatiques et les actions permettant de les optimiser.
		T3 O7	Préserver les zones humides.
		T3 O8	Respecter les bonnes pratiques en matière de gestion des milieux aquatiques.
T4	Encourager une utilisation raisonnable de la ressource en eau sur l'ensemble des bassins du Rhin et de la Meuse.	T4 - O1	Prévenir les situations de surexploitation et de déséquilibre quantitatif de la ressource en eau.
T5	Intégrer les principes de gestion équilibrée de la ressource en eau dans le développement et l'aménagement des territoires.	Partie 5A	Inondations
		T5A - O1	Mieux connaître les crues et leur impact ; informer le public pour apprendre à les accepter ; gérer les crues à l'échelle des districts du Rhin et de la Meuse.
		T5A - O2	Prendre en compte, de façon stricte, l'exposition aux risques d'inondations dans l'urbanisation des territoires à l'échelle des districts du Rhin et de la Meuse.
		T5A - O3	Prévenir l'exposition aux risques d'inondations à l'échelle des districts du Rhin et de la Meuse.
		Partie 5 B	Préservation des ressources naturelles
		T5B - O1	Dans des situations de déséquilibre quantitatif sur les ressources ou les rejets en eau, limiter l'impact des urbanisations nouvelles et des projets nouveaux.
		T5B - O2	Préserver de toute urbanisation les parties de territoire à fort intérêt naturel.
		Partie 5C	Alimentation en eau potable et assainissement des zones ouvertes à l'urbanisation
		T5C - O1	L'ouverture à l'urbanisation d'un nouveau secteur ne peut pas être envisagée si la collecte et le traitement des eaux usées qui en seraient issues ne peuvent pas être effectués dans des conditions conformes à la réglementation en vigueur et si l'urbanisation n'est pas accompagnée par la programmation des travaux et actions nécessaires à la réalisation ou à la mise en conformité des équipements de collecte et de traitement.
		T5C - O2	L'ouverture à l'urbanisation d'un nouveau secteur ne peut pas être envisagée si l'alimentation en eau potable de ce secteur ne peut pas être effectuée dans des conditions conformes à la réglementation en vigueur et si l'urbanisation n'est pas accompagnée par la programmation des travaux et actions nécessaires à la réalisation ou à la mise en conformité des équipements de distribution et de traitement.
T6	Développer, dans une démarche intégrée à l'échelle des bassins versants du Rhin et de la Meuse, une gestion de l'eau participative, solidaire et transfrontalière.	T6 - O1	Anticiper en mettant en place une gestion des eaux gouvernée par une vision à long terme, accordant une importance égale aux différents piliers du développement durable, à savoir les aspects économiques, environnementaux et socio-culturels.
		T6 - O2	Aborder la gestion des eaux à l'échelle de la totalité du district hydrographique, ce qui suppose notamment de développer les collaborations transfrontalières et, de manière générale, de renforcer tous les types de solidarité entre l'amont et l'aval.
		T6 - O3	Renforcer la participation du public et de l'ensemble des acteurs intéressés pour les questions liées à l'eau et prendre en compte leurs intérêts équitablement.
		T6 - O4	Mieux connaître, pour mieux gérer.

Tableau 4 : Les orientations fondamentales du SDAGE Rhin-Meuse

Le découpage en écorégions et districts

Le secteur couvert par le SDAGE Rhin-Meuse a été divisé en deux districts : à l'est le district du Rhin, à l'ouest celui de la Meuse. Chaque district est ensuite découpé en écorégions.

Le secteur d'étude se situe ainsi dans le district Rhin et au niveau de l'écorégion Alsace.

Le découpage en masses d'eau, les masses d'eau concernées

A l'aplomb du projet ou dans son environnement proche, les masses d'eau définies dans le SDAGE sont (tableau 5) :

- Eaux souterraines :
Masse d'eau N° 2001 : Pliocène d'Haguenau et nappe d'Alsace
- Eaux superficielles :
Dans un environnement très large autour du site d'étude, on recense les masses d'eau suivantes :
 - au sud :
 - La Doller (ici tronçon Doller 5, FRCR57) et son affluent le Steinbaechlein (FRCR62)
 - à l'est :
 - L'III (ici tronçon III 4, FRCR19)
 - au nord :
 - La Thur (Thur 4, FRCR69), le canal de Thann-Cernay (FRCR76) et la Vieille Thur (FRCR81)
 - Le Dorfbach (FRCR80).

Autour de StocaMine, les fossés s'écoulent en direction de l'est. Ils ne sont pas classés en masse d'eau mais rejoignent, environ 3,8 kilomètres en aval, le Dollerbaechleim (ou Dollerbaechlen) masse d'eau superficielle référencée FRCR64.

- Plans d'eau (ou lacs) :
Le premier plan d'eau classé masse d'eau est situé à 5 km au sud ouest, il s'agit du barrage de Michelbach, masse d'eau CL2.

Il n'y a pas de masse d'eau lac dans un environnement proche de StocaMine.

Comme la plupart du territoire du district Rhin, le secteur d'étude est classé en zone vulnérable à l'eutrophisation et aux nitrates.

Masses d'eau (SDAGE Rhin-Meuse)		
Type de masse d'eau	Nom	Code
Eaux souterraines	Pliocène d'Haguenau et nappe d'Alsace	N°2001
Eaux superficielles proches	Le Dollerbaechleim	FRCR64
Eaux superficielles éloignées	La Doller	FRCR57 (Doller 5) FRCR62 (affluent Steinbaechlein)
	L'III	FRCR19 (III 4)
	La Thur	FRCR69 (Thur 4) FRCR76 (canal de Thann-Cernay) FRCR81 (la Vieille Thur)
	Le Dorfbach	FRCR80
Lac	-	

Tableau 5 : Masses d'eau du SDAGE

Le registre des zones protégées

Type de masse d'eau appartenant aux zones protégées	Dans l'environnement proche du site	Éloigné
Masse d'eau avec captage AEP (>10m3/j ou > 50 pers.)	NON	Pour alimentation AEP future : nappe alluviale de la Doller (3,6 km au sud) AEP actuelle : eaux de surface, 10 km au nord (captage n°68002727) Eaux souterraines 3,6 km au nord (Wittelsheim), 3,6 km au sud (Reiningue) 7 km à l'est (Mulhouse)
Masse d'eau avec baignade	NON	Plan d'eau de Reiningue 1,5 km au sud
Protection habitats et espèces	NON	ZPS à plus de 25 km ZSC 5 km au sud FR4201810
ZS traitement des Eaux résiduaires urbaines	Dans le bassin Rhin-Meuse, l'arrêté ministériel du 23 novembre 1994 a classé la totalité du bassin en zone sensible à l'eutrophisation des cours d'eau et des fleuves.	
ZV Nitrates	563 communes du district du Rhin sont classées en ZV, soit l'ensemble des communes à l'aplomb de la nappe alluviale du Rhin	
Protection espèces aquatiques importantes d'un point de vue économique	Sans objet sur le territoire Rhin-Meuse	

C - LES SAGE

La portée des SAGE

Le schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) est un document de planification de la gestion de l'eau à l'échelle d'une unité hydrographique cohérente, plus réduite que le territoire couvert par le SDAGE (par exemple un bassin versant, un aquifère...).

Il fixe des **objectifs généraux d'utilisation, de mise en valeur, de protection quantitative et qualitative de la ressource en eau.**

Le SAGE constitue un instrument essentiel de la mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau (DCE). Le SAGE est constitué :

- d'un **plan d'aménagement et de gestion durable de la ressource en eau et des milieux aquatiques (PAGD)** (dans lequel sont définis les objectifs partagés par les acteurs locaux),
- d'un **règlement** fixant les règles permettant d'atteindre ces objectifs,
- d'un rapport environnemental.

Une fois approuvé¹⁹, le règlement et ses documents cartographiques sont opposables aux tiers : les décisions dans le domaine de l'eau doivent être compatibles ou rendues compatibles avec le PAGD. Les documents d'urbanisme doivent être compatibles avec les objectifs de protection définis par le SAGE, qui a une portée réglementaire.

Les SAGE locaux

De par sa position entre la Doller et la Thur et du fait du contexte hydrogéologique, la commune de Wittelsheim se trouve sur les territoires de deux SAGE :

- le SAGE Doller au sud (en cours d'élaboration),
- le SAGE III Nappe Rhin (pour la nappe alluviale).

Les SAGE orientent leurs actions en fonction des problématiques locales (cf. tableau 6).

N.B. : Un SAGE avait été élaboré pour la Thur en 2001. Le document n'a toutefois pas fait l'objet d'une révision pour mise en conformité avec la loi sur l'eau et le SDAGE. Il a donc été considéré comme caduque et n'est plus appliqué.

SAGE	Enjeux identifiés
SAGE Doller (en cours d'élaboration)	La Doller alimente pratiquement les 2/3 du département du Haut Rhin. La qualité de l'eau de cette rivière est donc un enjeu important pour l'alimentation en eau potable (AEP) du secteur mulhousien et autre.
SAGE III Nappe Rhin (consultation en cours du SAGE révisé, approbation envisagée pour fin 2013)	Préservation de la nappe phréatique rhénane Préservation des eaux superficielles Restauration des milieux aquatiques

Tableau 6 : SAGEs locaux

¹⁹ : Le SAGE est un document élaboré par les acteurs locaux (élus, usagers, associations, représentants de l'Etat...) réunis au sein de la **commission locale de l'eau (CLE)**. Il doit être compatible avec le SDAGE. Le projet de SAGE est soumis à enquête publique et approuvé par l'Etat qui veille à sa mise en œuvre à travers la police de l'eau.

2.1.4.2. Eaux souterraines : nappe alluviale, masse d'eau N° 2001 Pliocène d'Haguenau et nappe d'Alsace

Comme présenté dans le chapitre 1112 concernant l'hydrogéologie, le stockage de déchets est situé à 550 mètres de profondeur.

Les aquifères situés plus en profondeur sont isolés du stockage.

Les formations situées au-dessus du stockage ne renferment pas de réels aquifères, seules des venues d'eau de faibles débits peuvent être rencontrées. Il n'y a pas d'usage associé à ces niveaux.

Le seul niveau aquifère productif, exploité, et situé à l'aplomb du site, est la nappe alluviale d'Alsace.

a - USAGES DE LA NAPPE

Le recensement des usages de l'eau et des enjeux locaux autour du site d'étude a fait l'objet d'une enquête auprès de l'ARS Alsace (Agence Régionale de Santé), la DDT 68 (Direction Départementale des Territoires), la DREAL (directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement, regroupant les anciennes DRIRE et DIREN) et l'Agence de l'eau Rhin-Meuse (données 2010).

La nappe rhénane constitue une réserve d'eau considérable (environ 35 milliards de mètres-cubes). Facilement exploitable car située à faible profondeur, elle permet de couvrir une grande partie des besoins en **eau potable** régionaux. Elle alimente également l'**agriculture** et les **industries** fortes consommatrices d'eau.

Sur l'emprise du secteur ouest des mines de potasse, de nombreux **captages en cours d'exploitation et à usages variés** sont recensés. Ils sont présentés sur figure 19 : **aucune exploitation majeure n'est recensée dans l'environnement proche de StocaMine.**

Alimentation en eau potable (source ARS, DDT)

Les principaux captages d'alimentation en eau potable du secteur sont les suivants :

- Au sud, autour de la Doller :

Deux champs captant gérés par la Régie de Mulhouse ainsi que plusieurs forages à Reiningue et Morschwiller le bas. Ces ouvrages permettent la desserte de 9 communes (Mulhouse, Illzach, Sausheim, Riedisheim, Brundstatt, Didenheim, Morschwiller-le-Bas, Lutterbasch, Pfastatt).

- A l'est :

Le captage du Bois de Kingersheim, qui alimente partiellement le SIVU des communes du bassin potassique (Wittelsheim, Kingersheim, Wittenheim, Richwiller, Staffelfelden).

- Au nord :

Les captages de Wittelsheim Cité Gare, qui appartiennent à la SOGEST (Société de Gestion des Services publics et Privés de l'Est).

N.B. : Ces captages ont été considérés comme pollués en 2009 (pesticides), l'alimentation en eau potable de Wittelsheim et Staffelfelden s'est temporairement faite à partir des captages de la Hardt. Une nouvelle station de traitement a permis la ré-utilisation de ces captages en septembre 2011.

Les captages de Langenzug, actuellement perturbés par une pollution venant de la zone de Cernay.

Dans un périmètre plus éloigné, on recense également les captages de Cernay, Berrwiller, Ensisheim.

Usages industriels ou agricoles

De très nombreux puits ou forages ont exploité et exploitent encore la nappe alluviale pour des usages industriels ou agricoles.

Les mines de potasse étaient propriétaires de nombreux ouvrages qui ont été soit démantelés et rebouchés, soit cédés, par exemple à des exploitants agricoles à des fins d'irrigation.

Les captages destinés à l'irrigation sont essentiellement concentrés au nord d'un parallèle passant par la cité Amélie, ils sont donc éloignés d'environ 2 km de StocaMine.

Les captages industriels les plus proches sont :

- au sud-ouest, le captage du Golf des Bouleaux,
- à l'est les captages de deux entreprises (ABT, TSM : traitement de surface et mécanique).

Autres

De nombreuses maisons d'habitations possèdent un puits individuel. Ces puits, nombreux et non recensés, servent majoritairement à un usage d'irrigation des jardins. Ils sont peu profonds et ne concernent que les niveaux aquifères les plus superficiels.

FIGURE 19 : USAGES DE L'EAU DANS LA NAPPE D'ALSACE AUTOUR DU SITE



b - QUALITE DE L'EAU SOUTERRAINE

La nappe d'Alsace est vulnérable aux pollutions. Cette vulnérabilité résulte de différents facteurs :

- l'absence ou la discontinuité des couches protectrices de limon et d'argile,
- la faible profondeur de la nappe, facilement accessible par des puits ou des gravières,
- son alimentation par les rivières dont l'eau est de plus ou moins bonne qualité,
- le faible taux de renouvellement des eaux (renouvellement annuel de l'ordre de 3 milliards de mètres-cubes pour un volume de 35 Milliards de m³).

Qualité générale et objectif de qualité

La qualité des eaux de la nappe alluviale de la plaine d'Alsace fait l'objet d'un suivi régulier, de part et d'autre du Rhin.

La nappe présente en règle générale une eau de bonne qualité bactériologique, de minéralisation moyenne, à pH proche de la neutralité et d'une dureté moyenne.

Courant 2003, un inventaire transfrontalier a été réalisé à l'échelle de l'ensemble de la nappe en intégrant les données des réseaux de mesures existants (réalisation APRONA²⁰). L'exploitation de ces données a mis en évidence trois principales causes de déclassement de la qualité de l'eau :

- la contamination par les produits phytosanitaires et les nitrates d'origine agricole,
- la pollution par les chlorures liée aux terrils et aux rejets des mines de potasse
- la présence importante de solvants chlorés (OHV) au droit des agglomérations et des zones industrielles.

Nitrates et phytosanitaires

En 2009, la problématique nitrates et phytosanitaires a fait l'objet d'une nouvelle analyse à l'échelle de la plaine d'Alsace confirmant :

- de nombreux dépassements de la valeur « d'alerte » fixée à 40 mg/l (sur presque 18% des points du réseau de suivi),
- une contamination généralisée et diffuse par les produits phytosanitaires et plus particulièrement par les herbicides.

Chlorures

A Wittelsheim, et dans le bassin potassique, l'exploitation de la potasse, par l'intermédiaire des stériles qui ont été déposés sous forme de terrils en surface, a engendré une contamination par les chlorures (concentrations dépassant les critères de qualité de référence en aval des terrils MDPA) et une modification du faciès physico-chimique de l'eau (pH, minéralisation, faible dureté).

La dissolution du sel des terrils par la pluie et son infiltration dans la nappe ont principalement engendré deux panaches d'eaux souterraines salées de plus de 20 km de longueur, connus sous les noms de « langues salées » (figure 20) :

- la langue salée est, issue du terril de l'Ochsenfeld²¹ (secteur de Thann) puis passant principalement par les terrils Joseph-Else, Amélie, Anna et Fernand ;

Celle-ci montre une première direction d'écoulement orientée ouest-est dans sa partie amont : ce n'est qu'à partir de Mulhouse qu'elle se dirige vers le nord-nord-est, c'est-à-dire dans le sens d'écoulement régional de la nappe d'Alsace

- la langue salée ouest, issue des terrils Marie-Louise, Alex et Rodolphe ;

Cette deuxième langue est plus courte et ne comprend pas de partie en amont des terrils des MDPA : elle s'écoule directement vers le nord-nord-est, soit parallèlement à la partie aval de la langue est.

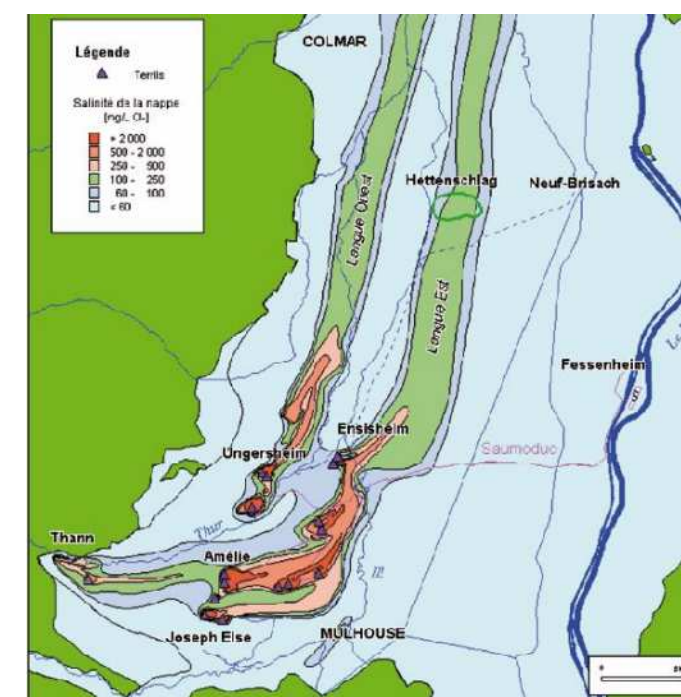


Figure 20 : Carte de la salure de la nappe en 2005 [42]

²¹ : Le site d'Ochsenfeld (actuellement propriété de Millenium Chemicals : producteur de dioxyde de titane), possède un terril créé en 1930 dans lequel ont été stockés divers produits chimiques qui ont généré une importante pollution de la nappe d'Alsace (ce site est actuellement confiné).

²⁰ : Association pour la Protection de la Nappe phréatique de la plaine d'Alsace.

En aval immédiat des terrils, les taux de chlorures peuvent atteindre plus de 2 000 mg/l (jusqu'à 20 000 mg/l).

Cette pollution est en voie de résorption : les MDP ont en effet travaillé depuis une dizaine d'années sur un programme de désalinisation de la nappe en aval des terrils. Ces activités sont, depuis le transfert à l'Etat des installations de dépollution réalisé en septembre 2011, gérées par le BRGM. Les anciens terrils ont été traités de deux manières pour limiter ce problème :

- par étanchement-végétalisation (mise en place d'une couverture étanche évitant les infiltrations à travers les matériaux salés),
- par dissolution (dissolution volontaire et contrôlée du terril, les eaux salées produites étant captées en surface dans un réseau étanche et en profondeur par des puits de pompage, puis rejetées dans le Rhin conformément aux dispositions internationales).

Objectif de qualité

Le SAGE III Nappe Rhin est aujourd'hui en révision. On retiendra que le précédent document fixait pour objectif qu'à l'échéance 2025 l'alimentation en eau potable se fasse sans traitement.

Le SDAGE Rhin-Meuse (2010-2015) fixe l'objectif d'un bon état global à l'échéance 2027 (et non 2015) pour la masse d'eau qui nous concerne n°2001. Le report de date est justifié par la problématique nitrates et produits phytopharmaceutiques.

Qualité de la nappe dans le secteur de StocaMine

Globalement dans la commune de Wittelsheim, l'eau de la nappe alluviale est plutôt douce (TH <20 °F), la teneur en chlorures sur les captages AEP (hors influence terril) est <50 mg/l, on note une teneur en nitrates généralement inférieure à 40 mg/l mais pouvant occasionnellement dépasser la norme de potabilité (50 mg/l).

Au nord du bassin minier, les teneurs en nitrates et la qualité bactériologique de l'eau sont du même ordre de grandeur, mais la dureté de l'eau devient beaucoup plus élevée (>40 °F), en raison de la présence d'eau chlorurée, calcique et bicarbonatée dont l'origine reste à déterminer²² mais qui ne peut pas provenir des terrils (dont les eaux sont chlorurées et sodiques).

Des données sur la qualité de l'eau de la nappe alluviale sont disponibles avec le SIERM (Système d'Information sur l'Eau Rhin Meuse). On peut ainsi signaler de manière non exhaustive les suivis réalisés à Cernay (code BSS 04124X0059), Pulversheim (code BSS 04131X0138), Wittelsheim (codes BSS 04131X0173 et 04131X0174), Reiningue (codes BSS 04135X0060 et 04135X0063). Les qualités moyennes observées entre 2006 et 2010 sont récapitulées dans le tableau suivant (tableau 7)

²² : Il existe des possibilités de salure naturelle de la nappe par remontée de saumures profondes le long de failles ou par dissolution de diapirs. Cela pourrait notamment être le cas entre Raedersheim et Ungersheim.

On constate que :

- la concentration en chlorures atteint 1000 mg/l à Pulversheim alors qu'elle est comprise entre 20 et 85 mg/l sur les autres points, ce qui est attribuable à une langue salée,
- les secteurs de Cernay et Wittelsheim sont touchés par une pollution par les nitrates qui s'accompagne d'une pollution par les pesticides à Wittelsheim,
- par contre le secteur est globalement épargné par la pollution au trichloroéthylène et tétrachloroéthène légèrement présente à Cernay,
- à Wittelsheim, le mercure est absent mais l'arsenic, le cadmium et le plomb sont détectés (respectivement < 0,8 µg/l, < 0,1 µg/l et < 0,6 µg/l).

Paramètre	unité	Alluvions de la plaine d'Alsace à Cernay (04124X0059)		Alluvions de la plaine d'Alsace à Pulversheim (04131X0138)		Alluvions quat. de la plaine d'Alsace à Wittelsheim (04131X0173)		Alluvions quat. de la plaine d'Alsace à Wittelsheim (04131X0174)		Alluvions de la plaine d'Alsace à Reiningue (04135X0060=0335)		Alluvions de la plaine d'Alsace à Reiningue (04135X0063)	
		2006-2010	2011	2006-2010	2011	2006-2010	2011	2006-2010	2011	2006-2010	2011	2006-2010	2011
Chlorures	mg/l	84,6	80,2	1012	1036,5	75,13	75,67	62,25	70,33	19,7	19	35,15	42
Sulfates	mg/l	42,17	43,19	51,7	59,9	41,2	41,87	41,14	40,57	16	16,63	16,74	14,15
NO3	mg/l	36,4	36,45	7,1	21,53	48,68	47,77	47,54	45,77	21,89	20,17	15,6	20,7
NH4	mg/l	0,02	< 0,03	0,03	0,03	0,02	< 0,03	0,02	< 0,03	0,02	< 0,03	< 0,03	< 0,03
As	µg/l	1,16	1,1	6,75	1,53	0,76	< 1	0,7	1,17	0,54	< 1	< 1	< 1
Pb	µg/l	< 0,64	< 0,4	4,62	1,63	0,57	< 0,4	0,41	1,5	< 0,4	< 0,4	< 0,64	< 0,4
Cd	µg/l	< 0,13	< 0,08	0,15	0,12	0,05	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,13	< 0,08
Hg	µg/l	< 0,13	n.m.	< 0,2	n.m.	< 0,05	n.m.	< 0,05	n.m.	< 0,05	n.m.	< 0,13	n.m.
Somme des pesticides	µg/l	0,06	n.m.	0,05	0,15	0,4	0,49	0,23	1,66	0,004	n.m.	0,04	0,02
Trichloroéthylène	µg/l	0,81	0,45	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	n.m.	< 0,2	< 0,2
Tétrachloroéthène	µg/l	3,98	2,23	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	n.m.	< 0,16	< 0,2

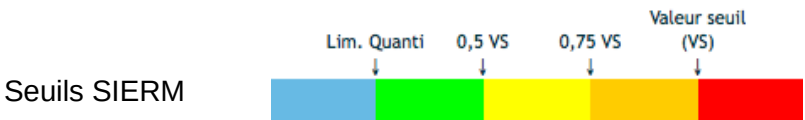
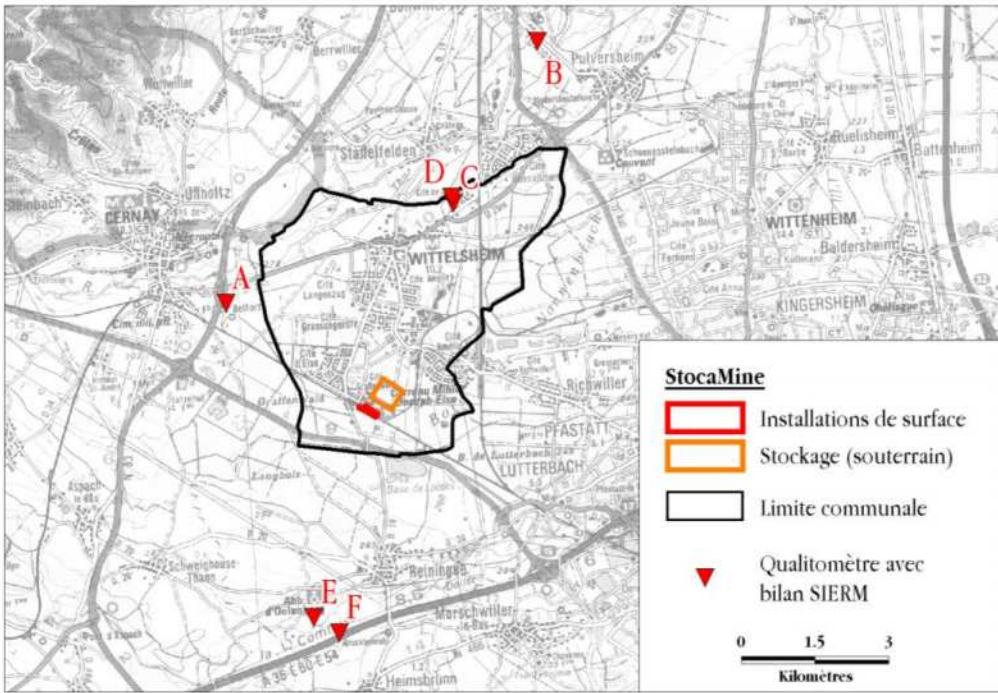


Tableau 7 : Données SIERM sur la nappe alluviale

Suivi réalisé par StocaMine

La qualité de la nappe phréatique autour des installations de surface de StocaMine fait l'objet d'un suivi régulier conformément à son obligation réglementaire.

Le site de StocaMine a été équipé en octobre 1998 de trois piézomètres pour permettre le suivi de la qualité de la nappe alluviale (cf. figure 21) :

- **Pz am (ou Pz 3 ou piézomètre 3 amont)** : piézomètre en amont hydraulique,
- **Pz1 av (ou piézomètre 1 aval)** : piézomètre en aval hydraulique, près de la zone de pesée,
- **Pz2 av (ou piézomètre 2 aval)** : piézomètre en aval hydraulique, à l'entrée du site.

Un autre piézomètre **Pz bas** existe également sur le site : il n'a pour vocation que la mesure en continu du niveau piézométrique à l'amont immédiat du bassin de rétention (non utilisé dans le cadre du suivi de la qualité).

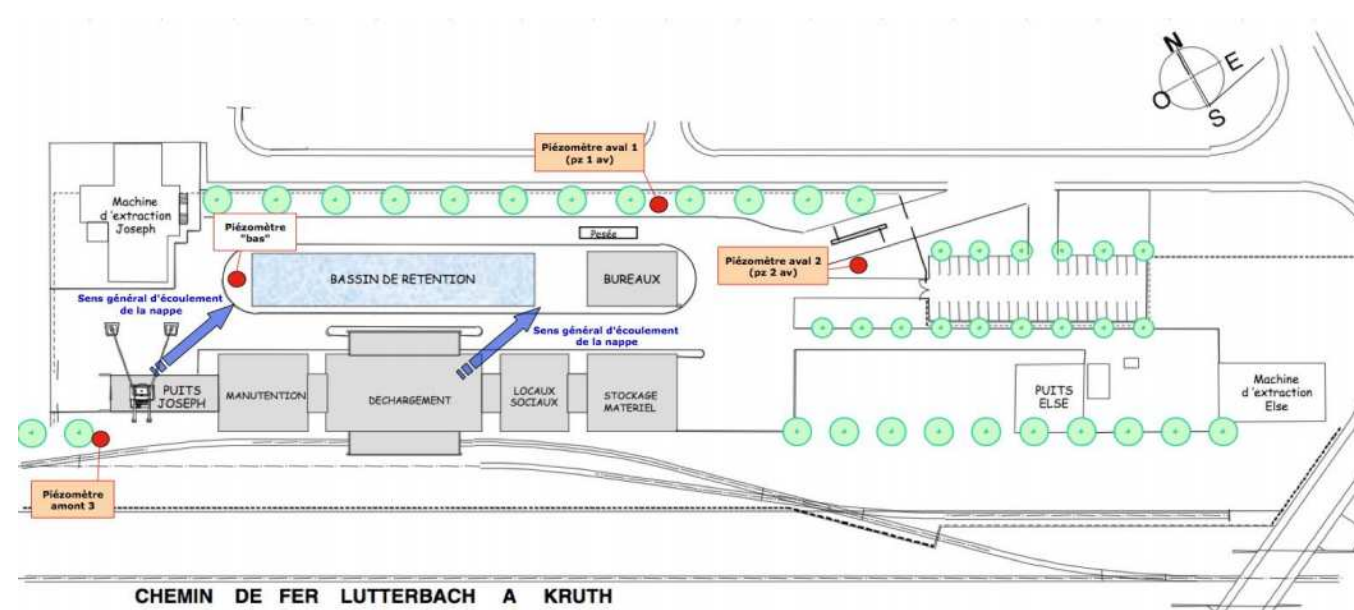


Figure 21 : Localisation des piézomètres existants sur le site de StocaMine

Afin d'établir un état initial du site avant exploitation, des prélèvements ont été réalisés en 1998 (bureau d'études Gemmes) dans les trois piézomètres du site²³.

Depuis le début de l'exploitation en 1999, des analyses sont réalisées chaque année conformément au planning de suivi initial de StocaMine.

Concernant les paramètres de suivi :

- en 1998, ont été analysés : hydrocarbures totaux, cyanures libres, fluorures, arsenic, cadmium, chrome, chrome VI, cuivre, mercure, nickel, plomb, et zinc.
- les campagnes suivantes ont intégré en plus les paramètres conductivité, fer, étain, pH et aluminium.

Les résultats bruts de 1998 à 2010 sont fournis dans le tableau 8.

Pour la qualité de la nappe à l'aplomb du site, on retiendra les principaux résultats suivants :

- Dans les piézomètres 2 et 3, l'eau est légèrement acide (pH compris entre 5,8 et 6,7) et la minéralisation est moyenne avec une conductivité de l'ordre de 300-400 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Dans le piézomètre 1, la conductivité est systématiquement plus élevée, et ce dès 1999, et atteint occasionnellement des valeurs très élevées (1000 à 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), apparemment de manière saisonnière (analyses des mois de février à avril). Le pH est également un peu plus élevé : 6,1 à 7 ainsi que la teneur en fluorures qui est 1,5 fois plus élevée que celle du piézomètre amont. Ces trois paramètres sont à attribuer à l'activité d'extraction de la potasse qui a précédé l'activité de stockage sur le site d'étude ou au salage saisonnier des voiries et parkings sur le site et dans son environnement.
- Les substances analysées sont, la plupart du temps et pour les trois piézomètres suivis, en dessous des seuils de détection des méthodes analytiques mises en œuvre. Des éléments traces métalliques ont été détectés mais en dessous des critères de qualité réglementaires et en restant dans les mêmes gammes de valeurs que les suivis plus éloignés du site (tableau 7).

Pour les paramètres analysés (hydrocarbures, cyanures et métaux), on n'a pas mis en évidence de pollution de la nappe aux alentours de StocaMine (on remarquera cependant que les seuils de détection analytiques sont plus élevés ici que dans le suivi régional de la nappe).

Une influence saline (conductivité élevée) est par contre observée sur le piézomètre 1 : celle-ci est apparemment saisonnière et attribuable au salage des voiries.

²³ : ainsi que dans 8 piézomètres situés en aval du site, ouvrages qui étaient alors utilisés pour le suivi des terrils salés des MDPA.

Piézomètre 1 aval	Unités	1998	25 Juin 1999	3 Déc. 1999	20 Juil. 2000	5 Mars 2001	30 Oct. 2001	4 Avr. 2002	3 Oct. 2002	17 Fév. 2003	1 Oct. 2003	10 Mars 2004	14 Oct. 2004	10 Mars 2005	21 Oct. 2005	27 Avr. 2006	9 Oct. 2006	3 Avr. 2007	23 Oct. 2007	14 Avr. 2008	7 Oct. 2008	16 Avr. 2009	14 Oct. 2009	28 Avr. 2010	Oct. 2010	Av. 2011	Oct. 2011	Avr. 2012	Oct. 2012
pH			6,58	6,6	6,2	6,6	6,1	6,45	6,5	5,95	6,4	6,5	6,2	6,4	6,5	6,45	7	6,7	6,5	6,8	6,6	6,65	6,6	6,6	6,5	6,5	6,45	6,1	6,5
Conductivité	µS/cm		660	697	335	550	630	601	412	2718	398	636	895	1483	535	3810	810	985	790	860	760	1125	495	860	675	490	540	3840	1855
Aluminium	mg/L		1,8	1,4	2,3	0,004	0,0084	0,0093	0,056	<0,020	0,019	<0,010	<0,010	<0,010	0,036	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,016	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	0,055	<0,005
Arsenic	µg/L	<60	<5	<5	<3	<3	<3	<3	3,1	<3	3	<3	<3	<3	<3	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	>10
Cadmium	µg/L	<5	<0,5	<0,5	<0,02	<0,25	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Chrome	µg/L	<30	<2	<2	<0,06	0,58	0,5	<0,5	0,72	<0,5	0,59	0,5	<0,5	<0,5	0,56	<5	<5	<2	<2	<2	<2	5	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Chrome VI	mg/L	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	
Cuivre	µg/L	<10	<2	<2	<0,03	<1	<1	3,8	5,6	1,3	<1	<1	<1	<1	<1	<5	<5	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	3
Cyanures libres	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Etain	µg/L		<10	<10	<10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<20	<20	<20	21	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Fer	mg/L		0,22	0,56	1,64	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,06	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,037	0,018	0,013	<0,01	0,006	<0,002	0,003	0,008	0,004
Fluorures	mg/L	0,17	0,16	0,19	0,14	0,12	0,11	0,14	0,17	<0,1	0,15	0,12	0,11	0,11	0,16	<0,1	0,35	0,16	0,2	0,21	0,18	0,21	0,28	0,2	0,17	0,15	0,19	0,04	0,19
Hydrocarbures totaux	mg/kg	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	0,22	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Mercure	µg/L	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,7	<0,5	<0,5	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Nickel	µg/L	<20	<5	<5	<0,1	<2	<2	<2	<2	6	<2	<2	<2	2,9	<2	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<2	<2	<2	3	<2	
Plomb	µg/L	<50	<2	<2	5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<10	<10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Zinc	mg/L	0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,011	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,012	<0,01	<0,01	0,028	0,016	0,007	0,007	0,009	
Piézomètre 2 aval	Unités																												
pH			6,33	6,12	6,2	6,6	6	6,2	6,2	6,2	6	6,2	6	6,1	6,15	6,35	6,65	6,15	6,15	6,2	5,3	6,1	5,95	6,2	6,1	6,15	6,1	6,05	6,05
Conductivité	µS/cm		424	398	431	457	316	304	342	296	336	346	363	435	403	410	685	335	380	590	330	285	305	265	345	275	310	320	430
Aluminium	mg/L		5,7	1,6	2	0,016	0,0094	0,0067	0,059	<0,02	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,015	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,005	<0,005	0,015	<0,005	
Arsenic	µg/L	<60	5	<5	3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cadmium	µg/L	<5	<0,5	<0,5	<0,02	<0,25	<0,2	0,45	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Chrome	µg/L	<30	4	<2	<0,06	<0,5	<0,5	<0,5	0,52	<0,5	0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<5	<2	<2	5	<2	5	3	<2	25	<2	<2	<2	<2
Chrome VI	mg/L	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	
Cuivre	µg/L		<2	<2	<0,03	<1	<1	3,3	19	<1	1,3	<1	<1	<1	<1	<5	<5	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2
Cyanures libres	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Etain	µg/L		<10	<10	<10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<20	<20	<20	16	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Fer	mg/L		0,81	0,55	1,51	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,07	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,019	<0,01	<0,01	<0,01	0,003	<0,002	0,002	0,004	0,003
Fluorures	mg/L	0,15	0,16	0,19	0,18	0,13	<0,1	<0,1	0,11	0,11	<0,1	<0,1	0,11	<0,1	0,11	0,16	0,14	0,1	0,11	0,1	0,1	<0,1	0,12	<0,1	0,09	0,11	0,10	0,12	
Hydrocarbures totaux	mg/kg	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	0,34	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Mercure	µg/L	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,8	<0,5	<0,5	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Nickel	µg/L	<20	<5	<5	<0,1	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	29	<2	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Plomb	µg/L	<50	3	<2	6	<2,5	<2,5	5,9	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<0,1	<0,1	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Zinc	mg/L	0,02	0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,028	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,015	0,014	<0,01	0,031	0,018	0,016	<0,005	0,011	
Piézomètre 3 amont	Unités																												
pH			5,97	6	5,8	5,9	5,8	5,9	6,1	5,9	5,9	5,9	5,8	6	5,85	6,05	6,1	6,1	5,95	6	5,8	6,25	6	6	6,2	5,95	6,00	6,00	6,00
Conductivité	µS/cm		317	283	270	263	241	274	254	280	236	267	288	358	284	285	350	320	325	300	300	325	265	590	325	500	300	370	300
Aluminium	mg/L		2,4	2	2,3	0,0083	0,022	<0,004	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,014	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,006	<0,005	<0,005	0,009	<0,005	
Arsenic	µg/L	<60	<5	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cadmium	µg/L	<5	<0,5	<0,5	<0,02	<0,25	<0,2	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5	0,7	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Chrome	µg/L	<30	<2	<2	<0,06	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<5	<2	<2	<2	<2	7	<2	<2	<5	<10	<10	<10	<10
Chrome VI	mg/L	<0,02	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	
Cuivre	µg/L	<10	<2	2,4	<0,03	<1	<1	4,3	7,2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<5	<5	<2	<2	<2	<								

2.1.4.3. Eaux de surface

a - HYDROGRAPHIE

Contexte

La plaine du Rhin est parcourue par des affluents qui ont pris naissance dans le massif des Vosges. Ces ruisseaux ou rivières sont légèrement perchés par rapport à la nappe alluviale et s'écoulent globalement de l'ouest vers le nord-est en direction du Rhin.

Le secteur des mines de potasse est concerné par deux bassins versants principaux :

- au sud, celui du Dollerbaechlein,
- au nord, celui de la Thur (et son ancien lit la Vieille Thur).

Les deux cours d'eau se jettent dans l'III, à l'est.

Les principales caractéristiques de ces cours d'eau sont les suivants (cf figure 22) :

	Le Dollerbaechlein	La Thur	L'III
Masse d'eau	FRCR64 (Dollerbaechlein)	FRCR69 (Thur 4) FRCR76 (canal de Thann-Cernay) FRCR81 (la Vieille Thur)	FRCR19 (III 4)
Source	Plaine d'Alsace	Au pied du Rainkopf	Dans le Jura alsacien
Longueur	environ 15 km	54 km	217 km
Superficie du bassin versant	environ 200 km ²	environ 260 km ²	à Ensisheim : environ 1000 km ²
Débits moyens annuels (Source DIREN Alsace)	4,22 m ³ /s à Reiningue	6,11 m ³ /s à Pulversheim (confluence)	10 m ³ /s à Ensisheim
Remarque	En amont de Mulhouse, la Doller alimente par prise d'eau le Dollerbaechlein.	La confluence avec l'III se fait à Ensisheim. En aval de Cernay, la Thur alimente partiellement un ancien bras, nommé la Vieille Thur. Ce ruisseau parcourt une quarantaine de kilomètres en parallèle de l'III ; il se jette dans la Lauch en amont de Colmar.	Au niveau de Mulhouse, le canal de décharge de l'III constitue en fait le véritable écoulement de l'III

Plus précisément, les installations de StocaMine sont localisées à 3 km au sud de la Thur. Il se situe dans le **bassin versant de l'Hagelbach, qui devient Dollerbaechlein en aval et constitue un ancien bras de la Doller.**

Divers écoulements naturels ou artificiels (biefs, canaux), plus ou moins temporaires, existent également dans le secteur.

On recense aussi de nombreux **plans d'eau**, issus pour la plupart d'anciens sites d'extraction de matériaux (gravières) et qui constituent des points d'affleurement de la nappe alluviale.

Le secteur est également favorable au développement de nombreuses **zones humides et marais**, notamment dans les secteurs boisés (voir partie environnement naturel).

Hydrologie locale

A proximité des installations de StocaMine, les principaux éléments hydrographiques sont :

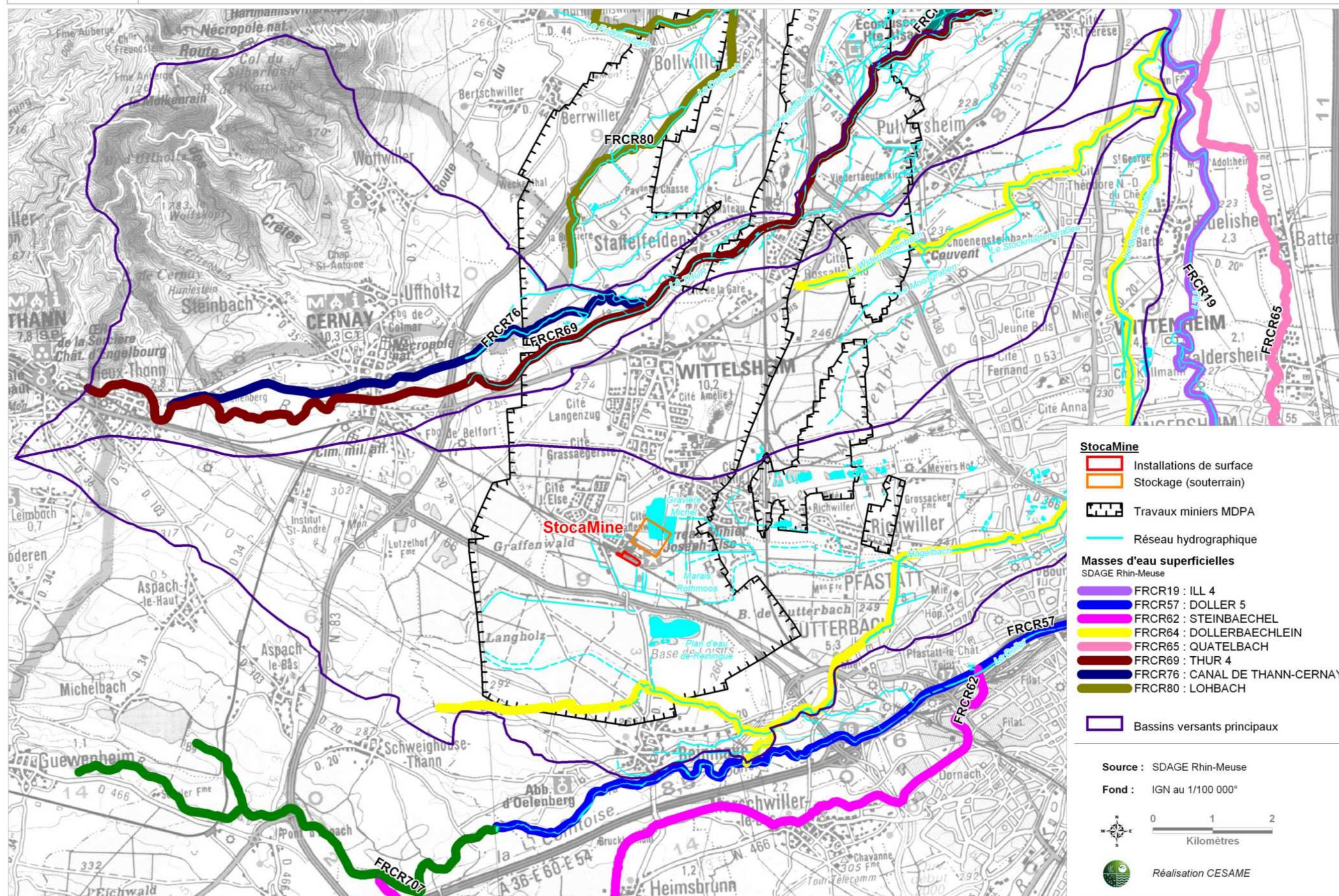
- les deux plans d'eau de la **gravière Michel, au nord-est** ;
ces plans d'eau sont des dépressions créées par l'exploitation des matériaux alluviaux ; ils constituent des fenêtres sur la nappe alluviale ; leurs trop-pleins s'écoulent par de petits chenaux vers l'est.
- le **marais de Rothmoos**, à l'est du terri Else ;
il est répertorié en Réserve Naturelle Volontaire Agréée (voir partie milieu naturel),
- le cours d'eau traversant la forêt de Lutterbach ;
il rejoint le Hagelbach et n'est pas considéré comme une masse d'eau superficielle.

Le secteur étant peu penté, et les fossés et drains relativement nombreux, les sens d'écoulement sont parfois localement difficiles à définir. Toutefois, globalement tout s'écoule en direction de l'est.

Ainsi, le marais de Rothmoos est en partie alimenté par les eaux de surface de la zone industrielle Secoia (où se trouvent les bâtiments de StocaMine). Des fossés d'infiltration récupèrent les eaux des parcelles privatives (eaux de toitures et eaux pré-traitées des parkings) et les réseaux eaux pluviales collectent les eaux de ruissellement des voies et parkings publics. Ces réseaux s'évacuent vers le marais de Rothmoos après pré-traitement (décanteur, séparateur à hydrocarbures).

Le plan d'eau de Reiningue (loisir), situé à environ 1 km au sud des bâtiments de StocaMine, n'a pas de lien direct avec ce secteur (autre bassin versant topographique).

FIGURE 22 : CONTEXTE HYDROLOGIQUE, MASSES D'EAU SUPERFICIELLES



b - QUALITE DES COURS D'EAU ET OBJECTIFS

Cours d'eau principaux

État écologique et chimique :

Dans le cadre des études préalables à la définition des objectifs de chaque masse d'eau, un état des lieux a été dressé pour l'Agence de l'Eau.

Ce bilan conclut, pour les cours d'eau les plus proches de StocaMine, que (cf. tableau 9) :

- l'état écologique du Dollerbaechlein est moyen et l'état chimique est inférieur au bon état,
- l'état écologique de la Thur est **mauvais** (pour le tronçon 4) et l'état chimique est inférieur au bon état,
- l'état écologique de l'III (tronçon 4) est **mauvais** mais son état chimique est bon.

Masse d'eau	Dollerbaechlein (FRCR64)		Thur 4 (FRCR69)			III 4 (FRCR19)	
Code couleur masse d'eau figure 22							
Caractérisation de l'état initial (2007)	Etat	Indice de confiance	Etat	Indice de confiance	Cause	Etat	Indice de confiance
Etat écologique	moyen	faible	mauvais	faible		mauvais	faible
QE1-1 Phytoplancton	Inconnu		Inconnu			Inconnu	
QE1-2 Flore aquatique (autre que le phytoplancton)	Inconnu		médiocre			moyen	
QE1-3 Invertébrés	Inconnu		très bon			Inconnu	
QE1-4 Poissons	Inconnu		moyen			bon	
QE2 Hydromorphologie	moyen à mauvais		bon ou inférieur			bon ou inférieur	
QE3-1 Eléments généraux de qualité physico-chimique	bon		bon			bon	
QE3-3 Substances spécifiques non prioritaires	Inconnu		bon			bon	
Etat chimique	inférieur au bon état	faible	inférieur au bon état		Etat dégradé cause du déclassement : Ethyl hexyl phtalate	bon	haut
Objectifs de qualité pour la masse d'eau							
Objectif d'état écologique :	Bon état 2015		Bon potentiel 2021			Bon potentiel 2015	
Objectif d'état chimique :	Bon état 2027		Bon état 2015			Bon état 2015	

Tableau 9 : Synthèse des masses d'eau superficielles (source : SIERM²⁴)

Du fait des dégradations écologiques actuelles, l'objectif d'un état global de bonne qualité dans certains cours d'eau est reporté à une date plus tardive, plus précisément :

- pour le Dollerbaechlein : bon potentiel écologique attendu en 2015 et bon état chimique en 2027,
- pour Thur : bon potentiel écologique attendu en 2021 et bon état chimique en 2015,
- pour l'III : bon potentiel écologique est attendu en 2015 et bon état chimique en 2015.

Dans le bilan réalisé par l'Agence de l'Eau, les cours d'eau proches présentaient une qualité globale altérée. L'objectif est d'atteindre un bon état global entre 2015 et 2027 selon les cours d'eau.

Potentialités piscicoles – réservoirs biologiques et protection des poissons migrateurs :

Le Dollerbaechlein et la Thur sont en première catégorie piscicole.

L'III est en deuxième catégorie piscicole. L'III est considéré comme axe migrateur prioritaire saumon et anguille (échéance 2015).

Des enjeux piscicoles forts sont recensés sur l'III, cours d'eau toutefois relativement éloigné du site d'étude.

En aval immédiat du site

Dans le cadre de l'étude de définition de l'état initial du site StocaMine (Polden, 1998), des prélèvements d'eau et de sédiments avaient été réalisés sur deux des petits ruisseaux situés à l'est du teril est. Les points de prélèvements sont localisés sur la figure 23.

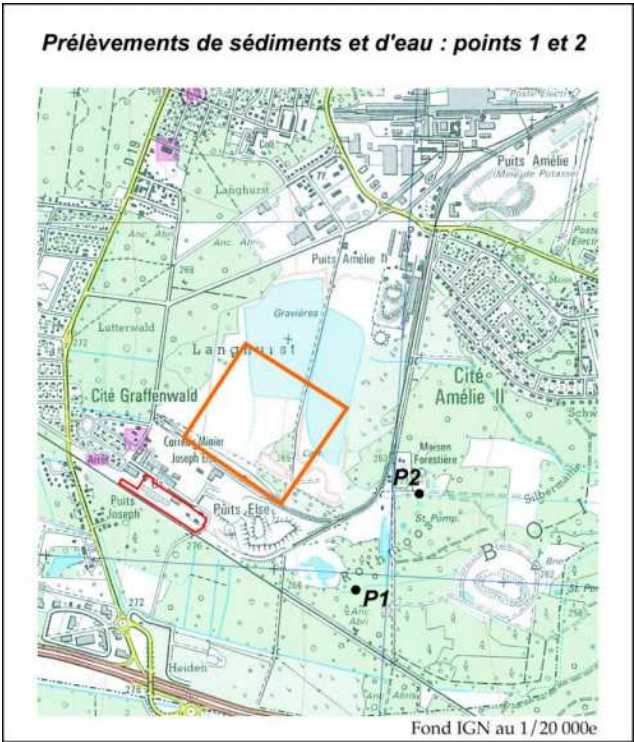


Figure 23 : Localisation des points de prélèvements

²⁴ : Système d'Information sur l'Eau Rhin Meuse.

Le tableau 10 présente les résultats des analyses réalisées sur ces ruisseaux.

En mg/l pour l'eau et mg/kg MS pour les sédiments	Eau		Sédiment	
	Point 1	Point 2	Point 1	Point 2
Hydrocarbures totaux	< 0,20	< 0,20	< 25	1043
Cyanures libres	< 0,05	< 0,05	< 4	< 4
Fluorures	< 0,5	< 0,5	18,3	17,4
Arsenic	< 0,001	0,044	12,45	19,74
Cadmium	0,004	< 0,001	< 0,10	0,406
Chrome	< 0,005	< 0,005	36,3	53,56
Cuivre	< 0,002	< 0,002	43,27	115,24
Mercur	< 0,0001	< 0,0001	< 1	3,79
Nickel	0,006	< 0,004	20,2	36,21
Plomb	0,031	< 0,009	28,71	162,3
Zinc	0,024	0,014	81,32	522,72

Qualité des eaux
très bonne
bonne
moyenne
mauvaise
très mauvaise

Tableau 10 : Résultat des analyses eau et sédiments de l'état initial 1998.

Les concentrations sont corrélées avec la grille de qualité du Seq-Eau version 2.

En 1998, aucune pollution particulière de l'eau n'avait été constatée sur ces deux petits ruisseaux, pour les paramètres suivants : hydrocarbures totaux, fluorures, cyanures libres, chrome, cuivre, mercure (concentrations inférieures aux seuils de détection).

En revanche, la présence d'arsenic et de zinc avait été observée dans le ruisseau 2 (teneur faible pour le zinc 0,014 mg/l, plus élevée pour l'arsenic 0,044 mg/l).

Dans le ruisseau 1 c'est la présence de cadmium, nickel, plomb et zinc qui avait été détectée, les concentrations étant relativement élevées hormis pour le nickel.

En ce qui concerne les sédiments, le ruisseau 2 présentait des concentrations relativement élevées pour l'ensemble des éléments recherchés : les écarts avec le ruisseau 1 pouvant aller de quelques milligrammes par kilo de Matière Sèche à des facteurs multiplicatifs importants : 6 pour le zinc ou le plomb.

La qualité des eaux et des sédiments était plutôt mauvaise **au regard des paramètres analysés** : les substances mesurées provenant probablement de l'activité industrielle historique locale.

Depuis l'arrêt d'activité de stockage, ces eaux n'ont plus été analysées. Aucune pollution de la nappe en aval des installations de StocaMine n'a cependant été observée durant la phase d'activité du site. On peut donc raisonnablement supposer que l'activité de StocaMine n'a pas eu d'influence sur la qualité de ces petits ruisseaux qui sont probablement en grande partie alimentés par la fonction de drainage qu'ils assurent par rapport à la nappe alluviale.

2.1.5. L'air

En Alsace, le réseau de mesure de polluants atmosphériques est géré et exploité par l'ASPA, Association pour la Surveillance et l'étude de la Pollution atmosphérique en Alsace. Huit stations de mesure sont implantées dans le périmètre de Mulhouse. Aucune ne concerne directement la commune de Wittelsheim.

A Mulhouse, la qualité de l'air peut-être qualifiée de bonne pour la plupart des polluants mesurés (source ASPA).

2.1.5.1. Rejets atmosphériques du stockage et de la mine

Dans les mines en activité, l'atmosphère est maintenue à un niveau de qualité satisfaisant par une **ventilation de l'ensemble des galeries accessibles au personnel**.

Au niveau du site de stockage des déchets et de la mine Amélie, l'aérage est assuré par un système de ventilation aspirant installé au niveau du puits de retour d'air : le puits Else. Ce puits assure le retour d'air aussi bien du stockage que des galeries de mine des MDPA (voir description partie aérage dans la présentation générale). L'entrée d'air est assurée par le puits Joseph.

Depuis la mise en place du stockage, l'installation de ventilation a évolué de la façon suivante :

- avant l'incendie, le débit de sortie d'air était d'environ 200 m³/s, dont 60 m³/s environ affectés au stockage,
- après l'incendie, ce débit de sortie variait entre 120 m³/s et 90 m³/s,
- depuis la fermeture des puits Amélie le débit d'air est d'environ 100 m³/s.

Par rapport à l'atmosphère extérieure, la température dans la mine est plus élevée (transferts thermiques du fond) et l'humidité plus faible (30 à 40 % en moyenne).

Les rejets susceptibles d'être générés en sortie du puits Else peuvent être décomposés comme suit :

- Rejets gazeux issus de la mine :

Les rejets gazeux liés à l'activité de la mine proviennent de différentes sources.

Ce sont des **gaz d'échappement des engins miniers** : sur les véhicules miniers, les gaz d'échappement sont traités par barbotage selon les dispositions conformes aux normes usuelles découlant de l'application du Règlement Général des Industries Extractives. Actuellement, l'activité des MDPA et de StocaMine est arrêtée, les rejets gazeux liés à ces engins restent donc très limités.

L'activité dans la mine est également une source de **poussières** soit liées à l'extraction (poussières salines), soit du fait de la circulation des engins. La concentration dans le retour d'air reste généralement très faible, puisqu'une grande partie des poussières issues des

chantiers du fond se dépose dans les galeries. Ces rejets sont également quasi nuls aujourd'hui.

D'éventuelles émanations de gaz inclus dans les terrains sont également possibles. L'air rejeté par la mine est susceptible de contenir du méthane (CH₄, grisou), des hydrocarbures saturés (homologues supérieurs du méthane : Ethane, Propane, Buthane), du gaz carbonique (CO₂) et, en quantité beaucoup plus faible, du radon. L'expérience des MDPA a montré que **les émissions de gaz sont exceptionnelles (teneurs mesurables limitées) et que la teneur en ces gaz est généralement quasi nulle dans l'atmosphère de la mine**.

Par ailleurs le débit d'aérage constitue un facteur élevé de dilution.

- Emanations des produits stockés

Dans le stockage, les émanations gazeuses des produits stockés sont limitées à des valeurs extrêmement faibles du fait des dispositions prises en amont du stockage :

- types de déchets admis : déchets ultimes, solides, stables et convenablement conditionnés (pas de déchets volatils),
- tests de dégazage préalables en laboratoire, permettant l'identification des produits à exclure,
- traitements d'inertage appliqués sur les produits par le conditionneur, supprimant leur volatilité éventuelle,
- mode de conditionnement adapté.

Dans l'étude des risques dus aux substances chimiques du bureau BMG (BMG ENGINEERING [30]), sont présentés des tests de dégazage réalisés sur les déchets de classe B3 (déchets arséniés), B5 (déchets mercuriels) et A1 (Sels de trempe cyanurés). Ils concernent les concentrations en arsine (AsH₃), mercure métallique (Hg⁰) et acide cyanhydrique (HCN).

Pour cette étude, des mesures ont été faites à l'intérieur des emballages des déchets et d'autres dans les galeries où les déchets emballés sont stockés.

Pour la majorité des déchets, **les concentrations mesurées dans l'air interstitiel à l'intérieur des emballages étaient inférieures à la limite de détection** de l'appareil utilisé. Pour quelques déchets, des gaz ont été détectés : les concentrations maximales mesurées dans les emballages étaient de 0,006 mg/m³ de AsH₃, 0,04 mg/m³ de Hg⁰ et de 7 mg/m³ de HCN.

A l'intérieur du stockage, les dégazages sont très faibles : l'étude BMG signale que « *les mesures réalisées à l'intérieur du stockage n'ont jamais mis en évidence la présence de mercure. Des traces d'arsine n'ont été mises en évidence que lors d'une mesure en 2002. Des traces d'acide cyanhydrique (0,1 mg/m³) ont été mesurées au retour du bloc 15 uniquement durant l'incendie. Lors de l'ensemble des autres mesures, les concentrations étaient inférieures à la limite de détection.* »

Plus récemment, le 24 février 2010, une campagne de prélèvements d'air a été réalisée par l'INERIS [52]. Elle concernait deux points de mesure, en poste fixe (cf. localisation figure 24), dans le stockage souterrain de déchets, avec la réalisation d'analyses chimiques qualitatives et quantitatives :

- au point M1 en voie de retour d'air de stockage 1 entre l'allée 1 et 2 du bloc 14 ;
- au point M2 en voie de retour d'air de stockage 2 au niveau de l'allée 3 du bloc 21.

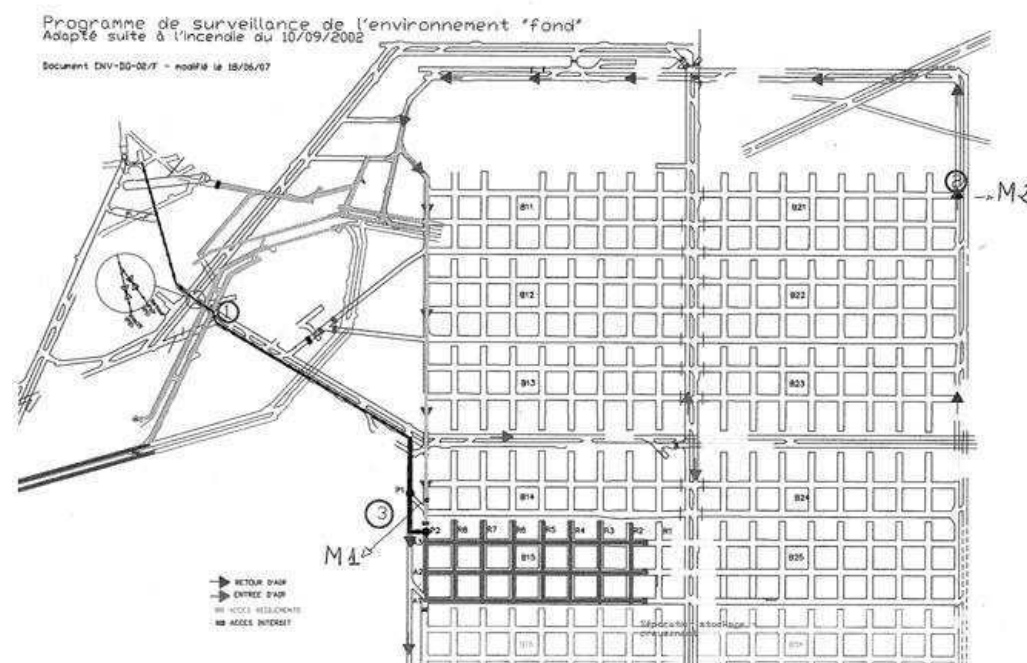


Figure 24 : Février 2010, positionnement des points de mesure « air souterrain » M1 et M2 [52]

L'ensemble des résultats n'est pas présenté ici mais est disponible dans l'étude [71], on retiendra le commentaire rédigé par l'INERIS :

Cette campagne (36 éléments analysés) indique :

- « l'absence de différences significatives entre les deux points de mesure à l'exception des concentrations mesurées en oxydes d'azote, en ammoniac, en mercure particulaire ;
- des concentrations inférieures aux limites de détection pour l'acide acétique, les hydrocarbures aliphatiques et aromatiques en C6-C12, le PCB ;
- également l'absence d'acides gras volatils (pas de fermentation), de composés soufrés dont H₂S (pas de réduction) ;
- la présence de phénol, de mercure volatil, d'acide cyanhydrique, et de certains aldéhydes (formaldéhyde, acétaldéhyde) ».

En conclusion, il apparaît que les substances trouvées en trace peuvent provenir d'un léger dégazage des déchets ou d'une activité chimique faible, mais il n'y a pas d'activité biologique.

StocaMine dispose de données sur le dégazage potentiel des déchets par l'intermédiaire de tests réalisés dans les emballages.

Une étude récente de la qualité de l'air dans le stockage fournit également des informations sur les substances à prendre en compte dans la suite de l'étude d'impact.

- Autres sources de pollution atmosphérique

En phase de fonctionnement, d'autres sources de pollution atmosphérique pouvaient être liées aux activités de surface :

- éventuelles émanations des déchets en phase de déchargement, à l'intérieur de l'entrepôt, au moment des prises d'échantillons,
- trafic routier lié à la circulation des camions.

Ces activités sont actuellement interrompues.

2.1.5.2. Résultats du suivi air

Il s'agit cette fois de la qualité de l'air en surface à proximité des puits Joseph et Else.

a - MESURES REALISEES

Avant le début de l'activité de StocaMine, 5 prélèvements d'air ambiant sur le site StocaMine (en surface) et aux alentours du puits Else ont été réalisés (mars 1998). Les mesures ont concerné les paramètres suivants : HCT (hydrocarbures totaux), NO₂, NH₃, CN⁻, COV (Composés Organiques volatils), poussières, amiante, métaux lourds particuliers.

L'implantation des points de mesures est présentée sur la figure 25 page suivante.

Pendant l'activité de descente des déchets, la surveillance air s'est concentrée sur le **rejet du puits Else**, avec l'analyse une fois tous les 6 mois des poussières, du sel (NaCl), du débit d'air rejeté et de la teneur en hydrocarbures (HCT).

Pendant toute la durée de l'incendie (10 septembre 2002 à novembre), des contrôles des fumées au débouché du puits Else ont été mis en place une fois par jour, puis deux fois par jour. Les mesures effectuées avaient pour but de suivre l'intensité des rejets polluants susceptibles d'avoir, à forte concentration, des effets toxiques immédiats (SO₂, CO, NO₂, CH₄, NH₃, CN⁻, HCl,...).

Le 24 septembre 2002, des prélèvements d'air portant sur d'autres paramètres ont également été réalisés au niveau du puits Else et concernaient : amiante, HAP, BTEX, métaux lourds, gaz, poussières, composés organiques.

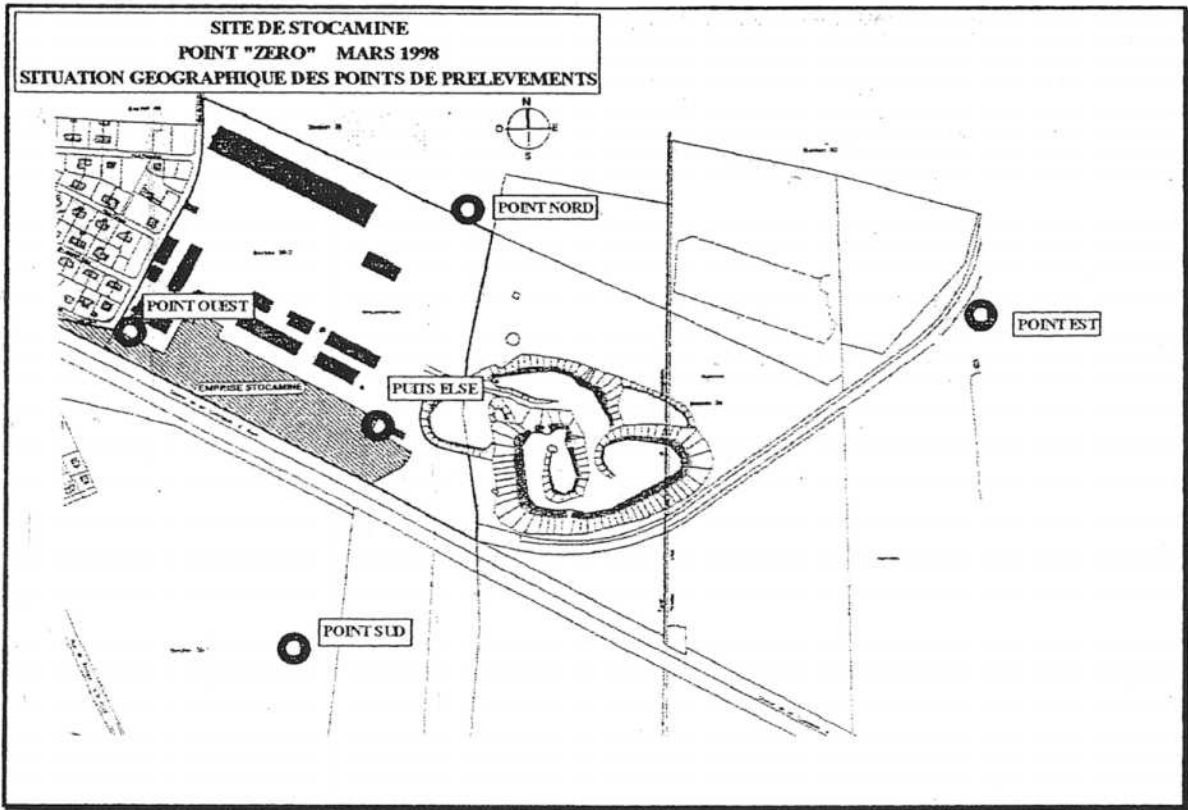


Figure 25 : Localisation des mesures « air » en surface

Après l'incendie, en janvier 2003, un nouveau prélèvement a été effectué pour les mêmes composés ; ces analyses ont été intégrées, à la demande de StocaMine, par le bureau ERM dans le cadre d'une étude d'évaluation des risques sanitaires suite à l'incendie [16].

Depuis 2003, un suivi est maintenu sur les rejets du puits Else (poussières, NaCl, COV).

b - PRINCIPAUX RESULTATS :

La situation initiale dressée en 1998, avant l'installation de StocaMine, incluait les effets de l'activité d'extraction de la potasse existant encore au niveau de la mine Amélie.

Les principales conclusions étaient les suivantes (exprimé par rapport à 1 normo-mètre cube d'air):

- Pour les points est et ouest : teneurs élevées en NO₂²⁵ (≈ 200 µg/Nm³), liées probablement au trafic routier, et sans lien avec le puits Else.

- Pour les points sud et nord : concentrations en COV (Composés Organiques Volatils) relativement fortes (voisines de 100 µg/Nm³), notamment les composés de la famille des organohalogénés et des hydrocarbures aromatiques. A noter que les organohalogénés sont en plus faible concentration dans l'air du puits Else : cette présence est donc à attribuer à une pollution extérieure au site.
- Pour le puits Else, valeurs plus élevées que dans l'air ambiant pour certains paramètres :
 - o COV (≈ 7000 µg/Nm³ contre 40 à 100 µg/Nm³ dans l'air ambiant) et hydrocarbures totaux (HCT 162 ppm éq CH₄ - soit 107,7 mg/m³ - contre 4 à 5,7 ppm éq. CH₄ - 2,7 à 3,3 mg/m³ - dans l'air ambiant), poussières (≈ 7500 µg/Nm³ contre 140 µg/Nm³ dans l'air ambiant).
 - o Dans une moindre mesure : NH₃, zinc et chrome particuliers.

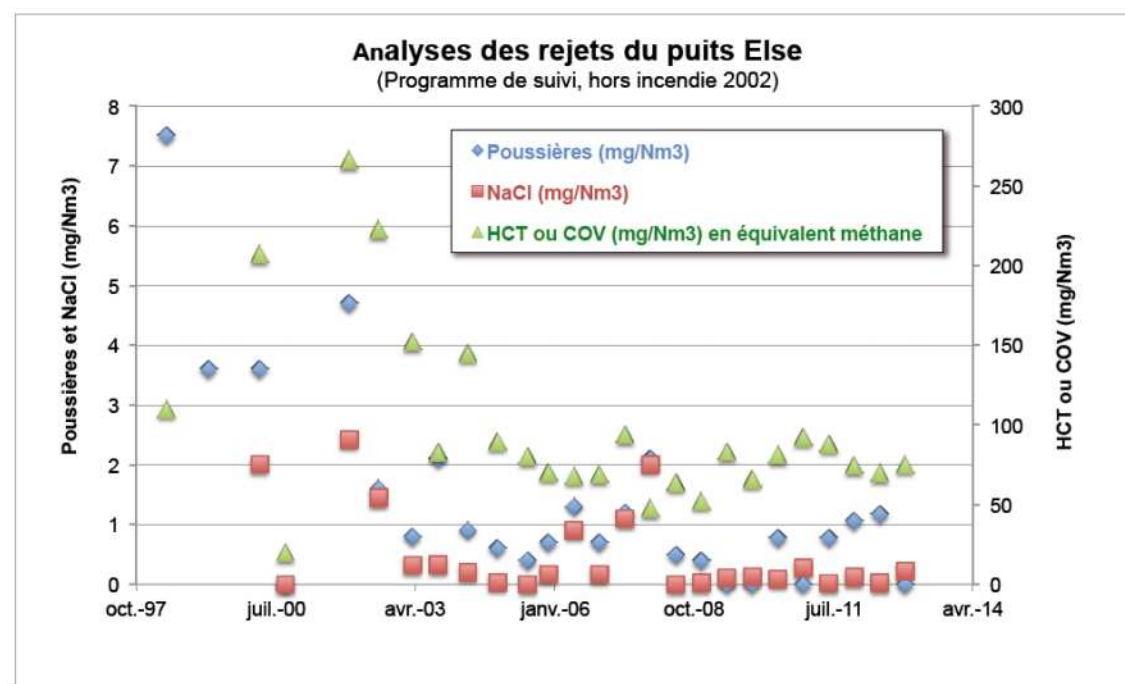
Les résultats du suivi entre 1999 et 2012 sont présentés dans le tableau 11.

ANALYSES DES REJETS DU PUIT ELSE							
		Organisme	Poussières (mg/Nm ³)	NaCl (mg/Nm ³)	Débit (Nm ³ /h) sec	Débit (Nm ³ /s) sec	HCT ou COV (mg/Nm ³) en équivalent méthane
Etat initial 1998	Mars	Polden	7,512		-		110
1999	Avril	Apave	3,6		809 500	225	
2000	Avril	Apave	3,6	2,013	811 080	225	207,4
	Oct.	IRH	/	/	1 980 000	550	20
2002	Janv	Apave	4,7	2,42	991 400	275	266,4
	Août	Apave	1,6	1,45	804 300	223	223,1
2003	Avril	Apave	0,8	0,32	430 200	120	152
	Oct.	Apave	2,1	0,33	442 800	123	83
2004	Mai	Apave	0,9	0,2	463 000	129	145
	Dec.	Apave	0,6	0,03	358 000	99	89,6
2005	Juil.	Apave	< 0,4	< 0,02	419 000	116	80,5
	Déc.	Apave	0,7	0,17	781 000	217	70,2
2006	Juin	IRH	1,3	0,9	406 515	113	68
	Dec.	IRH	0,7	0,17	432 320	120	69
2007	Juin	IRH	1,2	1,1	357 316	99	94
	Dec.	IRH	2,1	2	406 334	113	48
2008	Juin	Apave	< 0,49	< 0,028	311 000	86	63,8
	Dec.	Apave	< 0,39	0,023	351 000	97,5	52,3
2009	Juin	Apave	0,4 à 0,7	0,11	306 000	85	83,2
	Dec.	Apave	0,3 à 0,6	0,13	255 000	71	66,1
2010	Juin	Apave	< 0,77	0,088	175 000	49	81,4
	Dec.	Apave	0,7 à 1,2	0,27	122 000	34	92,4
2011	Juin	Apave	< 0,77	< 0,02	147 000	41	88,1
	Dec.	Apave	1,06	0,121	136 000	38	74,8
2012	Juin	Apave	1,17	< 0,024	112 000	31	70
	Dec.	Apave	0,36 à 1,14	0,224	134 000	37	75

Tableau 11 : Suivi air

Ces valeurs ont été reportées sur le graphique 3 page suivante.

²⁵ : Valeurs limites d'émission pour les chaudières NO₂ : 200 000 µg/Nm³, COV 110 000 µg/Nm³, poussières 5000 µg/Nm³.



Graphique 3 : Rejets du puits Else (poussières, NaCl, HCT ou COV)

Globalement, en phase d'exploitation de stockage (avant incendie), les concentrations en hydrocarbures totaux (HCT) avaient sensiblement augmenté par rapport à la situation rencontrée avant le début du stockage.

Depuis 2003, date d'arrêt de l'activité de descente des déchets, les concentrations mesurées sur l'ensemble des paramètres suivis ont diminué par rapport à 1998.

En ce qui concerne les autres paramètres de la qualité de l'air, et notamment pour préciser l'impact qu'a pu avoir en surface l'incendie souterrain, l'étude BMG Engeneering de 2004 [30] en fait le bilan suivant :

« Suite à l'incendie, les mesures de Septembre et Octobre 2002 ont mis en évidence les substances suivantes :

- BTEX : 3 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en septembre puis 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en octobre (VME²⁶ Toluène : 375 000 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$),
- acétaldéhyde 2 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en septembre puis 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en octobre (VME acétaldéhyde : 180 000 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$),
- traces d'acide chlorhydrique, d'iode et de chlore. »

Les polluants gazeux mis en évidence correspondent à des gaz d'incendie et/ou d'échappement des engins du chantier.

Les concentrations suivantes ont été mesurées dans les rejets du puits Else le 5 mai 2004 :

- BTEX : 1 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (correspondant à la concentration de toluène, la concentration des autres substances étant inférieure à la limite de détection),

- toutes les concentrations des solvants couramment utilisés à des fins industrielles (cétones, esters, solvants halogénés volatils) étaient inférieures à la limite de détection.

En conclusion, les mesures actuelles (en 2004) des rejets d'air ne mettent pas en évidence d'impact des déchets sur l'air rejeté. »

A propos des rejets liés à l'incendie, l'étude d'évaluation des risques sanitaires d'ERM [16] signale que « les Indices de Risques sont tous inférieurs à 1 pour les substances à effet de seuil, et que les excès de risque individuel (ERI) sont tous inférieurs à 1.10^{-5} pour les substances sans effet de seuil, **démontrant qu'il n'y a pas eu lors de l'incendie de risque particulier concernant la voie d'exposition par inhalation de l'air.** »

Des teneurs élevées pour certains polluants ont été mesurées au sein du stockage pendant la phase d'incendie, cependant les études réalisées suite au sinistre montrent que les substances émises dans l'atmosphère extérieure lors de l'incendie n'ont pas occasionné de risque particulier.

Par ailleurs, les prélèvements réalisés en sortie du puits Else avant et après l'incendie n'ont pas mis en évidence d'impact significatif de l'activité de StocaMine sur l'air extérieur, en surface.

²⁶ VME : valeur moyenne d'exposition (milieu du travail) : Concentration en dessous de laquelle des individus sains peuvent être exposés pendant 8 heures sans risque pour leur santé (42 h hebdomadaires pendant de longues périodes).

2.1.6. Les sols

2.1.6.1. Mesures réalisées

Les sols sur le site et dans l'environnement des installations de surface de StocaMine ont fait l'objet de diverses analyses afin de détecter d'éventuelles traces de pollution. Ces analyses ont été réalisées :

- au démarrage de l'activité de StocaMine (1997, étude Polden [14], sondages à l'extérieur et à l'intérieur du site),
- durant la phase d'exploitation (1 prélèvement de sol à l'intérieur du site cf. localisation figure 26, sous les vents dominants, 1 fois tous les 2 ans ainsi qu'un prélèvement de sol à l'extérieur du site à proximité de la Cité Joseph-Else 1 fois tous les 5 ans),
- pendant (rayon d'environ 500 m autour du site) et après l'incendie de 2002 (évaluation des risques sanitaires, bureau ERM [16]),
- puis dans le cadre du suivi du site.

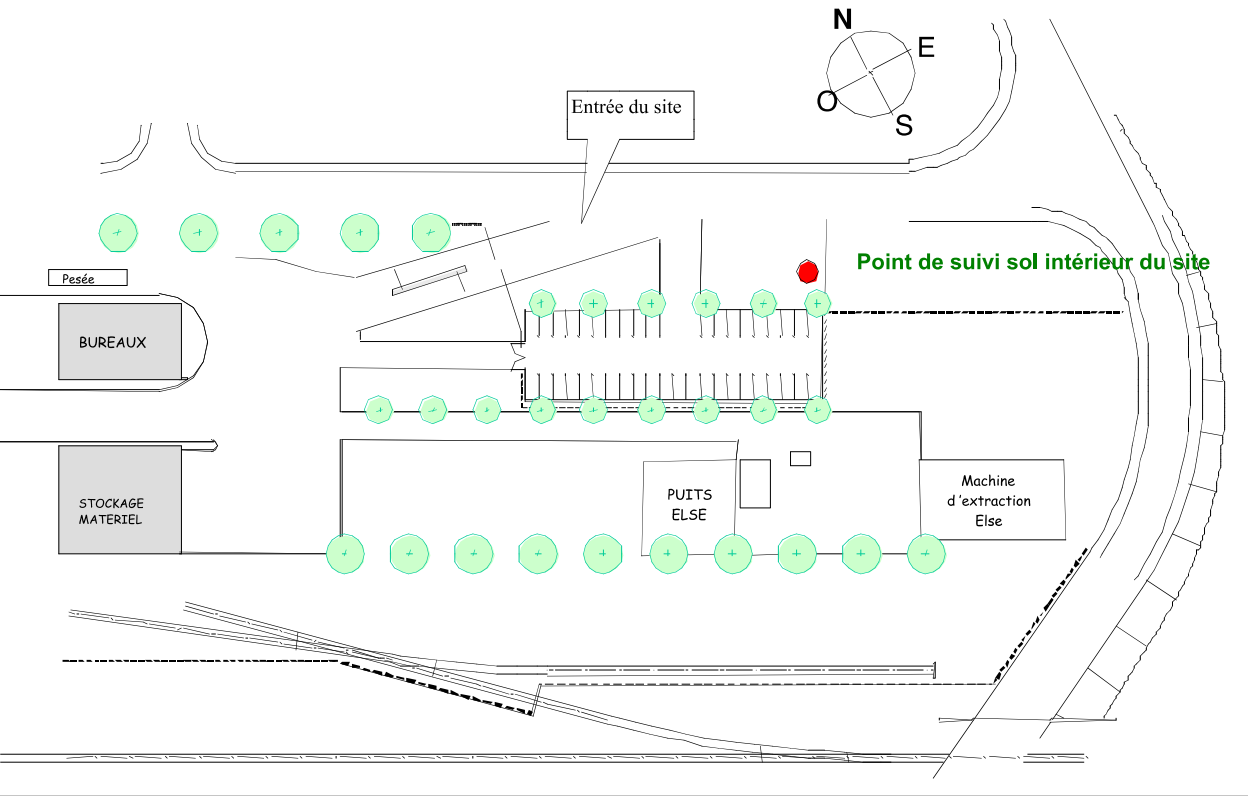


Figure 26 : Localisation du point de suivi sol intérieur site pendant l'activité de Stocamine

N.B. : Suite à l'incendie du 10 Septembre 2002 dans le bloc 15, StocaMine a également fait réaliser des séries d'analyses de **végétaux** dans le but d'évaluer l'impact du sinistre.

2.1.6.2. Résultats

Les prélèvements de sols réalisés en 1997 ont permis d'établir des gammes de valeurs de référence concernant les concentrations en métaux, fluorures, cyanures et hydrocarbures dans les sols, sur le site et à l'extérieur du site.

• A l'extérieur du site

Les résultats des suivis sont présentés dans le tableau 12.

Prélèvement de terre à l'extérieur du site	Référence extérieur site 1998		Mai-2004	Nov-2009
	à -10 cm	à -50 cm	à -50 cm	à -10 cm
	Polden	Polden	Apave	IPL
Hydrocarbures totaux (mg/kg)	350*	270*	116	460*
Fluorures (mg/kg MS)	19,2	27,6	1,6	< 2
Cyanures totaux (mg/kg MS)	< 4	<4	< 0,12	< 2
Arsenic (mg/kg MS)	15,3	10,9	3,2	26
Cadmium (mg/kg MS)	1,39	1,19	< 0,48	1
Chrome (mg/kg MS)	34,1	33,8	Cr VI < 0,1	< 0,05
Cuivre (mg/kg MS)	49,8	11,9	20	28
Nickel (mg/kg MS)	35,7	19,5	4,8	36
Plomb (mg/kg MS)	68,7	33,8	515	58
Zinc (mg/kg MS)	133	74,6	109	150
Mercure (µg/kg)	-	-	0,054	< 0,05

Tableau 12 : Sols à l'extérieur du site

Les résultats présentent une variabilité liée à l'hétérogénéité des sols et les teneurs en hydrocarbures les plus élevées sont à mettre en lien avec le point de prélèvement (sur ancienne zone goudronnée).

- **A l'intérieur du site**

Les résultats du suivi sont fournis dans le tableau 13.

Prélèvement de terre à l'intérieur du site	Référence intérieur site 1997	Nov-2001		17-Oct-2003		15-Déc-2005		14-Déc-2007	30-Nov-2009	Déc. 2011
		0 – 10 cm	40 – 50 cm	à – 10 cm	à – 50 cm	à – 10 cm	à – 40 cm	à – 10 cm	à – 10 cm	à – 10 cm
Organisme	Polden	Tredi		Apave		Apave		IRH	IPL	Eurofins
Hydrocarbures totaux (mg/kg)	< seuil de détection sauf 4 valeurs	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 200	240	< 200
Fluorures (mg/kg MS)	20 à 50	12	12	1,2	1,8	25	34	< 11	< 2	7
Cyanures totaux (mg/kg MS)	< 4	CN libres < 2	CN libres < 2	CN libres < 0,13	CN libres < 0,12	< 0,22	< 0,23	CN libres < 2	CN libres < 2	< 0,1
Arsenic (mg/kg MS)	15 à 30	8	9	<0,72	0,08	2	2,7	13	16	16
Cadmium (mg/kg MS)	1 à 4	<1	<1	<4,8	<4,7	0,39	4,2	0,81	< 0,5	< 0,5
Chrome VI (mg/kg MS)	Chrome total ? 39 à 55	39	43	CrVI <0,098	CrVI <0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,56	< 0,05	< 0,05
Cuivre (mg/kg MS)	17 à 65	17	17	<7,2	21	11	12	16	19	16
Nickel (mg/kg MS)	27 à 47	27	28	<24	33	21	21	30	35	39
Plomb (mg/kg MS)	44 à 230	24	28	<24	31	19	29	22	29	28
Zinc (mg/kg MS)	80 à 350	60	61	43	80	38	40	52	78	61
Mercure (µg/kg)		<0,2	<0,2	0,09	0,08	0,051	0,14	< 0,05	< 0,05	< 0,05

Tableau 13 : Suivi sols, à l'intérieur du site.

Avant le début de l'activité de StocaMine, il existait quelques points avec des concentrations élevées sur l'emprise du site. On citera la remarque de BMG Engeneering [30] :

« Un échantillon prélevé avant le début du stockage dans la zone des installations de surface contenait des débris de démolition et des mâchefers (indiquant une activité industrielle sur le site antérieure au stockage). Cet échantillon présentait des teneurs en métaux lourds élevées. **Il est à noter que la teneur géogène du sol en arsenic est relativement élevée (jusqu'à 35 mg/kg, valeur mesurée avant le début de l'activité de StocaMine).** »

Pendant l'activité de descente des déchets en souterrain les concentrations mesurées dans le sol en 2001 sont conformes à celles mesurées lors de l'inventaire de 1997.

Suite à l'incendie, l'évaluation des risques sanitaires a nécessité de réaliser de nombreux prélèvements complémentaires s'étendant également autour du site. Les résultats de ces analyses ont été interprétés comme suit (étude ERM [16]) :

« La répartition spatiale des teneurs en métaux ne laisse apparaître **aucune différence** entre les points situés sous la zone de retombée des émissions du puits Else selon la direction des vents dominants (nord-est) lors de l'incendie et les autres points situés en amont et/ou perpendiculairement à ces vents dominants.

Il est fort probable que les teneurs en métaux observées dans les sols reflètent le bruit de fond local. Les BTEX n'ont pas été détectés dans les échantillons de sol. »

Le suivi ultérieur a montré des résultats comparables aux ordres de grandeur définis avant le début de l'activité (en 2009 le paramètre hydrocarbure est élevé mais dans une gamme de valeur comparable à ce qui est mesuré hors site).

Les prélèvements réalisés à l'extérieur du site après l'incendie n'ont pas mis en évidence d'impact significatif de l'incendie ou de l'activité de StocaMine sur les sols.

Les sols prélevés à l'intérieur du site en 2005 présentent des valeurs comparables aux résultats hors site et/ou avant le début de l'activité.

2.2. Milieu biologique

2.2.1. Réseau Natura 2000 (directive habitat et directive oiseaux)

Les données concernant les habitats et espèces recensées dans les sites Natura 2000 les plus proches sont présentés dans les tableaux ci-contre (source : INPN, Inventaire National du Patrimoine Naturel).

Le site Natura 2000 le plus proche de Wittelsheim se situe à 3,5 kilomètres au sud de la commune. Il s'agit du Site d'Importance Communautaire (SIC, directive habitat) « Vallée de la Doller » (code FR4201810, arrêté portant désignation du site le 17 mars 2008).

En effet, la Doller est une rivière à fond mobile à haut degré de naturalité : annexes, bras morts, ripisylves, forêts alluviales. Ces éléments constituent des habitats attractifs pour de nombreuses espèces animales et végétales.

Depuis 1970, la vallée de la Doller accueille une population importante de Castor d'Europe. Le site inclut le plan d'eau de Michelbach, ce dernier étant situé géographiquement dans le couloir de la plaine rhénane, il constitue une voie de passage majeur pour les oiseaux migrateurs.

Les habitats et espèces recensées sur ce site sont présentés dans les tableaux ci-dessous (tableau 14, tableau 15).

Habitats du site Natura 2000 FR4201810 Vallée de la Doller (source : INPN)
3150 - Lacs eutrophes naturels avec végétation du <i>Magnopotamion</i> ou de l' <i>Hydrocharition</i>
9160 - Chênaies pédonculées ou chênaies-charmaies subatlantiques et médio-européennes du <i>Carpinion betuli</i>
91E0 - Forêts alluviales à <i>Alnus glutinosa</i> et <i>Fraxinus excelsior</i> (<i>Alno-Padion</i> , <i>Alnion incanae</i> , <i>Salicion albae</i>)
91F0 - Forêts mixtes à <i>Quercus robur</i> , <i>Ulmus laevis</i> , <i>Ulmus minor</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> ou <i>Fraxinus angustifolia</i> , riveraines des grands fleuves (<i>Ulmion minoris</i>)
3260 - Rivières des étages planitiaire à montagnard avec végétation du <i>Ranunculion fluitantis</i> et du <i>Callitricho-Batrachion</i>
6210 - Pelouses sèches semi-naturelles et faciès d'embuissonnement sur calcaires (<i>Festuco-Brometalia</i>) (* sites d'orchidées remarquables)
6510 - Prairies maigres de fauche de basse altitude (<i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Sanguisorba officinalis</i>)
6430 - Mégaphorbiaies hygrophiles d'ourlets planitiaux et des étages montagnard à alpin

Tableau 14 : Site Natura 2000 le plus proche (habitats)

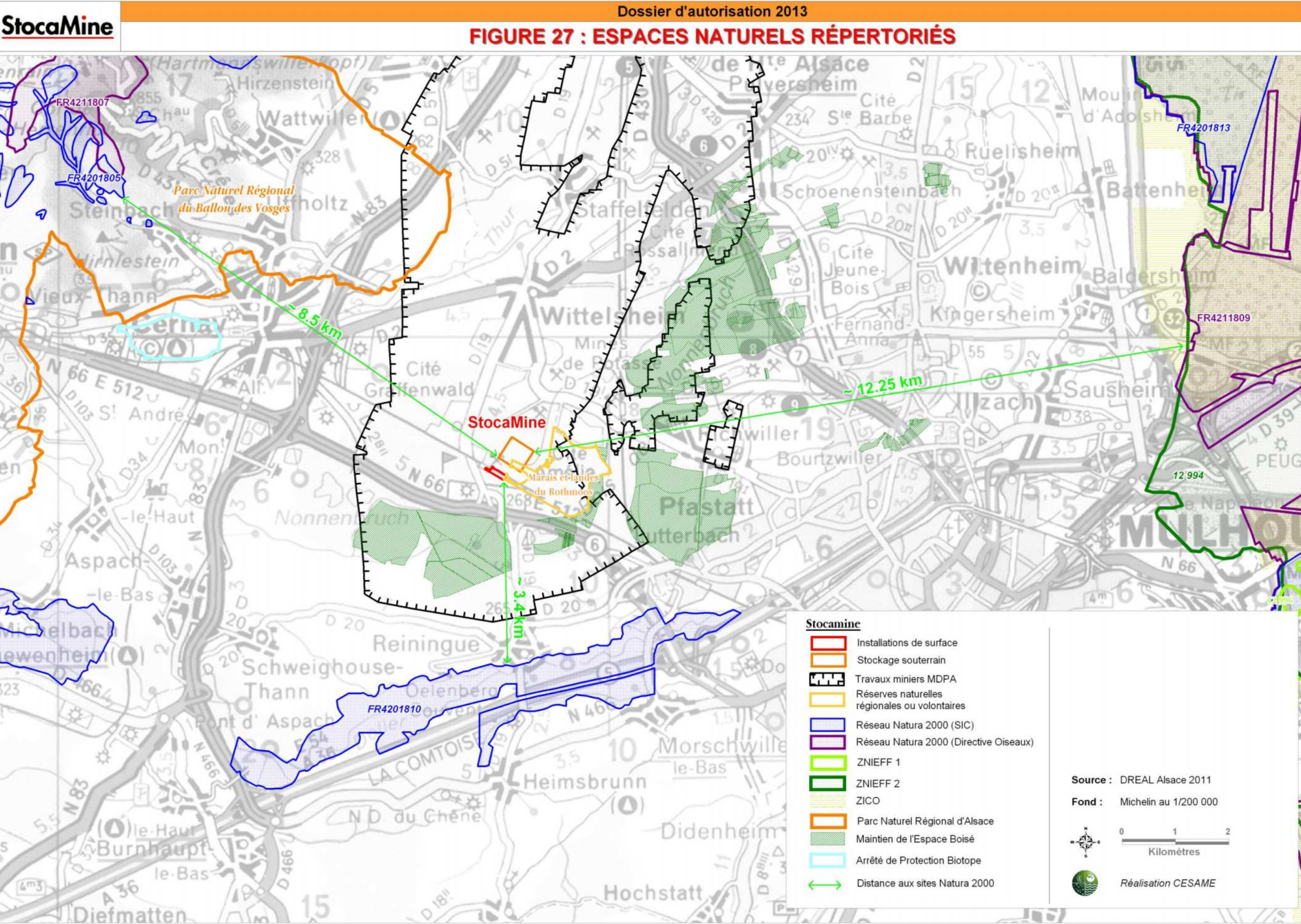
Espèces du site Natura 2000 FR4201810 Vallée de la Doller (source : INPN)			
	CODE	NOM ²⁷	POPULATION
MAMMIFÈRES visés à l'Annexe II de la directive 92/43/CEE du Conseil	1337	Castor fiber	70 individu(s)
AMPHIBIENS et REPTILES visés à l'Annexe II de la directive 92/43/CEE du Conseil	1166	Triturus cristatus	Rare
	1193	Bombina variegata	Rare
POISSONS visés à l'Annexe II de la directive 92/43/CEE du Conseil	1163	Cottus gobio	Commune
	1096	Lampetra planeri	Rare
INVERTÉBRÉS visés à l'Annexe II de la directive 92/43/CEE du Conseil	1060	Lycaena dispar	Rare
PLANTES visées à l'Annexe II de la directive 92/43/CEE du Conseil	1428	Marsilea quadrifolia	Rare

Tableau 15 : Site Natura 2000 le plus proche (espèces)

- Encore plus éloignés (≈ 9 km, côté Vosges), on peut citer également les sites Natura 2000 :
- SIC FR4201805 « Promontoires siliceux »
 - SIC FR4201807 « Hautes Vosges »

Il n'y a pas de site Natura 2000 à proximité du secteur étudié. Le 1^{er} site Natura est éloigné de 3,5 km, il s'agit de la vallée de la Doller (Site d'Intérêt Communautaire) dont la sensibilité écologique est liée aux milieux alluviaux et aux espèces qu'ils abritent.

²⁷ : Respectivement, noms communs : Castor d'Europe, Triton crêté, Crapaud sonneur à ventre jaune, Chabot commun, Lamproie de Planer, Cuivré des Marais, Fougère d'eau à quatre feuilles.



2.2.2. Autres espaces naturels répertoriés

Le recensement des enjeux environnementaux aux alentours de la commune de Wittelsheim (cf.

figure 27) montre que :

- la commune de Wittelsheim est en-dehors du Parc National Régional des Ballons des Vosges,
- les premières zones nationales recensées aux différents inventaires sont situées à plus de 12 km du site de StocaMine (ZICO Massif des Vosges et ZNIEFF²⁸ Rossberge et les Vogelsstein à une quinzaine de km à l'ouest et ZICO et ZNIEFF 2 de la forêt domaniale de la Hardt à une douzaine de km à l'est).

Toutefois, plusieurs espaces naturels protégés se trouvent à proximité du site :

- forêts de protection,
- zones humides remarquables, dont la réserve naturelle volontaire de Rothmoos.

2.2.2.1. Forêts de protection

Les forêts de protection sont pour l'essentiel des forêts gérées par l'ONF. Le cahier des charges s'attache à préciser les pratiques sylvicoles favorables à une conservation de ces forêts dans un bon état.

2.2.2.2. Les zones humides remarquables

En Alsace, les zones humides remarquables ont été recensées dans le cadre de travaux menés sous la maîtrise d'ouvrage des deux Conseils généraux de 1995 à 1997.

Cet inventaire a identifié à proximité immédiate du site trois zones humides remarquables :

La gravière Michel et alentours

Cette zone humide artificielle correspond à une gravière toujours en activité.

Les zones les plus anciennement exploitées sont recolonisées par la végétation avec une importante roselière de 3 ha et des boisements humides relativement jeunes.

Le Rothmoos (classé Réserve Naturelle Régionale depuis le 16 mars 2012 et gérée par le Conservatoire des Sites Alsaciens)

Le périmètre de la réserve est reporté sur la figure 28.

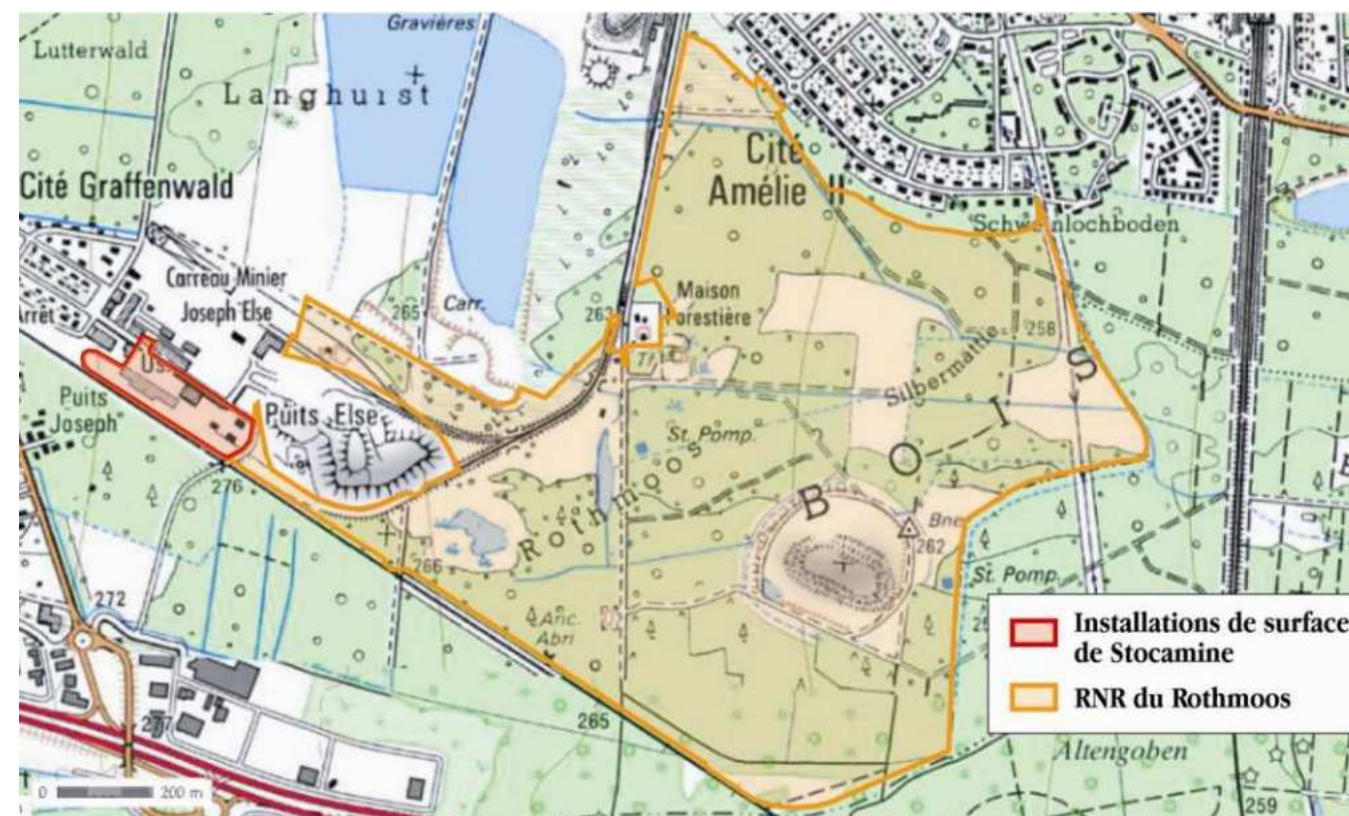


Figure 28 : Emprise de la réserve naturelle régionale du Rothmoos.

Cette zone humide est artificielle (affaissement minier). Elle reçoit indirectement les eaux d'exhaure du puits Else.

Elle présente une richesse écologique importante et est composée d'une grande roselière et de boisements humides à aulnes et bouleaux.

Le plan d'eau créé par l'affaissement a engendré une forte mortalité des arbres par asphyxie d'où la présence de nombreux arbres morts sur pieds qui participent à la richesse écologique du site. C'est une zone importante pour l'avifaune nicheuse mais aussi pour les migrateurs.

Le plan de gestion de la réserve est en cours d'élaboration (source : Conservatoire des Sites Alsaciens, avril 2012).

La zone humide nommée « Mar-en-Bois, Silbermaettle »

Situé à l'aval hydrographique des deux autres, ce site est représentatif d'une forêt relativement jeune avec différentes phases de dépérissement et une vaste roselière.

²⁸ : Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

Ces trois zones humides forment un complexe de milieux du plus grand intérêt, qui abrite de nombreuses espèces remarquables :

- avifaune (Rousserolle turdoïde, Busard des roseaux, Marouette ponctuée et Marouette poussin, Gorgebleue à miroir, ...)
- amphibiens (Crapaud vert, Triton crêté, ...)
- chiroptères (Vespertilion, ...)
- reptiles et odonates.

Immédiatement à l'est du terri Joseph-Else se trouve un vaste complexe humide présentant un fort intérêt naturel et reconnu d'intérêt dans l'inventaire régional.

2.2.3. Site de StocaMine et abords – Habitats naturels

2.2.3.1. Abords de StocaMine

En 2006, les abords des installations de surface de StocaMine ont fait l'objet d'une reconnaissance de terrain (CESAME 2006, parcours naturaliste autour de StocaMine).

Les intérêts du site ont été analysés de manière globale par un parcours à pied exhaustif dans un rayon de 200 mètres. Dans la mesure où les enjeux recensés à proximité concernent des zones humides, une attention particulière a été portée aux abords du réseau hydrographique.

Les parcelles entourant le site de l'entreprise sont urbanisées : zone industrielle et cité minière.

A l'est, la parcelle voisine est occupée par le terri « Joseph-Else Ouest ».

Les premiers habitats naturels se rencontrent donc en s'éloignant de 200 à 300 m de StocaMine :

- bois : Bouleaux, Frênaie, Chênaies, Charmaie,
- friches, zones rudérales, zones récemment déboisées,
- et plus loin : roselières et plan d'eau des milieux remarquables précédemment présentés (cf. zones humides).

La cartographie de l'occupation des sols est présentée sur la figure 29.

La description des différents habitats recensés est précisée en fin de rapport (« données complémentaires »), avec notamment la comparaison du milieu observé et du classement établi dans la Directive Habitats.

Sont repris ci-après (tableau 16) les habitats rencontrés avec :

- leur dénomination selon le code Corine Biotores ou le code NAT 2000 pour les habitats relevant de la Directive Habitat,
- une description sommaire des principales espèces rencontrées,
- une synthèse de l'intérêt et de la sensibilité de ce type d'habitat.

Habitat	Description sommaire	Intérêt et sensibilités
Lande acidiphile (cf. Habitat 31.2)	Friches avec Callune, ronces, Genêts, Canche flexueuse. Jeunes pins sylvestres.	Aucune sensibilité particulière.
Frênaie-chênaie mixte (cf. Habitat 44.33)	Au niveau de boisements de bouleaux un peu anciens, apparition d'essences nomades (Orme lisse, Cerisier à grappes, Erable sycomore, Frêne commun). Sureau noir, Houblon et Clématite des haies.	Aucune sensibilité particulière.
Zones rudérales (cf. Habitat 87.2)	Friches industrielles aujourd'hui colonisées par des plantes dites rudérales : <i>Artemisia vulgaris</i> , <i>Tanacetum vulgare</i> , <i>Chenopodium album</i> ,...	Aucune sensibilité.
Zones de défrichement ancien avec recolonisation (cf. Habitats 87.1 et 31.81)	Zones déboisées en cours de recolonisation par des Bouleaux et des espèces nomades. Grandes graminées sociales (Phragmite, Baldingère). Fruticées à tendance acidocline.	Aucune sensibilité floristique mais intérêt certain pour les oiseaux.
Ruisseaux et les forêts alluviales (cf. Habitat 44.31)	Des restes de forêt alluviale se retrouvent en bordure du réseau hydrographique mais très anthropisés et réduits. Frêne commun, Poirier sauvage, Cerisier à grappes, Tremble, ... Strate arbustive dense (Robinier, Sureau, Fusain d'Europe, ...). Ronce très recouvrante.	Habitat de la Directive mais en très mauvais état de conservation. Linéaire étroit au sein de zones urbanisées. Sensibilité par conséquent limitée.
Chênaie-charmaie (cf. Habitat NAT 2000 9160, Chênaies pédonculées ou Chênaies-charmaies)	Forêt en bon état de conservation (avec Chêne pédonculé, Merisiers, Bouleau verruqueux, ..., strate arbustive : Noisetier, Prunelier, Aubépine monogyne,..., + quelques espèces plus ou moins hygrophiles (Menthe, Succise, ...)). Présence anthropique de pins.	Habitat reconnu d'intérêt européen en bon état de conservation (propriété MDPa peu exploitée), mais relativement abondant sur la commune de Wittelsheim.
Boisements pionniers de bouleaux (cf. Habitat 41.B1)	Parcelles anciennement défrichées colonisées par de jeunes bouleaux (marais de Rothmoos et en limite de la gravière). Associés à la végétation des roselières	Intérêt fort pour certains oiseaux des milieux ouverts.
Roselières (cf. Habitat 53.11)	Zones humides ici d'origine anthropique. Vastes populations de Phragmites. <i>Plantago coronopus</i> , espèce à tendance halophile originale pour la région.	Habitat reconnu d'un grand intérêt pour l'avifaune. Sensibilité importante aux aménagements.

Tableau 16 : Habitats naturels proches des installations de surface de StocaMine

Les parcelles les plus proches sont urbanisées. L'environnement naturel du site présente peu de sensibilités d'un point de vue floristique.

Autour du secteur, les zones humides et autres milieux ouverts peu fréquentés par l'homme, en mosaïque avec des groupements forestiers, offrent des conditions très favorables pour les oiseaux (nicheurs et migrants).

Ces zones humides, déjà reconnues, sont d'importance majeure et à prendre en compte dans tous les projets d'aménagement. Elles se situent à plus de 200 m des installations de surface de StocaMine.

2.2.3.2. Installations de StocaMine

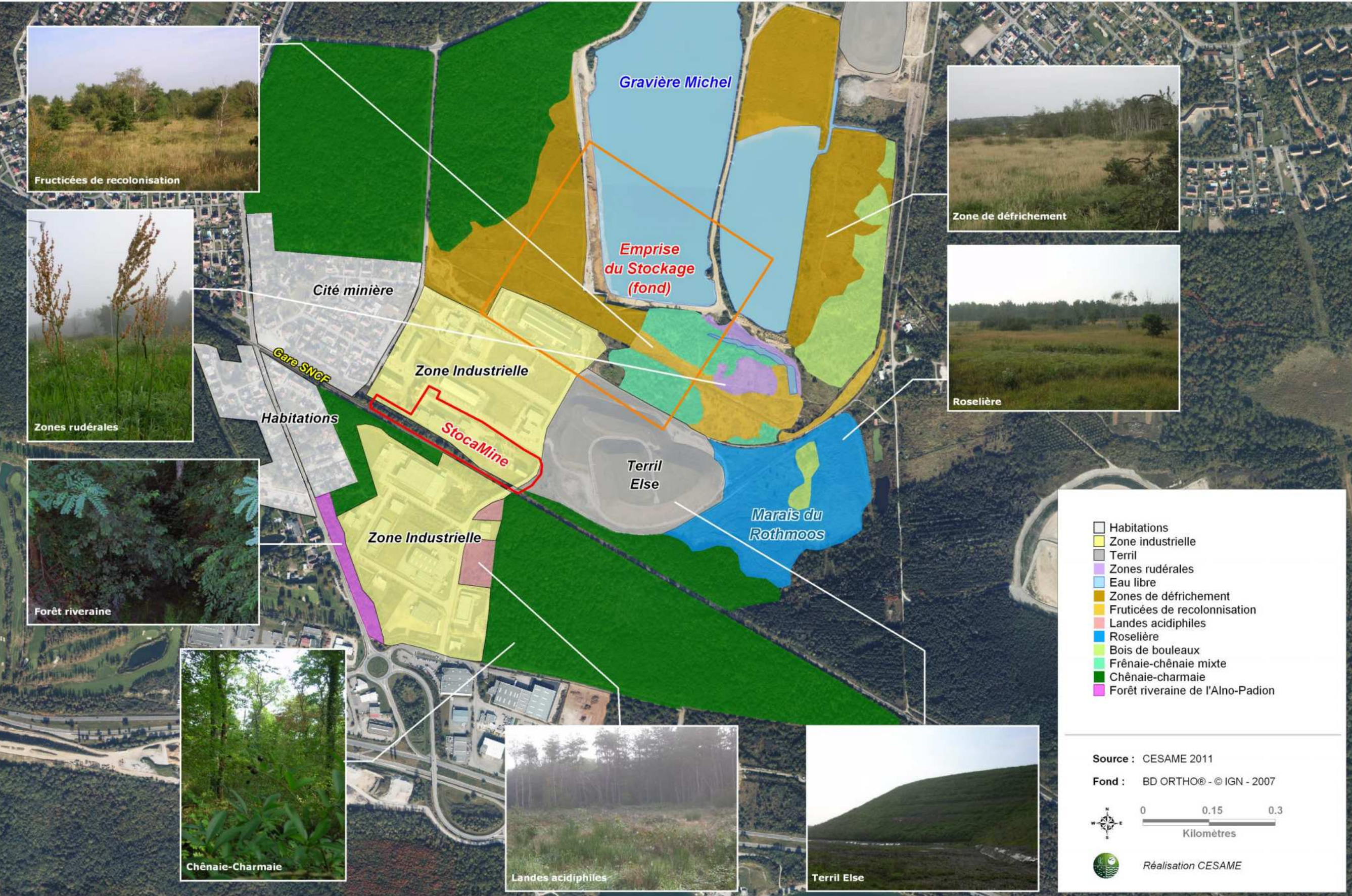
Les chevalements des puits n'abritent pas de faune spécifique mais seulement quelques pigeons et autres oiseaux communs (source : StocaMine).

Les terrains sont engazonnés et n'abritent, là encore, aucune faune ou flore spécifique.

Enfin, en souterrain, seuls des rongeurs apportés par les va et vient des cages peuvent être rencontrés (source : StocaMine).

Aucune flore ou faune spécifique ne s'est implantée à la faveur des installations de StocaMine.

FIGURE 29 : OCCUPATION DU SOL - MILIEU NATUREL



2.3. Environnement humain

N.B. : La compatibilité du projet avec l'affectation des sols (PLU) fait l'objet du chapitre 7.

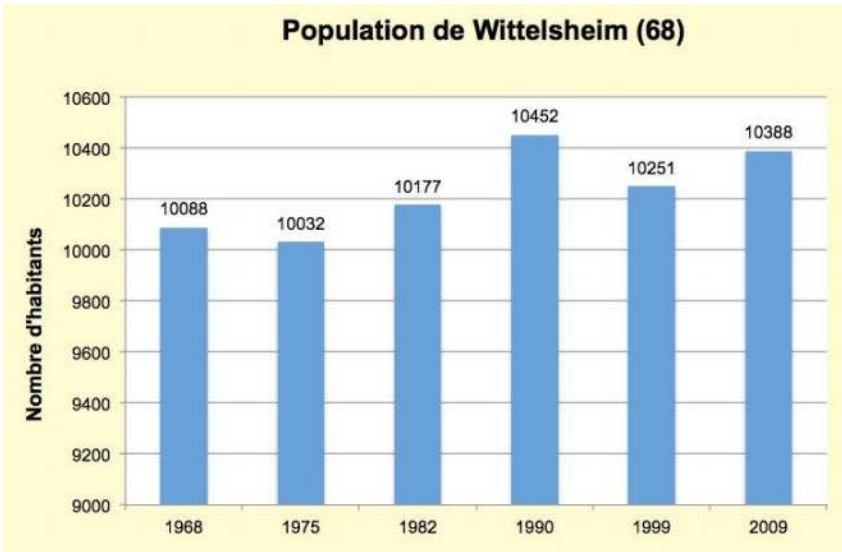
L'activité minière liée à l'extraction de la potasse a laissé une empreinte marquée sur la commune que ce soit au niveau du développement économique, paysager (8 cités minières, terrils, puits de mine), historique.

2.3.1. Environnement socio-économique

N.B. : La commune de Wittelsheim ne fait parti d'aucun schéma directeur ni SCOT.

2.3.1.1. Population

Le graphique 4 présente les résultats des recensements réalisés sur la commune (source : INSEE).



Graphique 4 : Évolution de la population de Wittelsheim entre 1968 et 2009 (source : INSEE)

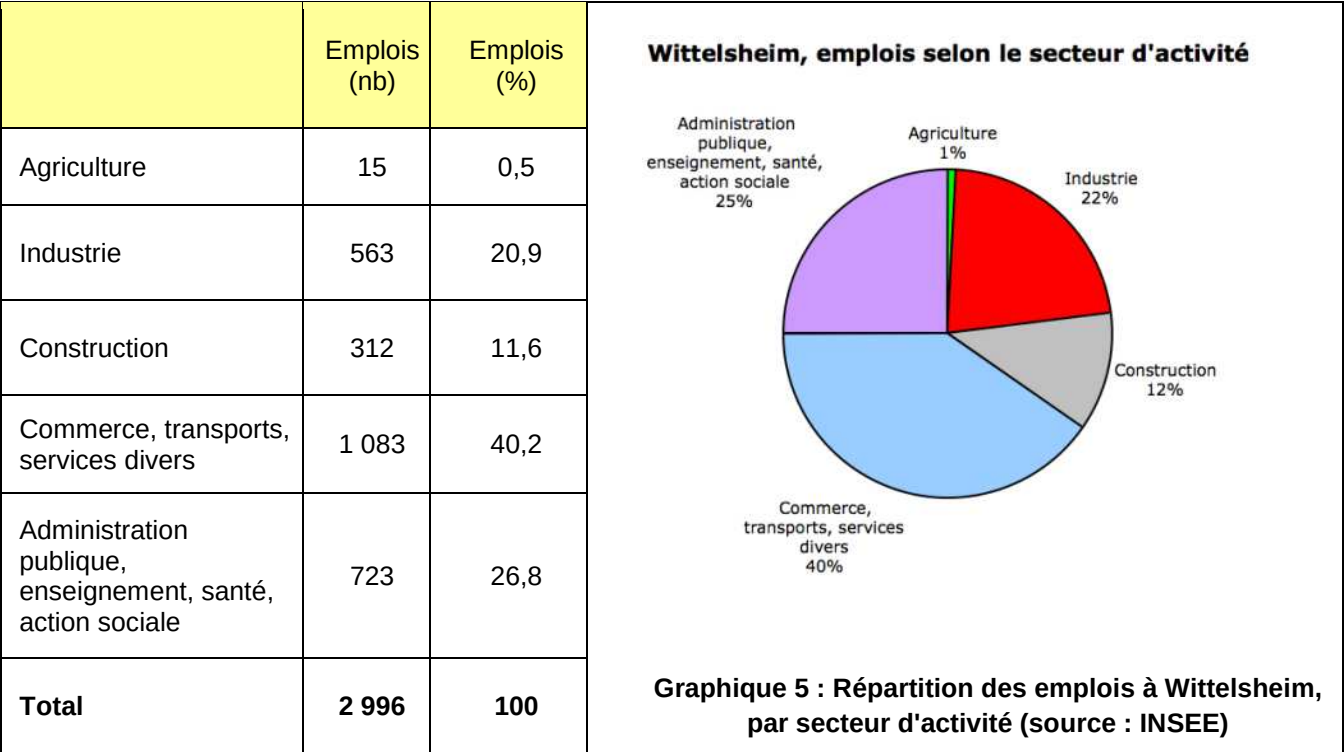
La population de la commune de Wittelsheim est estimée à 10 388 habitants en 2009.

Entre 1968 et 2008, la population de Wittelsheim a connu globalement une évolution positive de 3,1% en moyenne. Ce **faible accroissement démographique** est lié à deux baisses de population : dans les années 70 et à la fin des années 90.

L'évolution démographique de Wittelsheim est de type endogène : c'est l'excédent des naissances sur les décès qui constitue le facteur de croissance et qui compense le solde migratoire négatif.

2.3.1.2. Activités économiques

Le tableau ci-dessous est extrait des données de l'INSEE concernant l'emploi à Wittelsheim (source RP 1999 et 2009 exploitations complémentaires lieu de travail).



La commune de Wittelsheim compte 2 996 emplois (données 2009) et plus de 280 sociétés (source : *annuaire des entreprises, site internet dansmaville.org*).

Avec plus de 1 700 emplois, le **secteur tertiaire est dominant** (environ 60% des emplois).

Dans un périmètre d'environ 1 km autour du sité étudié, trois zones d'activités sont recensées :

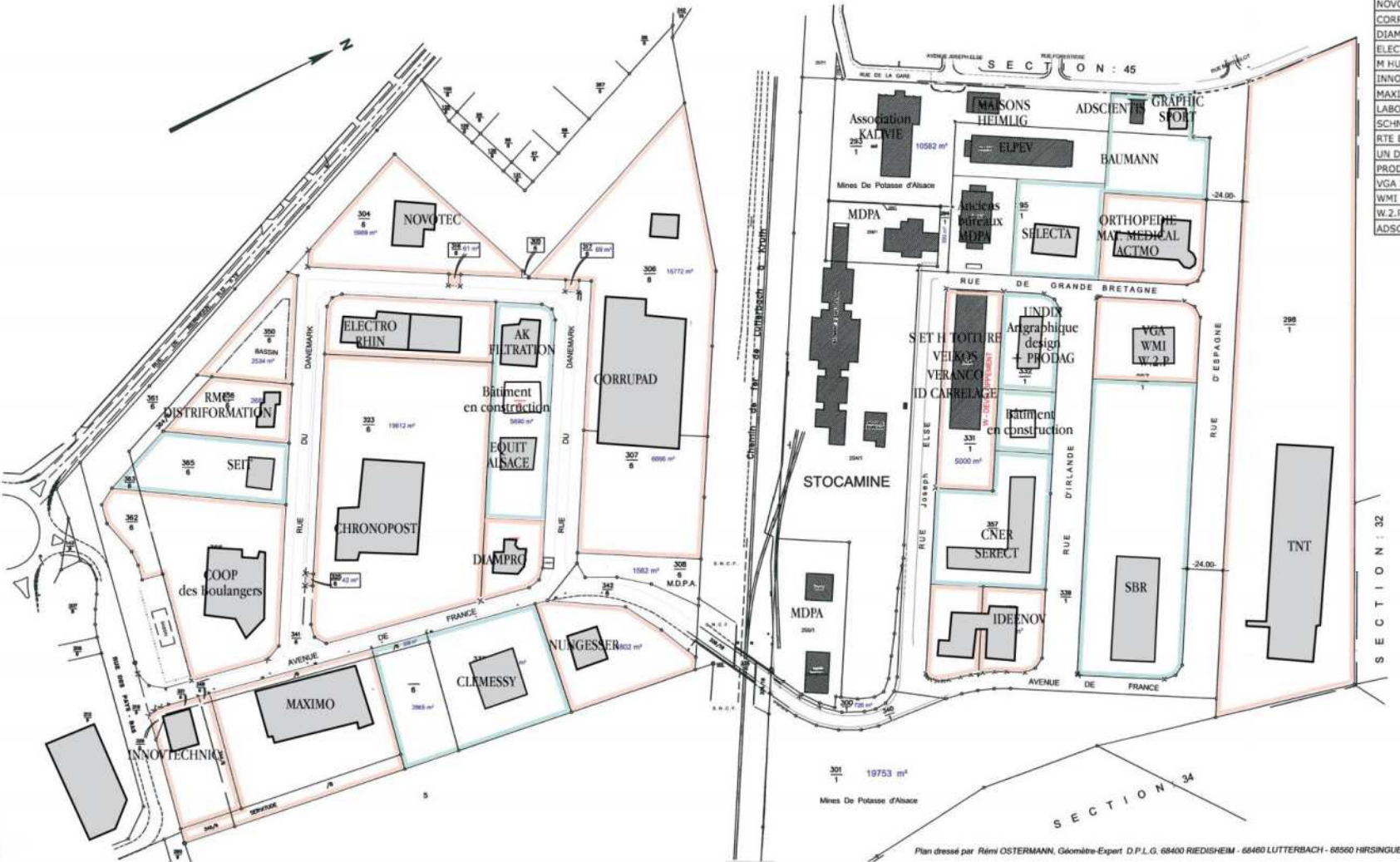
- la zone industrielle du Langhurst située au nord des gravières Michel, qui accueille une dizaine d'entreprises, dont la carrière Michel et l'entreprise de démolition Ferrari,
- le parc Secoia²⁹ ou ZAC Joseph-Else-Heiden Ouest, situé de part et d'autre de la voie ferrée sur l'ancien carreau de mine Joseph-Else au nord et d'anciens bois au sud ; cette zone est pratiquement remplie et accueille diverses entreprises de service et industries ainsi que l'entreprise StocaMine (voir détail figure 30),
- la zone d'activité Heiden Est, située le long de la RN66 et à l'ouest de la RD19, qui accueille diverses entreprises de service et industries.

²⁹ : Cette zone a été créée en 2000, dans le cadre de la reconversion industrielle du Bassin Potassique, avec requalification de l'ancien carreau minier. Les MDPA, propriétaires des terrains, ont travaillé en collaboration avec la ville de Wittelsheim et son concessionnaire, la SEMHA (Société d'Economie Mixte de Haute-Alsace) pour la commercialisation des lots.

StocaMine

Dossier d'autorisation 2013

FIGURE 30 : ZONE D'ACTIVITÉ JOSEPH ELSE HEIDEN (PARC SECOIA)



Raison sociale	Sigle et enseigne	Adresse
TNT EXPRESS NATIONAL		2 RUE D'ESPAGNE
TNT EXPRESS INTERNATIONAL		2 RUE D'ESPAGNE
ORTHOPEDIE WIESSLER	ACMTO	9 RUE D'ESPAGNE
LE SAVOIR FAIRE CAPILLAIRE	SCPE, BAUMANN France	11 RUE D'ESPAGNE
S ET H TOITURE		AVENUE JOSEPH ELSE
STOCKAGE DE DECHETS INDUSTRIELS	STOCAMINE	AVENUE JOSEPH ELSE
GE CONCEPT		21 AVENUE JOSEPH ELSE
MAISONS HEIMLIG SARL		21 AVENUE JOSEPH ELSE
ELPEV		23 AVENUE JOSEPH ELSE
WINSTON	LINGUALINKS-WINSTON	23 AVENUE JOSEPH ELSE
ATOME		23 AVENUE JOSEPH ELSE
BERDA		27 AVENUE JOSEPH ELSE
KOPEX SA		27 AVENUE JOSEPH ELSE
CHRONOPOST	CHRONOPOST INTERNATIONAL	2 RUE DU DANEMARK
AK FILTRATION		4 RUE DU DANEMARK
DISTRIFORMATION		5 RUE DU DANEMARK
RMC CONSEILS		5 RUE DU DANEMARK
EQUIT ALSACE		6 RUE DU DANEMARK
NOVOTEC FRANCE		7 RUE DU DANEMARK
NOVOTEC ELECTRO EROSION	NOVOTEC EE	7 RUE DU DANEMARK
CORRUPAD		9 RUE DU DANEMARK
DIAMPRO		10 RUE DU DANEMARK
ELECTRO RHIN		47 RUE DU DANEMARK
M HUSER JEAN-CLAUDE	BOITE A GATEAUX - BOITE A SANDWICHES	1 AVENUE DE FRANCE
INNOVTECHNIC		2 AVENUE DE FRANCE
MAXIMO		4 AVENUE DE FRANCE
LABO MK		5 AVENUE DE FRANCE
SCHNEIDER ET BOISSON REUNIS	SBR	5 AVENUE DE FRANCE
RTE EDF TRANSPORT		3 RUE D'IRLANDE
UN DIX COMMUNICATION		7 RUE D'IRLANDE
PRODAG	AG DESIGN - ART GRAPHIQUE DESIGN	7 RUE D'IRLANDE
VGA INTERNATIONAL	KOO INTERACTIVE	8 RUE D'IRLANDE
WMI		8 RUE D'IRLANDE
W.2.P		8 RUE D'IRLANDE
ADSCIENTIS		1 RUE ALFRED KASTLER

Sources : CCI 2011
plan commune de
Wittelsheim



Le secteur industriel était dominé par l'activité extractive des Mines De Potasse d'Alsace : débutée en 1910 sur la commune, cette activité a pu représenter jusqu'à 13900 emplois (en 1948) et commencé à décliner à partir de 1950 avec la fermeture des puits (5000 personnes en 1986, 960 en 2001). Depuis 2002, l'exploitation des MDPA est totalement arrêtée³⁰. Pour des questions de savoir-faire, une partie de la maintenance des infrastructures minières liées au stockage souterrain est sous-traitée à l'entreprise polonaise KOPEX.

Le secteur industriel (21 % des emplois environ) reste toutefois bien développé sur la commune et présente aujourd'hui une diversification notable.

Au sein de ce secteur, l'effectif de l'entreprise de StocaMine a toujours été voisin d'une vingtaine de personnes (cf. tableau 17).

EFFECTIF STOCAMINE															
1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	8	17	19	23	27	23	22	22	21	20	18	18	16	16	16

Tableau 17 : Effectif de StocaMine du 01/10/1997 au 31/07/2011

L'emploi à StocaMine représente environ 3-4% de l'emploi industriel à Wittelsheim et moins de 1‰ de l'emploi total sur la commune.

2.3.1.3. Tourisme – Loisirs

A Wittelsheim, diverses zones ou sites sont destinés aux loisirs, dont :

- un golf, situé au sud-ouest du carreau de Stocamine, à 350 m au-delà de la RD19,
- le plan d'eau de Reiningue aménagé avec zone de baignade surveillée et base de loisirs (nautisme et activités ludiques), à environ 900 m au sud de Stocamine, au delà de la RN66,
- des sites naturels :
 - le site du marais du Rothmoos, secteur boisé et marécageux (130 ha, propriété du Conservatoire des Sites Alsaciens, dont une partie bénéficie d'un classement en réserve naturelle régionale) à 400 m à l'est du terri Else, et présente un caractère touristique indéniable,
 - les forêts de Graffenwald, Lutterwald, Lutterbach (promenade balisée) qui bénéficient d'un attrait récréatif (situées entre 300 et 1500 m de Stocamine).

³⁰ : L'arrêt de l'exploitation avait été programmée pour la fin de l'année 2003, elle a été anticipée du fait de l'incendie à StocaMine.

La plupart des sites attirant touristes et promeneurs sont éloignés de l'emprise de Stocamine. Le site naturel aménagé le plus proche est le marais de Rothmoos immédiatement à l'est du carreau de Stocamine.

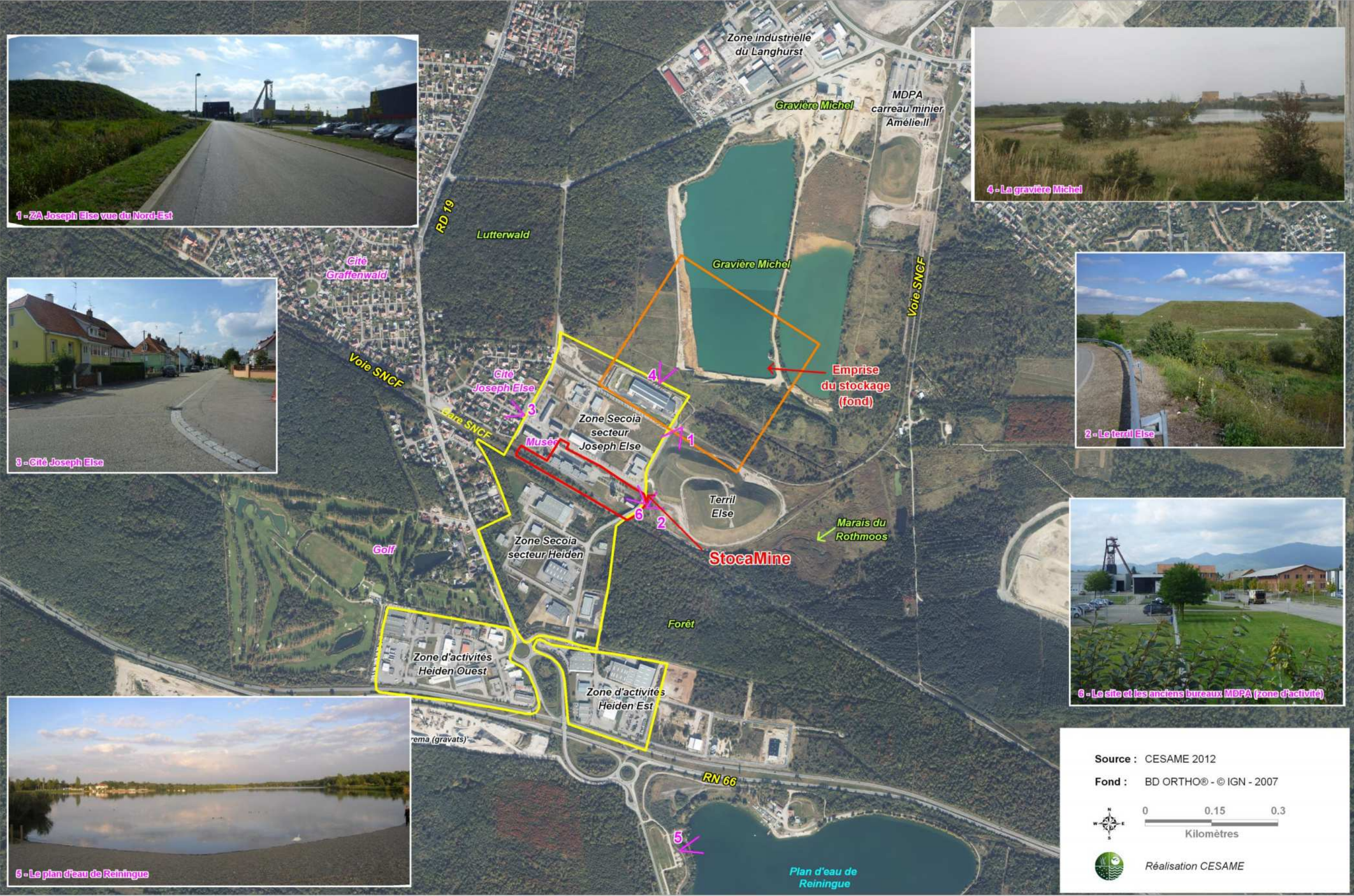
2.3.1.4. Voisinage

Aux alentours de la zone d'activité, l'occupation du sol est la suivante (cf. figure 31) :

- au nord-ouest, les cités minières de Graffenwald et Joseph-Else dont les premières maisons sont à 150 m des bâtiments de StocaMine (et qui s'étendent vers l'ouest pour représenter environ 200 habitants),
- au nord, une partie de la forêt de Lutterwald et un secteur de friche faisant l'interface avec la gravière Michel,
- à l'est le terri Else puis une zone naturelle occupée par des secteurs humides (marais du Rothmoos) et des forêts,
- au sud, les zones d'activité Heiden Est puis Heiden Ouest,
- au sud-ouest le Golf, puis une zone d'habitat dispersé le long de la RD19 et enfin la gare de Graffenwald.

Le secteur résidentiel le plus proche est donc la cité Joseph-Else, qui se situe à environ 100 m à l'ouest des bâtiments de StocaMine.

FIGURE 31 : OCCUPATION DU SOL, ENVIRONNEMENT URBAIN



2.3.2. Desserte – Trafic

Le site StocaMine (bâtiments et stockage souterrain) est implanté au sud de la commune de Wittelsheim. Les infrastructures de surface sont à proximité de grandes voies de communication routières et ferroviaires (voir plan de situation en début du rapport, dans la partie présentation générale).

2.3.2.1. Desserte routière

A environ 300 m à l'ouest du site, la RD19 est un axe principal nord-sud (Bollwiller - Wittelsheim - Reiningue).

A 800 m au sud de StocaMine la RN 66, voie rapide de liaison entre Thann et Mulhouse permet l'accès aux grands axes routiers et autoroutiers, notamment la RN83 (Colmar-Belfort) à l'ouest et l'A36 (autoroute de liaison Allemagne, Suisse, autoroute du sud) à l'est.

Le trafic des principaux axes routiers autour des bâtiments de StocaMine est représenté sur l'extrait ci-dessous (figure 32).

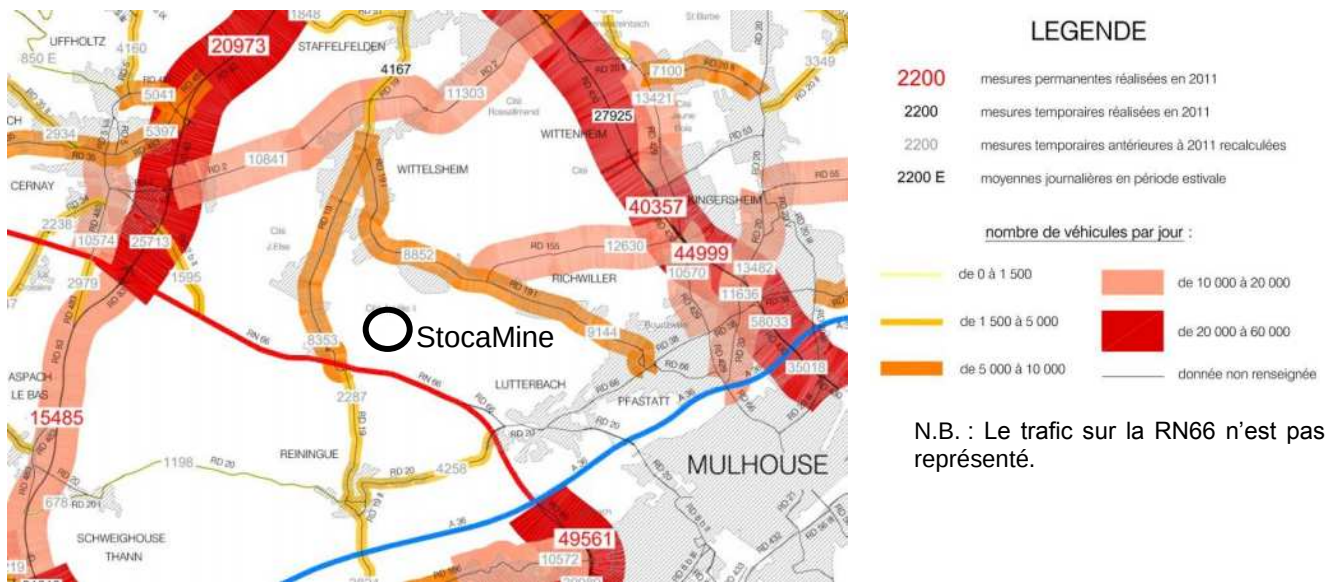


Figure 32 : Trafic des axes principaux les plus proches (source : Direction des Routes 68)

Sur ces axes principaux, le trafic est élevé avec environ 30 000 véhicules par jour sur la RN66 (donnée 2009) et 8 300 véhicules par jour pour la RD19 (données 2011, Direction des Routes 68, cellule trafic routier).

Depuis ces voies routières, l'accès au site se fait à partir de la rue d'Espagne par le nord. Toutefois, un **trajet spécifique a été établi pour que les camions de déchets ne traversent pas l'agglomération.**

Il est ainsi possible d'accéder au site par le sud via un pont sur la voie SNCF puis par la voie de desserte de la zone Heiden, elle-même raccordée à la RN66 par l'échangeur de Wittelsheim (cf. figure 33).

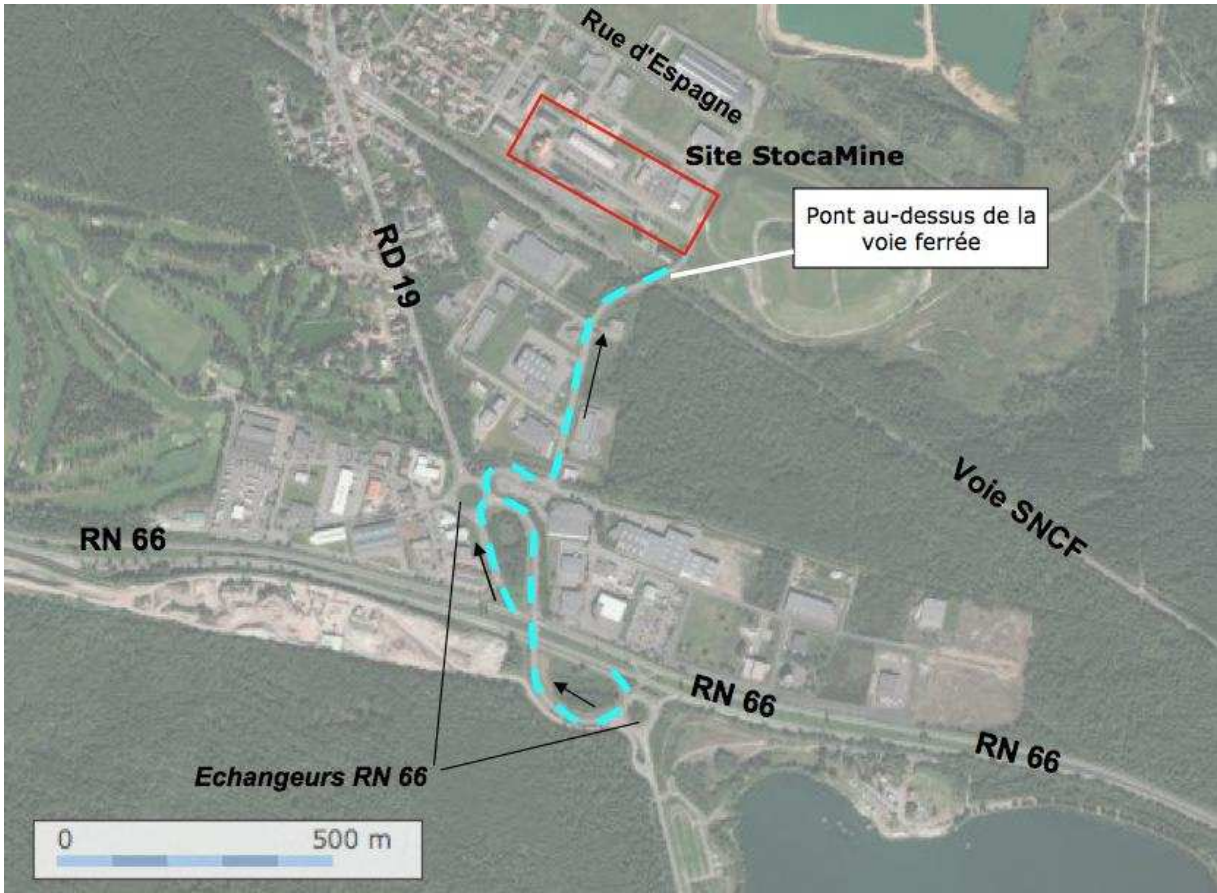


Figure 33 : Accès au site par le sud (sans traversée d'agglomération)

Le trafic lié à la livraison des déchets est arrêté depuis 2002. En phase de fonctionnement, le nombre de véhicules de livraisons est resté marginal (≈ 10 camions/j) par rapport à la circulation locale notamment sur la RN66.

Le trafic routier lié des bâtiments de StocaMine est actuellement réduit à celui des véhicules du personnel travaillant sur le site (StocaMine, MDPa et son opérateur minier soit une quarantaine de personnes).

2.3.2.2. Desserte ferroviaire

Source : RFF 2011.

La commune de Wittelsheim est traversée par deux lignes ferroviaires distinctes :

- la ligne 115000 de Strasbourg à Bâle, sur laquelle se trouve la gare « Wittelsheim », à proximité de Staffelfelden,
- la **ligne 130000 de Lutterbach à Kruth, qui longe les bâtiments de StocaMine** et dessert l'arrêt « Graffenwald ».

Pour desservir le site de stockage de déchets, un arrêt avait été spécialement aménagé. Pendant l'activité de descente de déchets, l'apport par fret était de l'ordre de 2 wagons / jour.

Actuellement, il n'y a plus de trafic pour StocaMine et on dénombre (en moyenne quotidienne et en semaine, les deux sens confondus) :

- 2 passages de trains de fret,
- 28 passages de trains de voyageurs,
- et depuis la création du tram-train relié à Mulhouse, 64 trains supplémentaires.

Au total, le trafic ferroviaire de la ligne passant au sud de StocaMine est de l'ordre de 94 trains/j, sans activité pour StocaMine.

2.3.3. État de référence sonore

2.3.3.1. Rappel de la réglementation

Les arrêtés de réglementation du bruit ont évolué : un arrêté de référence de 1985, une modification en 1993 (abrogée depuis) et un arrêté de 1997 pour les nouveaux sites.

Les niveaux limites de bruits (L_{limite}) à respecter en limite de propriété de l'installation sont calculés à partir d'une valeur de base fixée, pour le champ sonore extérieur, à 45 dB (A), à la quelle on ajoutera les termes correctifs C_T et C_Z.

L_{limite} = 45 dB(A) + C_T + C_Z

avec :

CT = correction correspondant à la période de mesures :

Jour : 0, Intermédiaire : -5, Nuit : -10

CZ = correction correspondant au type de zone : +15 dans le cas présent (d'après DBI³¹).

Ainsi les niveaux limites de bruits à respecter sont :

Période	Jour (jour ouvrable 7h-20h)	Intermédiaire (jour ouvrable : 6h-7h et 20h-22h, dimanche et jour férié : 6h-22h)	Nuit (22h-6h)
L _{limite}	60 dB(A)	55 dB (A)	50 dB(A)

L'émergence autorisée (e) est alors calculée comme suit :

e = L_R -L_I

avec :

LI niveau sonore initial en l'absence de fonctionnement de l'entreprise

LR niveau sonore de réception, n'incluant que le bruit de l'installation

L'émergence autorisée est de 3 dB(A) le jour et la nuit.

³¹ : Organisme en charge du suivi accoustique.

2.3.3.2. Données de 1997 [14]

Avant le début de l'exploitation du stockage, un état initial du niveau sonore en surface a été réalisé dans l'environnement des bâtiments de StocaMine conformément à l'arrêté préfectoral du 03-02-1997. Le but de ces mesures était de caractériser la situation acoustique avant le fonctionnement l'entreprise de stockage souterrain.

Neuf points de mesures ont été définis en limite du site (cf. implantation figure 34), dont 4 au niveau des secteurs d'habitation les plus proches (cité Joseph-Else, à l'ouest).

Ces points de mesure ont été ensuite intégrés dans le programme de surveillance de l'environnement jour de StocaMine, avec un suivi du paramètre bruit à raison d'une mesure tous les 2 ans.

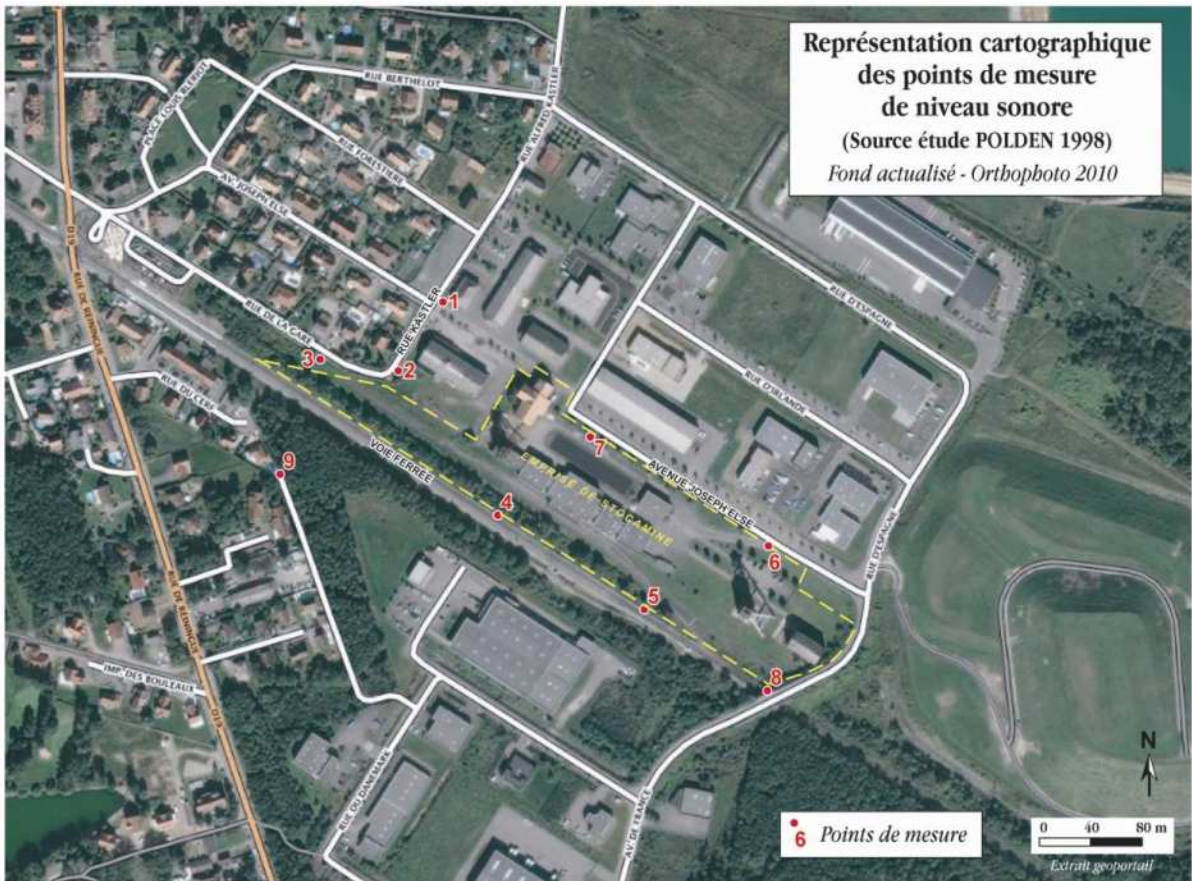


Figure 34 : Localisation des points de mesure bruit [14]

En 1997, les niveaux sonores mesurés étaient modérés à élevés, avec des valeurs comprises entre 47 et 60 dBA en période diurne, et entre 38 et 46 dBA en période nocturne (cf. tableau 18).

Les points les plus bruyants (nocturne et diurne) correspondaient globalement à ceux situés le long de la voie ferrée et les plus proches de la RD 19 à l'ouest, les moins bruyants étant ceux le long de la rue Joseph-Else au nord.

L'ambiance sonore du secteur était essentiellement liée aux passages de trains et aux survols d'avions en période de jour, au trafic routier (RD 19 et RN 66) de jour comme de nuit (source étude Polden). En période de nuit, la ventilation du puits Else était perceptible à proximité du puits (points 5, 6, 8 les plus éloignés de la cité Joseph-Else).

2.3.3.3. Suivi StocaMine

Pendant l'exploitation 2000-2003 :

En surface, les sources de bruit liées à l'activité du stockage étaient principalement dues en phase de fonctionnement :

- o aux bruits résultants de la marche du puits Joseph (circulation des cages),
- o au trafic des camions et wagons,
- o aux opérations de manutention des palettes.

En situation actuelle :

L'activité de StocaMine est réduite et ne concerne que quelques travaux occasionnels de maintenance ainsi que l'activité des services techniques et administratifs situés dans le bâtiment principal.

Il s'agit d'une activité diurne avec des bruits liés au mouvement des véhicules du personnel et temporairement le bruit de cage (descente et remontée du personnel pour la surveillance du site).

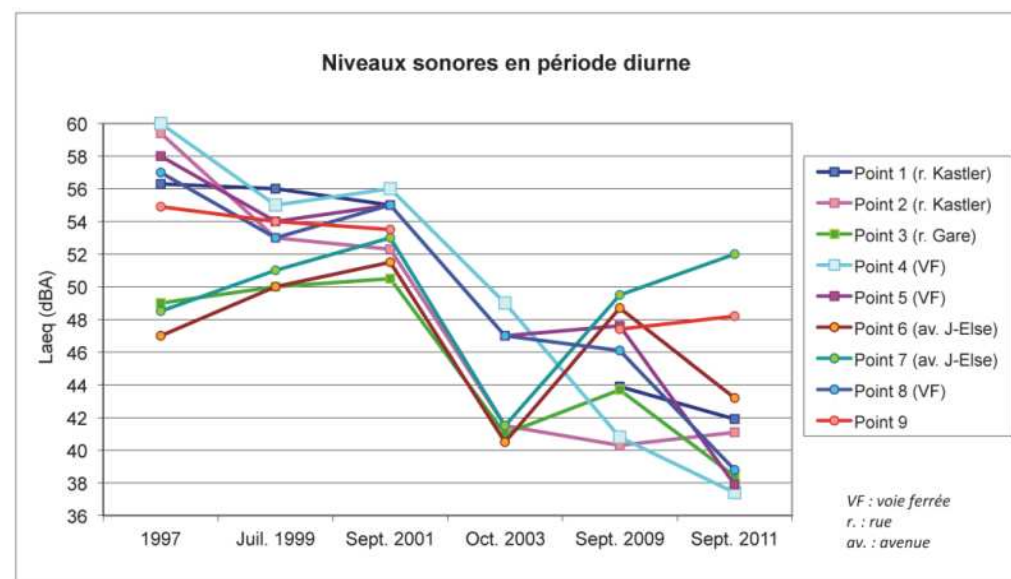
L'installation de ventilation du puits Else fonctionne 24h/24h mais elle est située à 500 mètres de profondeur et n'occasionne que très peu de bruit en surface (niveau sonore uniquement perceptible à proximité immédiate du puits). Un équipement plus puissant (potentiellement plus bruyant) était présent avant la création de StocaMine.

Les résultats des mesures de bruit de 1999, 2001, 2003, 2009 et 2011 sont repris dans le tableau 18 et les graphiques page suivante, avec pour comparaison les valeurs de 1997 :

	Etat initial 1997		Juil. 1999		Sept. 2001		Oct. 2003		Sept. 2009		Sept. 2011	
Unité	Laeq, T (dBA)		Laeq, T (dBA)		Laeq, T (dBA)		Laeq, T (dBA)		Laeq, T (dBA)		Laeq, T (dBA)	
Période et points de mesure	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne
1	56,3	38	56	42	55	41,5	-	-	43,9	37,8	41,9	39,2
2	59,4	44,6	53	45	52,3	44,1	41,5	48	40,3	38,1	41,1	41,6
3	49	41	50	43	50,5	43	41	46	43,7	39,4	38,4	40,5
4	60	42	55	46	56	46,5	49	50,5	40,8	37,5	37,4	41,2
5	58	43	54	48	55	47,5	47	50,5	47,6	38,3	37,9	41
6	47	40,5	50	46,5	51,5	46	40,5	43	48,7	35,1	43,2	41,7
7	48,5	38	51	43	53	42	41,5	45,5	49,5	37,8	52	39,8
8	57	38,5	53	48	55	47,5	47	47,5	46,1	35	38,8	40,6
9	54,9	46	54	42,3	53,5	42,9	-	-	47,4	43,9	48,2	36,1

Tableau 18 : Résultat des mesures bruit [20]

N.B. : A partir de 2009, des résultats en phases intermédiaires (6h-7h et 20h-22h) ont été distingués. Pour faciliter les comparaisons seules les mesures jour et nuit sont reprises dans le tableau 18 (pour plus de détail, voir Compte-rendu d'analyse acoustique, site de Stocamine, DBI 2009 et 2011).



Graphique 6 : Résultats des mesures bruit (jour)

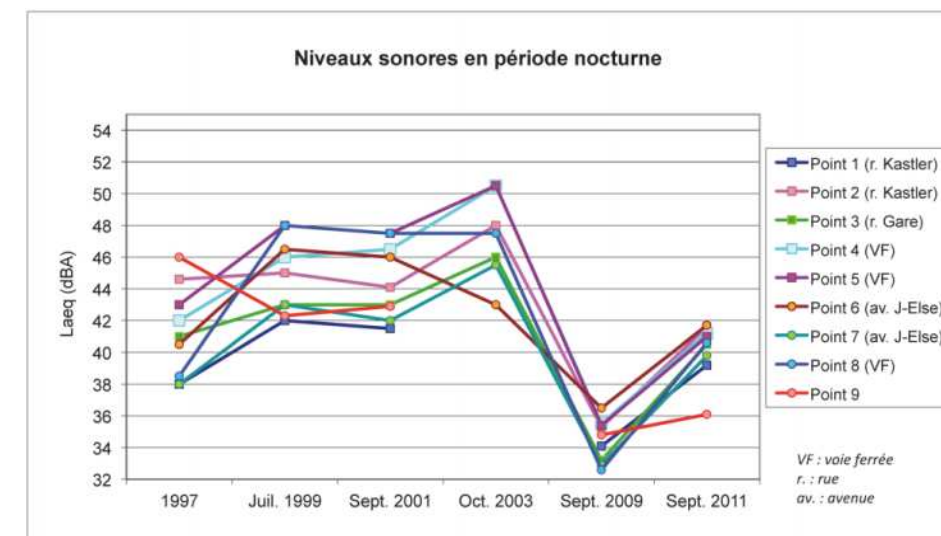
Pour la **période diurne** (cf. graphique 6), les mesures réalisées montrent que :

- Pendant la phase de fonctionnement (1999 et 2001) :
 - les niveaux sonores de 6 points sur 9 étaient plus faibles de 4 à 7 dBA par rapport à 1997,
 - trois points ont présenté un niveau sonore plus élevé :
 - les points 6 et 7 au niveau de la Rue Joseph-Else ce qui est attribuable au trafic sur cette voie et à l'activité sur le site ;
 - le point 3 situé à proximité de la cité Joseph-Else.
- Après l'arrêt de l'exploitation du site, les mesures diurnes réalisées présentent une diminution globale du niveau sonore en comparaison de la phase d'activité et de l'état de référence de 1997 (ordre de grandeur : -4 à -20 dBA).

En **période nocturne** (graphique 7), après une petite augmentation du bruit en 2003 sans aucun lien avec l'activité de StocaMine, on constate en 2009 une baisse générale de l'ambiance sonore depuis 1997 sur l'ensemble des points de mesure (là encore sans réel lien avec l'arrêt de la descente de déchets puisque l'activité était diurne).

En 2011, les mesures de bruit fournissent des résultats proches (voire légèrement inférieurs) à l'état initial de 1997.

Actuellement l'impact sonore de l'entreprise est négligeable par rapport à l'environnement proche (autres sources extérieures prédominantes : SNCF, entreprises voisines, véhicules riverains, chiens, ...). Le site respecte l'ensemble des niveaux limites fixés par l'arrêté préfectoral (résultats des études DBI 2009 et 2011).



Graphique 7 : Résultats des mesures bruit (nuit)

Un état initial du bruit a été réalisé en 1997.

Pendant la phase d'activité de descente des déchets en souterrain, exclusivement diurne, les mesures de bruits réalisées n'ont pas mis en évidence de forte émergence au niveau des zones d'habitations proches.

Depuis 2003, l'activité de StocaMine est limitée à la maintenance des installations. Les mesures de 2009 ont montré une diminution du bruit par rapport à la période d'exploitation et à la période de référence (1997). Les résultats de 2011 sont voisins de ceux de 1997.

En situation actuelle, l'impact sonore du site est quasiment nul en comparaison du bruit ambiant (autres sources prédominantes : SNCF, entreprises voisines, véhicules riverains, chiens, ...).

2.3.4. Risques dans l'environnement du stockage

Note : l'objet de cette partie est de présenter brièvement les risques existant dans l'environnement du site StocaMine (et indépendants de l'activité de stockage pour laquelle une étude de danger avait été réalisée dans le cadre du dossier d'autorisation initial, ce qui n'est pas l'objet du présent chapitre).

2.3.4.1. Échelle communale

Les risques majeurs recensés sur la commune de Wittelsheim sont listés ci-après (source : www.prim.net, Dossier Départemental des Risques Majeurs, DREAL Alsace et fiche de synthèse communale fournie par la préfecture).

a - RISQUES NATURELS

– risque sismique :

L'ancien zonage, en vigueur jusqu'au 30 avril 2011, était défini par le décret du 14 mai 1991. Il découpait la France en 5 zones de sismicité croissante (Zone 0 : sismicité négligeable mais non nulle, Zone Ia : sismicité très faible, Zone Ib : sismicité faible, Zone II : sismicité moyenne, Zone III : sismicité forte).

Le territoire de Wittelsheim, compris dans le canton de Cernay, était alors classé en **zone Ib de sismicité faible**.

Un nouveau zonage sismique de la France est en vigueur depuis le 1er mai 2011 (décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010). Il découpe la France en 5 zones de sismicité croissante :

- zone 1 : sismicité très faible,
- zone 2 : sismicité faible,
- zone 3 : sismicité modérée,
- zone 4 : sismicité moyenne,
- zone 5 : sismicité forte.

Wittelsheim est classé en zone 3, de sismicité modérée.

Des prescriptions pour les constructions sont établies dans les arrêtés suivants :

- Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal » ,
- Arrêté du 24 janvier 2011 pour les installations classées dites Seveso (sera en vigueur à partir du 1er janvier 2013).

– risque inondation :

Les risques recensés classés dans la catégorie inondation sont : Zones Inondables, Remontée de nappe, Digue fluviale, Ouvrage barrage de classe A et il est signalé un arrêté de catastrophe naturel (09-10/04/1983).

La **Thur** s'écoule au **nord de la commune**. La rivière a fait l'objet d'un Plan de Prévision des Risques d'Inondation (PPRI), approuvé par arrêté préfectoral du 30 juillet 2003. Ce PPRI définit la zone inondable associée à la Thur (référence crue centennale).

Un Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) "remontée de nappe du bassin potassique" a été prescrit par arrêté préfectoral n° 001354 du 19 mai 2000. Il signale que « les variations du niveau piézométrique dues au régime hydraulique de la nappe peuvent générer dans certains secteurs des remontées importantes aboutissant à une faible profondeur du niveau d'eau dans le sol, voire éventuellement en certains endroits à une submersion de faible importance ». Il est également précisé que « dans le secteur du bassin potassique, avec la fin des activités minières et post-minières qui s'accompagnaient de pompages industriels puis de désalinisation, la nappe a tendance à reprendre son niveau d'origine. Le risque peut être ponctuellement accentué par des affaissements miniers ».

Le risque lié au barrage (digue) fait référence à l'existence du barrage de Kruth-Widenstein (cf. plus loin).

– risque mouvements de terrain :

Les risques recensés classés dans la catégorie mouvements de terrain sont : effondrements, cavités souterraines, phénomène de retrait et gonflement d'argiles (ce dernier concerne quasiment la totalité du département).

Le risque de mouvements de terrain lié aux affaissements miniers est recensé sur la commune de Wittelsheim.

Le BRGM a recensé des cavités non minières c'est pourquoi le risque de tassements différentiels et d'effondrements lié aux cavités souterraines (hors mines) est également cité.

b - RISQUES LIES A L'ACTIVITE HUMAINE (OU TECHNOLOGIQUES)

– risque industriel :

Il n'y a pas d'établissement classé SEVESO³² à Wittelsheim. Toutefois deux établissements sont situés sur la commune voisine de Cernay (à l'ouest de Wittelsheim).

Le premier établissement est une usine de fabrication de colorants spéciaux : **les établissements BIMA 83** (SEVESO II). L'étude de dangers fait apparaître que des effets toxiques, mais aussi de surpression sont susceptibles d'être générés en situation accidentelle.

³² : C'est-à-dire dont les activités présentent des risques plus importants qui peuvent en cas d'accident conduire à des conséquences humaines et économiques d'ampleur considérable.

Le PPRT (Plan de Prévention du Risque Technologique³³) a été prescrit le 20 décembre 2010 (et est en cours d'instruction) : **la partie est de la commune de Wittelsheim est exposée au risque industriel (secteur de forêt principalement, une partie de la cité Joseph-Else serait dans une zone faiblement exposée au risque).**

Le deuxième établissement est l'usine Dupont de Nemours (fabrication d'insecticides, herbicides et fongicides), dont le PPRT a été approuvé le 6 août 2010. Le périmètre d'exposition au risque est limité aux alentours immédiat de l'usine et ne concerne pas Wittelsheim.

Hors SEVESO, cinq ICPE (Installations Classées Pour la Protection de l'Environnement) sont recensées à Wittelsheim (source : www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr), auxquelles on peut ajouter StocaMine et récemment Jung (2011).

– **risque rupture de barrage :**

Comme les vingt autres communes situées en aval du barrage de Kruth-Widenstein (11,6 M de m³, barrage sur la Thur), Wittelsheim est concernée par le risque de rupture du barrage.

Ce risque est cependant à nuancer puisque la commune se situe à plus de 20 km du barrage.

– **risque transport de marchandises dangereuses :**

Le risque de transport de matières dangereuses concerne Wittelsheim particulièrement sur les RN66, RN83, RD2 et les voies ferrées.

2.3.4.2. Autour de StocaMine

– De par sa position au sud de la commune de Wittelsheim, les installations de surface de StocaMine sont éloignées de plus de 3,5 km de la Thur :

- il n'est pas concerné par le risque inondation de la Thur,
- le risque lié à une rupture du barrage de Kruth-Widenstein reste modéré.

– Sa localisation est également éloignée du périmètre du PPRisque Technologique de BIMA 83 (Cernay).

Parmi les voies les plus proches, seule la voie ferrée peut constituer un risque en cas de transport de matière dangereuse (mais le frêt est peu fréquent).

– Comme tout le territoire de la commune, la nappe alluviale est susceptible de remonter à faible profondeur en hautes eaux, cette contrainte est à prendre en compte dans les infrastructures encaissées telles que des caves, ou dans des points bas tels que le marais de Rothmoos.

Sur le site même de StocaMine (installations de surface), le niveau d'eau dans les piézomètres se situe toujours à plus de 3 m de la surface.

Par ailleurs, ce risque n'affecte pas le stockage de déchets proprement dit puisque celui-ci se situe à plus de 550 mètres sous la base de la nappe alluviale.

– Du fait de sa nature d'Installation Classée, StocaMine constitue sur la commune une source de risque industriel. Il est à proximité de l'entreprise Corrupad classée ICPE.

– Le risque sismique a été particulièrement étudié avant la création du stockage souterrain.

Les conclusions des études réalisées montrent d'une part que le risque sismique peut être considéré comme négligeable pour le dépôt en souterrain [3] et que le cuvelage de la tête des puits est suffisamment résistant pour ne pas être affecté en cas de séisme [7] (pas de risque d'envahissement des puits par l'eau de la nappe).

Cet aspect est repris dans l'étude de sûreté de la matrice réceptrice (Annexe 6 du dossier de demande d'autorisation).

Il est également pris en compte dans l'étude hydrogéologique (étude du risque de transfert par des failles en cas de séisme).

– Enfin, concernant les mouvements de terrain, le stockage souterrain a été implanté dans une zone où les affaissements miniers dus à l'exploitation de la potasse sont déjà stabilisés [2]. Il n'y a pas de dégâts d'affaissement de surface à craindre du dépôt souterrain.

Cet aspect est repris dans l'étude de sûreté de la matrice réceptrice (Annexe 6 du dossier de demande d'autorisation).

Les bâtiments de StocaMine sont implantées dans un secteur qui est peu vulnérable aux risques d'inondation, de rupture de barrage. Il est éloigné des risques industriels ou liés aux transports de matières dangereuses.

Comme tout le territoire de la commune, le site reste soumis aux risques de séisme (sismicité modérée) et, pour les installations de surface, aux mouvements de terrain ou remontées de nappe (risques résiduels faibles).

³³ : Les PPRT sont des plans qui organisent la cohabitation des sites industriels à risques et des zones riveraines. Ils ont vocation, par la mise en place de mesures préventives sur les zones habitées et sur les sites industriels, à protéger les vies humaines en cas d'accident. Les acteurs concernés, industriels et salariés, public et riverains, élus, et services de l'Etat élaborent ces mesures dans le cadre d'une concertation.

2.3.5. Monuments, sites et paysage

2.3.5.1. Patrimoine

La commune de Wittelsheim compte plus d'une trentaine de monuments inscrits à l'inventaire national des Monuments Historiques (source : <http://www.culture.gouv.fr>).

Il s'agit principalement de bâtiments issus de l'activité minière de la commune : le site Amélie (chevalement, hangar, ...), 7 cités ouvrières. Ainsi que des bâtiments religieux (presbytère, chapelle, 3 églises, cimetière) et des éléments de vie sociale (écoles, mairie, salle des fêtes, magasin, ...).

Deux monuments sont classés aux Monuments Historiques³⁴ :

- la salle des fêtes Grasseger (arrêté du 30/06/1998) ; elle est située environ 1,5 km au nord du stockage,
- le bâtiment Joseph-Else (bâtiment en brique construit en 1920, qui abritait la lampisterie et le vestiaire avec bains et douches) classé par arrêté du 28 septembre 2005.

Le site où sont implantées les installations de surface de StocaMine est concerné par les périmètres de protection bâtiment et vestiaire Joseph-Else. Dans ce secteur, tout projet est soumis à l'approbation de l'Architecte des Bâtiments de France (cf. § servitudes inscrites au PLU).

2.3.5.2. Archéologie

Les informations concernant l'archéologie sur la commune de Wittelsheim sont extraites du document d'accompagnement du PLU.

La commune de Wittelsheim a fait l'objet d'un arrêté de zonage archéologique (arrêté SGARE n° 2003/144 du 25 juin 2003 portant création de zones et de seuils de surface dans le cadre de l'archéologie préventive).

Cet arrêté recense deux zones, où sont situés des vestiges archéologiques :

- une zone 760 située à l'est du bourg de Wittelsheim correspondant à une nécropole protohistorique,
- une zone 761 située à l'ouest du bourg correspondant à l'agglomération gallo-romaine de Wittelsheim et à une voie romaine.

Sur ces zones s'appliquent des prescriptions particulières.

De plus, sur l'ensemble du territoire communal, l'arrêté stipule que tout dossier de demande de permis construire, de démolir et d'autorisation d'installations d'une emprise supérieure à 2000 m² doit être transmis au préfet de région.

Dans l'environnement du bâtiments de StocaMine, la sensibilité archéologique est a priori très limitée puisque de nombreux terrassements et remaniements de terrain ont déjà été réalisés antérieurement (ancien site minier en reconversion).

2.3.5.3. Paysage

Les bâtiments de StocaMine sont localisés dans un environnement urbain, sur la zone d'activité Secoia.

Cette zone a été créée en parallèle de StocaMine dans le cadre de la reconversion minière de l'ancien carreau minier Joseph-Else.

L'environnement de l'entreprise se caractérise par un **paysage urbain industriel marqué par l'activité minière**, et constitué :

- au sud par les bâtiments récents de la zone d'activité Heiden à l'ouest,
- au nord par les anciens bâtiments miniers du carreau Joseph (reconvertis en musée ou sites d'implantation d'entreprise) et les entreprises récentes,
- à l'ouest par la cité minière,
- à l'est par le terail Else : ce terail végétalisé tranche nettement dans le paysage tant par sa taille que sa forme ; il constitue un rare point élevé dans le paysage de plaine du bassin potassique.

Un peu plus éloigné, on peut signaler l'ouverture vers le milieu naturel vers l'est avec la forêt de Lutterbach et les zones humides du Rothmoos.

Actuellement, la visibilité éloignée sur le site est assez limitée du fait de la présence d'éléments hauts (bâtiments de l'ancien carreau et bâtiments industriels, forêt) dans un contexte de faible relief.

Les deux puits Else et Joseph constituent par contre des points d'accroche en vision plus rapprochée lorsque l'on arrive sur les voies de dessertes proches.

Le site s'intègre facilement dans son contexte urbain et a fait l'objet d'un traitement paysager réussi (bâtiments récents bien intégrés, zones vertes engazonnées).

Le contexte paysager est peu sensible (site urbain et industriel), excepté vers l'est du fait d'une ouverture vers le milieu naturel.

³⁴ : L'ancien dépôt des pompiers du carreau minier Joseph-Else, anciennement classé, a été radié en 2006 du fait de son mauvais état.

2.4. Environnement minier

Le stockage de déchets ultimes de StocaMine présente la particularité de s'inscrire dans un **environnement souterrain** spécifique déjà partiellement évoqué dans la description du projet :

- le stockage souterrain est **lié par galeries à l'ancienne exploitation de potasse** des MDPa, secteur ouest : l'ancienne mine de potasse et le stockage souterrain sont donc en interaction ; seules les 4 concessions minières directement concernées par StocaMine restent détenues par les MDPa, les autres concessions minières ont été rendues à l'Etat en septembre 2011,
- le stockage, comme l'exploitation de potasse, ont été creusés dans un massif salifère.

L'impact du stockage sur son environnement doit être étudié en tenant compte de la spécificité du milieu dans lequel il est implanté et de son évolution prévisible. Les pages suivantes sont donc consacrées à la description de ce milieu particulier et à son évolution prévisible.

2.4.1. Présentation de l'exploitation minière

Les concessions minières des Mines de Potasse d'Alsace s'étendent sur une quinzaine de kilomètres de large et de long, au nord-ouest de Mulhouse. L'emprise au sol de l'exploitation couvre ainsi près de 100 km², pour une extraction de l'ordre de 423 millions de tonnes de minerai.

Différentes méthodes d'exploitation de la potasse se sont succédées au cours du temps : exploitation partielle puis totale, avec remblayage ou foudroyage³⁵. Au final 90 % du tonnage extrait a été exploité par des méthodes associées au foudroyage ce qui laisse peu de vides en souterrain (en comparaison d'exploitation type chambres et piliers par exemple).

Deux secteurs d'exploitation sont distingués, car isolés par une importante zone faillée :

- le secteur ouest (bassin de Wittelsheim) comprenant les mines Joseph-Else, Amélie, Marie-Louise et Berwiller ainsi que les mines Max, Rodolphe, Alex et Ungersheim.
- le secteur est (bassin de Wittenheim-Ensisheim).

Ces deux secteurs sont indépendants et ne communiquent donc pas entre eux.

Le stockage souterrain est implanté à proximité des puits Joseph et Else, dans la partie sud du secteur ouest des mines de potasse d'Alsace (cf. schéma de localisation du stockage ci-après).

La figure 35 ci-dessous présente l'étendue des concessions minières des MDPa, l'emprise des travaux miniers souterrains du secteur ouest ainsi que la localisation du site de stockage des déchets.

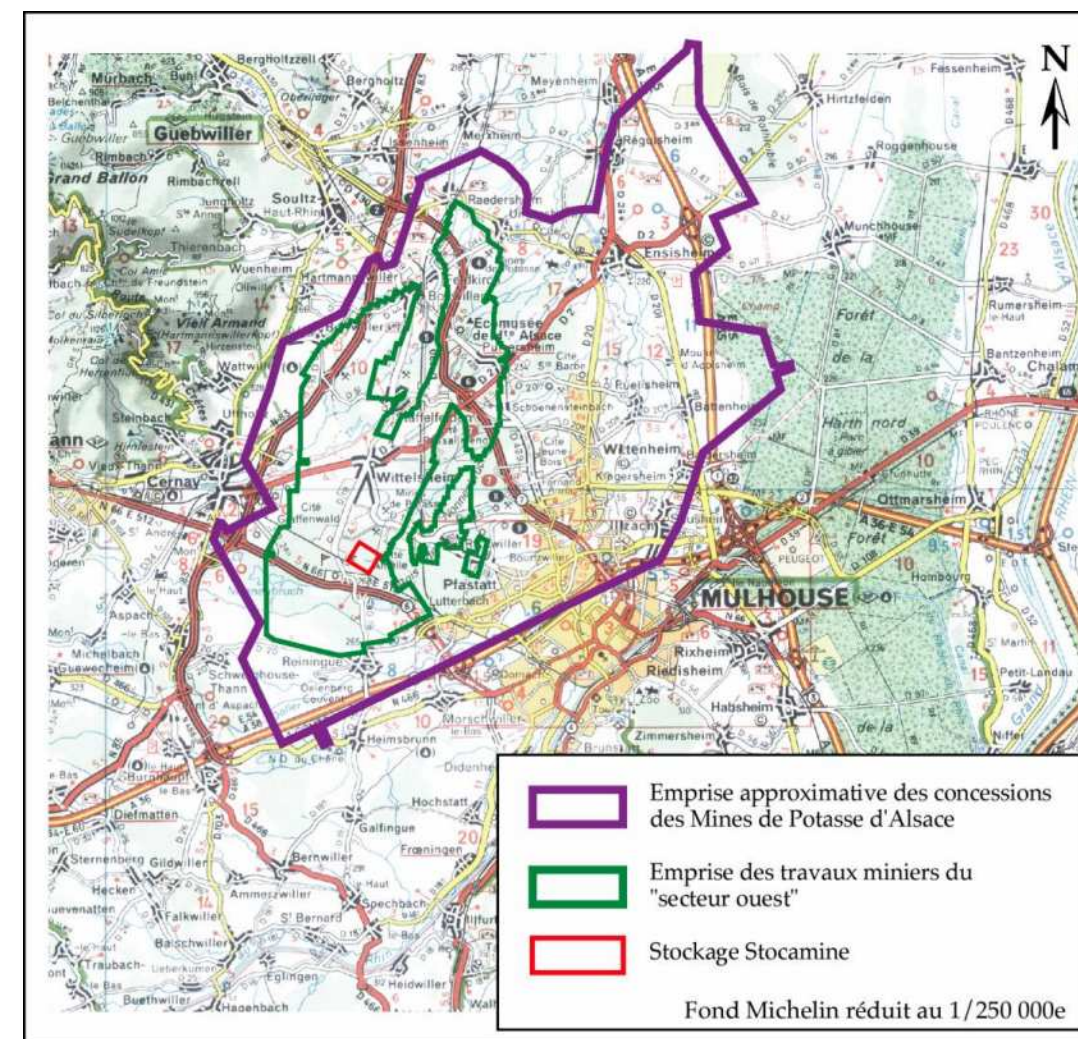


Figure 35 : Localisation du stockage dans l'environnement minier

La figure 36 (page suivante) présente la cartographie des puits et travaux du secteur Ouest.

L'exploitation de la potasse a débuté au sud, à partir des puits Amélie en 1910, puis Max et Joseph (1912) et s'est rapidement étendue vers le centre (puits Marie, 1913). Les puits bordiers Berwiller, Schœnensteinbach et Staffelfelden sont plus récents (respectivement 1961, 1973 et 1971). Le secteur ouest regroupe ainsi 15 puits de mine.

Les différents champs d'exploitation présents dans le secteur ouest (mines Amélie, Joseph-Else, Marie-Louise, ...) sont tous reliés entre eux par des galeries ou par la fissuration liées à la proximité des panneaux exploités. Un stot d'environ 20 m d'épaisseur est toutefois représenté entre le nord et le sud du secteur ouest : il s'agit d'une bande de minerai laissée volontairement en place pour assurer une séparation entre deux secteurs exploités.

³⁵ : Autorembayage du vide minier provoqué par la chute du toit.

FIGURE 36 : LES TRAVAUX MINIERS DU SECTEUR OUEST DES MPDA



2.4.2. Evolution prévisible du milieu minier

2.4.2.1. Préambule

L'activité d'extraction de la potasse s'est achevée en 2002, avec la suspension d'activité de descente des déchets de StocaMine.

La fermeture de la mine de potasse était déjà entamée depuis plusieurs années puisqu'au fur et à mesure de l'arrêt des différents quartiers d'exploitation les puits de mine avaient été fermés et mis en sécurité.

La mise en sécurité de ces puits s'est traduite par leur remblayage complet avec mise en place de remblais comprenant des niveaux de cendres volantes destinés à limiter les venues d'eau (en effet, les seules venues d'eau pérennes observées dans la mine en exploitation se faisaient par l'intermédiaire des puits de mine).

Actuellement, la majorité des puits de mine est donc remblayée, seuls deux puits en lien avec le stockage souterrain sont encore ouverts : il s'agit des puits Joseph et Else.

Malgré le remblayage des puits de mine, un certain débit d'eau va pouvoir transiter depuis la nappe alluviale vers la mine puis descendre gravitairement vers les points bas pour remplir progressivement l'ancienne exploitation. Le long de son parcours, cette eau va se saturer en sel et former de la saumure. Le niveau de saumure va progressivement monter dans l'ancienne mine, aboutissant à l'ennoyage des vides résiduels miniers..

Dans le même temps, un deuxième phénomène se produira : le phénomène de convergence³⁶ qui entraînera la fermeture progressive des vides miniers par fluage des voies et compaction des tailles foudroyées.

A long terme, l'ensemble des vides souterrains résiduels liés à l'exploitation de la potasse aura été rempli de saumure et les vides se refermeront par convergence. La saumure pourrait être mobilisée par le phénomène de convergence et être ainsi repoussée vers la surface (nappe alluviale).

Les différents phénomènes accompagnant l'ennoyage de la mine de potasse en lien avec les chambres de stockage des déchets ont fait l'objet de plusieurs études (voir bibliographie en annexe), notamment :

- *Etude de sûreté d'un projet de stockage de déchets toxiques dans la Mine Amélie. Approche des problèmes liés à l'hydrologie*, P. Combes, E. Ledoux, Ecole des Mines de Paris, document non daté (antérieur à février 1997) [4].
- *Etude géologique, hydrogéologique et géotechnique du centre de stockage de StocaMine, Wittelsheim (Haut Rhin)*, MICA Environnement, avril 2004 [28].
- *Synthèse sur l'ennoyage de la mine de potasse Secteur ouest*, CESAME, septembre 2006 [43]
- *Synthèse critique des études hydrogéologiques sur l'ennoyage du site*, INERIS, mars 2010 [50]
- *Analyse critique des études géomécaniques du stockage de StocaMine*, INERIS, avril 2010, [51].
- *Etude géomécanique du stockage de StocaMine*, INERIS, décembre 2010 [53].
- *Etude hydrogéologique de l'ennoyage du site*, INERIS, mars 2011 [55].

Les parties ci-après s'appuient sur ces différentes études. Elles détaillent les phénomènes liés à l'ennoyage de la mine de potasse du secteur ouest, phénomènes qui sont sans lien avec l'existence du centre de stockage mais qui, de fait, ont des implications sur ses impacts potentiels.

³⁶ : Les vides créés en souterrain se ferment au fil du temps sous l'effet du poids des terrains sus-jacents.

2.4.2.2. Phase d'ennoyage

La figure 37 propose une représentation schématisée du phénomène d'ennoyage, avec :

- des suintements passant par les anciens puits de mine bouchés (eau douce, en bleu),
- l'accumulation progressive de cette eau, transformée en saumure sur son parcours au travers des terrains salifère, d'abord dans les points bas de l'ancienne exploitation minière (saumure représentée en violet),
- les vides de l'ancienne exploitation minière, sur deux niveaux, qui ne sont que des vides résiduels du fait du mode d'exploitation,
- la montée progressive du niveau de saumure poussant l'air (flèche noire) vers les points hauts.

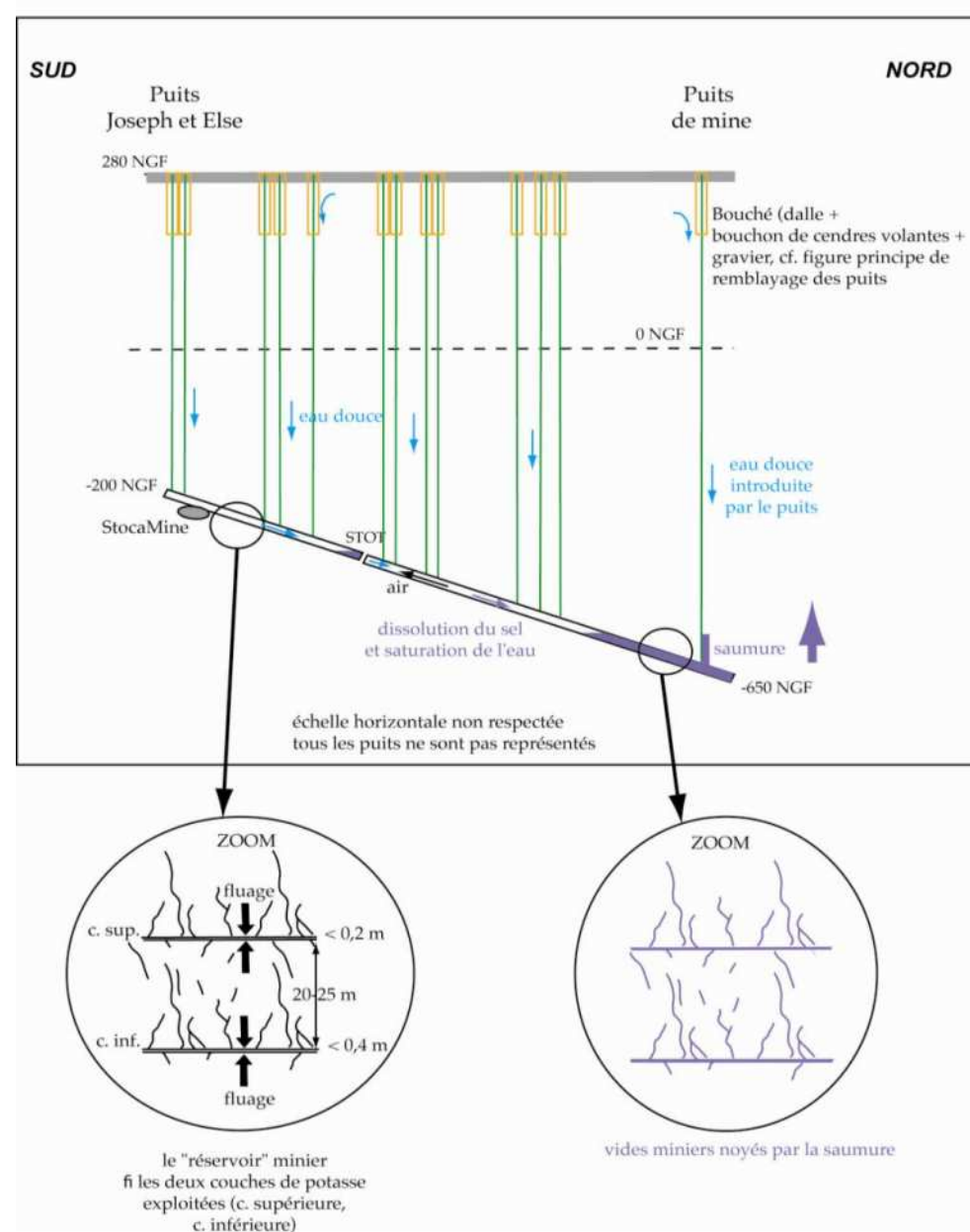


Figure 37 : Schéma de principe de l'ennoyage des MDPA

La vitesse d'ennoyage des anciens travaux miniers de potasse dépend de deux paramètres :

- le volume des vides miniers et leur évolution dans le temps,
- le débit susceptible d'atteindre ces vides miniers.

Le paragraphe suivant décrit et quantifie ces deux paramètres.

a - LES VIDES MINIERES ET LEUR EVOLUTION DANS LE TEMPS

L'évolution des vides miniers peut être décomposée comme suit :

- Le volume qualifié d'« initial » des vides miniers est calculé par l'intermédiaire des tonnages de potasse exploités. Il se répartit entre le volume des tailles³⁷ avant leur foudroyage (environ 95% du volume total des vides miniers) et celui des voies ou galeries (environ 5% du total).
- Après foudroyage, le volume de vides restant au niveau des tailles diminue car une partie du vide s'est reporté en surface (affaissements en surface pendant la phase d'exploitation). La diminution de volume joue essentiellement au niveau des tailles et non des galeries.
- Le fluage du sel conduit ensuite à une fermeture très lente des galeries et, au niveau des tailles foudroyées, la compaction des terrains entraîne également une réduction du volume des vides.

Toutefois, un autre phénomène vient au contraire augmenter le volume à prendre en compte en souterrain : la dissolution. L'eau douce pénétrant dans la mine dissout sur son parcours le sel sur lequel elle s'écoule (jusqu'à atteindre le taux de saturation de la saumure), augmentant ainsi le volume des vides.

Après synthèse des études antérieures et nouvelles modélisations menées dans le cadre de l'expertise 2009-2011, l'INERIS retient les hypothèses suivantes :

• Volumes initiaux et rôle du stot :

Dans le cas présent, on s'intéresse à la partie de la mine de potasse qui est en lien avec le stockage souterrain de déchets.

En ce qui concerne le rôle du stot séparant les mines Amélie et Marie-Louise, des extraits de plans des travaux miniers montrent qu'il a localement été rogné jusqu'à ne mesurer parfois que 4 à 5 m de largeur. Compte tenu des perturbations engendrées par le foudroyage des tailles, il semble très peu probable qu'un stot de seulement quelques mètres de largeur ait pu rester intact ou qu'il le reste à long terme. Cette hypothèse a été confirmée par les résultats d'une modélisation géomécanique et conduit donc à considérer l'ensemble des deux secteurs comme constituant un compartiment unique.

³⁷ : c'est-à-dire les champs d'exploitation.

Le scénario de référence privilégie une communication hydraulique de l'ensemble du secteur ouest à travers le stot endommagé. Le volume initial de vides pour cet ensemble est ainsi de 200 Millions de m³.

N.B. : Par précaution, l'INERIS a toutefois étudié de front les deux scénarios impliquant tantôt l'ensemble du secteur ouest (volume exploité 200 Mm³), tantôt seulement la mine Amélie (90 Mm³) au sein de laquelle se trouve le site de stockage de StocaMine.

• Prise en compte des affaissements en surface :

L'estimation du volume résiduel des tailles après leur foudroyage s'est appuyée sur les taux d'affaissement en surface (études MDPa, BRGM et INERIS sur les topographies anciennes et récentes et les affaissements mesurés sur certains points de suivi) et l'expérience des MDPa.

Les volumes résiduels des tailles après affaissement représenteraient ainsi entre 10 et 30% des vides initiaux (respectivement pour 10% les secteurs profonds et 30 % dans le secteur le moins profond).

• Prise en compte de la compaction et du fluage :

Le poids des terrains situés au-dessus des anciens travaux miniers constitue une pression sur les zones d'exploitation et les galeries. Les vides présents à leurs niveaux permettent une déformation du sel.

Pour les champs d'exploitation on parlera principalement du phénomène de compaction des terrains (avec rapprochement du toit et de la sole des champs d'exploitation). Pour les galeries il faut tenir compte d'un rapprochement des parois horizontales mais également verticales (déformation par fluage).

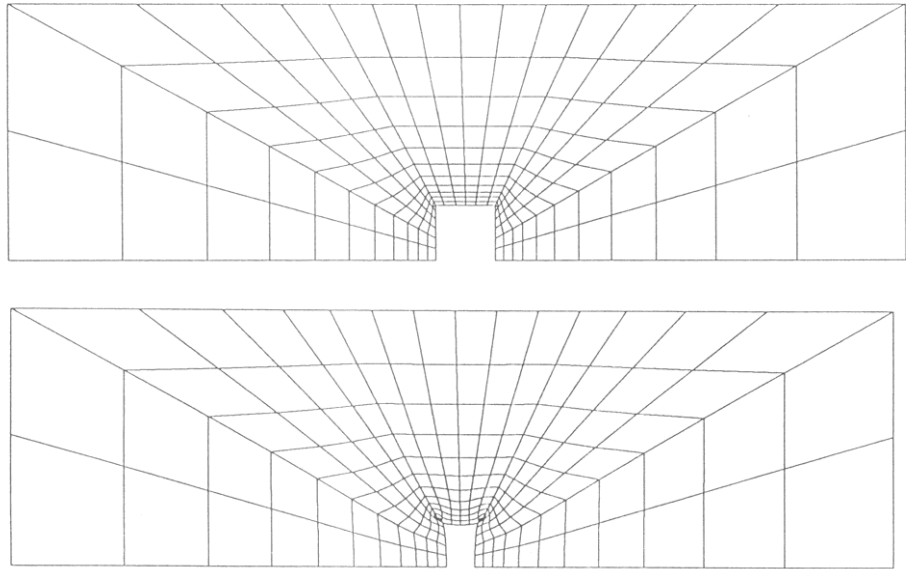


Figure 38 : Illustration du phénomène de fluage sur une galerie

Après foudroyage et arrêt de l'exploitation, les phénomènes de compaction et de fluage interviennent donc pour refermer les vides résiduels souterrains; leurs effets sont toutefois différents selon que les vides miniers sont déjà ennoyés ou non. Par ailleurs, la profondeur et la température modifient également la vitesse des phénomènes.

Cas des vides non encore noyés :

L'étude géomécanique récente (Laouafa 2010) conduit à retenir **des vitesses de convergence (= vitesses de rapprochement des parois) des différents vides souterrains avant l'ennoyage :**

- **de l'ordre de 0,1% par an pour les tailles foudroyées ;**
- **de l'ordre de 1% par an en moyenne pour les galeries** au niveau du stockage (autour de 550 m de profondeur).

Il s'agit là de valeurs moyennes, l'INERIS a tenu compte de différences entre les secteurs plus ou moins profonds. Ces vitesses diminuent très lentement, sur la durée de l'ennoyage et l'INERIS les a considérées comme constantes. Cette hypothèse est prudente, en particulier dans le cas des galeries éboulées où une décroissance beaucoup plus forte des convergences est prévisible d'après l'expérience des MDPa.

Cas des vides déjà noyés :

L'ennoyage affecte le phénomène de fluage par le biais de la **pression de fluide qui s'exerce sur les parois et s'oppose à la fermeture.**

L'effet maximal se fera sentir lorsque le niveau de saumure dans la mine atteindra sa cote maximale, c'est-à-dire le niveau de la nappe alluviale d'Alsace. Ceci exercera une pression sur les vides miniers ennoyés dont la valeur peut varier selon la profondeur. Elle est voisine de 6 MPa à la profondeur du stockage (550 m). **La vitesse de fluage des voies sera alors fortement réduite** jusqu'à atteindre 0,1% par an et la vitesse de compaction des tailles foudroyées sera d'environ 0,01% [53] (là encore ordre de grandeur prudent de la moyenne, valeur à adapter en fonction de la profondeur).

Type de vides miniers	Avant ennoyage	A la fin de l'ennoyage
Voies à la profondeur du stockage	1% par an	0,1% par an
Tailles foudroyées	0,1% par an	0,01% par an

Tableau 19 : Résumé des vitesses moyennes de convergences retenues (INERIS)

La prise en compte des affaissements et des phénomènes de convergence et compaction déjà avancés du fait de l'âge des travaux miniers conduit l'INERIS à retenir en situation actuelle une estimation des vides résiduels miniers d'une trentaine de millions de m³.

• Prise en compte de la dissolution :

Comme indiqué précédemment, la dissolution de sel par l'eau s'introduisant dans la mine va augmenter le volume de vides à remplir. Pour estimer l'importance de ce phénomène, on retiendra que la salinité à saturation pour un mélange NaCl+KCl correspondant au minerai potassique³⁸ des MDPA est de l'ordre de 406 g/l soit une densité de saumure saturée de 1,24 (Lourdel, 2004b).

Le volume de sel dissout correspond donc à 24% du volume d'eau introduit. Cette dissolution représente donc un volume de vides supplémentaires de l'ordre de 25 000 m³/an pour l'ensemble du secteur ouest des mines de potasse (2 400 m³/an pour la mine Amélie seule).

b - DEBIT D'ENNOYAGE

Le deuxième paramètre influant sur la vitesse de remplissage de la mine est le débit d'ennoyage des vides résiduels. Ce débit dépend du type de circulation des eaux par les puits (à l'intrados et/ou à l'extrados) et de l'état de conservation de leur structure, l'ennoyage se produisant en effet sur plusieurs siècles.

Plusieurs hypothèses ont été étudiées dans les différentes études d'ennoyage réalisées. Une première estimation des débits d'ennoyage peut être faite en tenant compte des débits des circulations à l'intrados des puits (= à travers les bouchons de remblayage des puits). Celle-ci conduit à un débit d'alimentation de 22 000 m³/an pour le secteur ouest (dont 1800 m³/an pour la mine Amélie).

Des données récentes fournies par les MDPA, indiquent que les puits Amélie I, Amélie II et Max présentent des débits d'infiltration de respectivement 4,2 m³/jour, 3,2 m³/jour (remblayages récents) et 0,8 m³/jour (remblayage plus ancien), plus faibles que les débits avant fermeture. Par ailleurs, il a été possible d'observer le cheminement des eaux après le comblement des puits Max et Amélie 2 (égouttement de stalactites, traces de chenaux de dissolution) et de ces observations [55] [57], **l'INERIS conclut que les circulations à l'extrados auront probablement tendance à devenir prépondérantes par rapport à celles pouvant se produire à travers les matériaux de remblayage des puits.**

L'hypothèse majorante prenant en compte que les débits observés pendant l'exploitation pouvaient être liés à des circulations à l'extrados des puits mènerait à retrouver, malgré la présence des bouchons, un débit proche de celui de l'exhaure pendant l'exploitation (soit 58 000 m³/an pour le secteur ouest et 5100 m³/an pour la mine Amélie) ; cette hypothèse correspondrait à la situation actuelle.

Les échelles de temps étudiées étant très longues, l'INERIS estime qu'il serait nécessaire de prendre en compte le vieillissement des matériaux d'équipement des puits, des matériaux de comblement de l'intrados ainsi qu'une augmentation éventuelle des circulations à l'extrados des puits (dissolution du sel par l'eau douce), bien que tous les puits seront remblayés et que le débit d'eau provenant de la nappe est et sera régulé au niveau des terrains de recouvrement insolubles.

Cette hypothèse plus sécuritaire³⁹, tenant compte d'une dégradation progressive de l'équipement des puits conduirait à terme à un retour des débits à des valeurs proches de celles observées au cours de leur fonçage en régime stationnaire (soit 105 000 m³/an pour le secteur ouest et 9 800 m³/an pour la mine Amélie).

c - DUREE D'ENNOYAGE

Sur la base du volume des vides (fonction du volume initial, du taux d'affaissement, des vitesses de convergences, de la dissolution) et du débit d'eau y pénétrant, il est possible de calculer à chaque pas de temps t une durée résiduelle d'ennoyage D_{RE}(t) comme étant le rapport du volume résiduel des vides miniers V_R(t) au débit d'ennoyage Q :

$$D_{RE}(t) = V_R(t) / Q$$

Cette durée résiduelle d'ennoyage diminue graduellement en fonction du temps du fait de la diminution des volumes restant à envoyer, diminution liée à la fois à leur remplissage par l'eau d'ennoyage et à leur fermeture par fluage ou compaction. L'ennoyage est considéré comme terminé lorsque cette durée devient nulle.

Ainsi, dans le cas du scénario de référence retenu par INERIS, l'ennoyage devrait durer environ 300 ans dans le secteur ouest où l'eau peut pénétrer par 15 puits de mine, ce qui amène la fin théorique de l'ennoyage vers l'an 2310 (tableau 20).

Rappel des hypothèses		Durée d'ennoyage
Volume de vide créé par l'exploitation (Vi)	200 M m³	≈ 300 ans
Vides après affaissements	≈ 10 à 30% suivant profondeur des travaux miniers	
Evolution des vides	Fonction de la profondeur Moyenne ≈ 0,9 à 1%/an galeries Moyenne ≈ 0,1%/an tailles	
Evolution des vides zones noyées	Vitesses réduites d'un facteur 10	
Débit d'alimentation	105 000 m³/an	

Tableau 20 : Durée d'ennoyage approchée des vides miniers pour le scénario de référence

N.B. : Une discussion sur l'influence des hypothèses retenues (vides et débits) est proposée dans le chapitre 8. On peut également retrouver tous les scénarios étudiés par l'INERIS dans l'étude [55].

³⁸ : il s'agit de sylvinite renfermant 60% de NaCl, 25% de KCl et 15% d'insolubles (Lourdel, 2004a).

³⁹ : avec des débits plus forts, l'ennoyage est plus rapide et conduit au terme du raisonnement à des impacts plus forts.

2.4.2.3. Fin de l'ennoyage, risque de sortie de saumure de la mine vers la surface

La fin de l'ennoyage correspond à la phase où **tous les vides résiduels de la mine de potasse seront soit fermés soit remplis par de la saumure.**

Plusieurs études ont été menées pour définir si la saumure contenue dans les vides résiduels pouvait remonter jusqu'en surface.

L'INERIS a récemment synthétisé et complété ces études, en s'appuyant pour certaines hypothèses sur l'avis d'experts extérieurs [55].

Ont été ainsi examinés :

- les phénomènes moteurs qui pourraient conduire à une remontée de saumure :
 - remontée par diapirisme ;
 - déséquilibre hydrostatique entre amont et aval de la mine ;
 - poursuite du fluage,
- les chemins possibles de remontée de saumure vers la surface :
 - les puits de mine ;
 - les anciens forages de reconnaissance ;
 - les failles.

Les paragraphes ci-après font la synthèse des scénarios découlant de ces hypothèses de remontée de saumure afin de déterminer le scénario le plus probable et le plus défavorable.

C'est ce scénario, dit « de référence », qui a été retenu dans la suite des études INERIS pour préciser les contraintes associées en cas de fermeture du stockage souterrain.

a - SCENARIO DE REMONTEE PAR DIAPIRISME

Ce scénario a été étudié par l'INERIS en s'appuyant sur un avis d'expert extérieur (Bruno VENDEVILLE). Il concerne le risque de remontée de la masse de sel vers la surface, incluant le site de stockage et ses déchets, suite à la formation d'un diapir ou d'un dôme de sel.

Une masse de sel située sous une couverture, comme cela est le cas dans le bassin potassique, ne peut remonter que si les pressions, contraintes et forces générées par la gravité sont suffisamment élevées pour vaincre la résistance de l'encaissant à la déformation.

Cela nécessite que la couverture soit localement peu épaisse, ce que ne permettent que deux processus :

- le premier processus intervient dès le dépôt des premières séries post-salifères, lorsque l'encaissant est encore mince et que son épaisseur varie rapidement latéralement ; cela génère des contraintes locales liées à la surcharge sédimentaire ;

- le second processus est l'extension superficielle de la couverture au-dessus du sel qui se traduit par son amincissement localisé et par la possibilité de remontée du sel sous des failles normales.

Aucun de ces deux processus ne correspond au cas du bassin potassique d'Alsace : de ce fait, les risques de formation et de remontée de dôme ou diapirs de sel dans le secteur du site de stockage sont négligeables, voire même nuls, sur une échelle de temps de plusieurs dizaines de milliers d'années.

Dans la mesure où les risques de formation et de remontée de dôme ou diapirs de sel dans le secteur du site de stockage sont négligeables à nuls, le risque d'épanchement de saumure par ce biais est nul.

b - SCENARIO D'EPANCHEMENT DE SAUMURE DU FAIT D'UN DESEQUILIBRE HYDROSTATIQUE

L'eau qui peut pénétrer dans la mine est une eau douce (densité 1). Au contact du sel elle se transformera en saumure (densité 1,24). La saumure des vides miniers sera donc plus dense que les venues d'eau. En fin d'ennoyage, les venues d'eau dans les puits auront donc tendance à s'accumuler au-dessus de la saumure.

Autrement dit, le système minier présentera une phase d'eau douce (issue de la percolation à travers les puits de mine) surmontant une phase de saumure saturée provenant de la dissolution du sel dans la mine.

Ce contraste de densité peut aboutir soit à une stabilité de l'ensemble, soit au contraire à la mise en place d'un écoulement par déséquilibre permanent des pressions hydrostatiques.

Le schéma suivant (figure 39) explique le comportement de l'interface eau-saumure pouvant s'instaurer dans un système comparable à celui des mines de potasse

L'équilibre entre l'eau et la saumure dépend de la densité des deux phases, de la géométrie des couches de sel et du niveau hydrostatique imposé en surface.

Ce phénomène a été étudié par l'INERIS avec l'intervention d'un expert extérieur (M. BONNET) et concerne le risque de mise en place d'un écoulement spontané de saumure par effet de densité entre les puits miniers situés en amont et en aval de la nappe d'Alsace⁴⁰.

⁴⁰ : Tous les puits de mine traversent la nappe d'Alsace. Par puits amont on entend les puits pour lesquels le niveau aquifère de surface (nappe d'Alsace) est plus haut que dans les puits aval, du fait du sens général d'écoulement de la nappe.

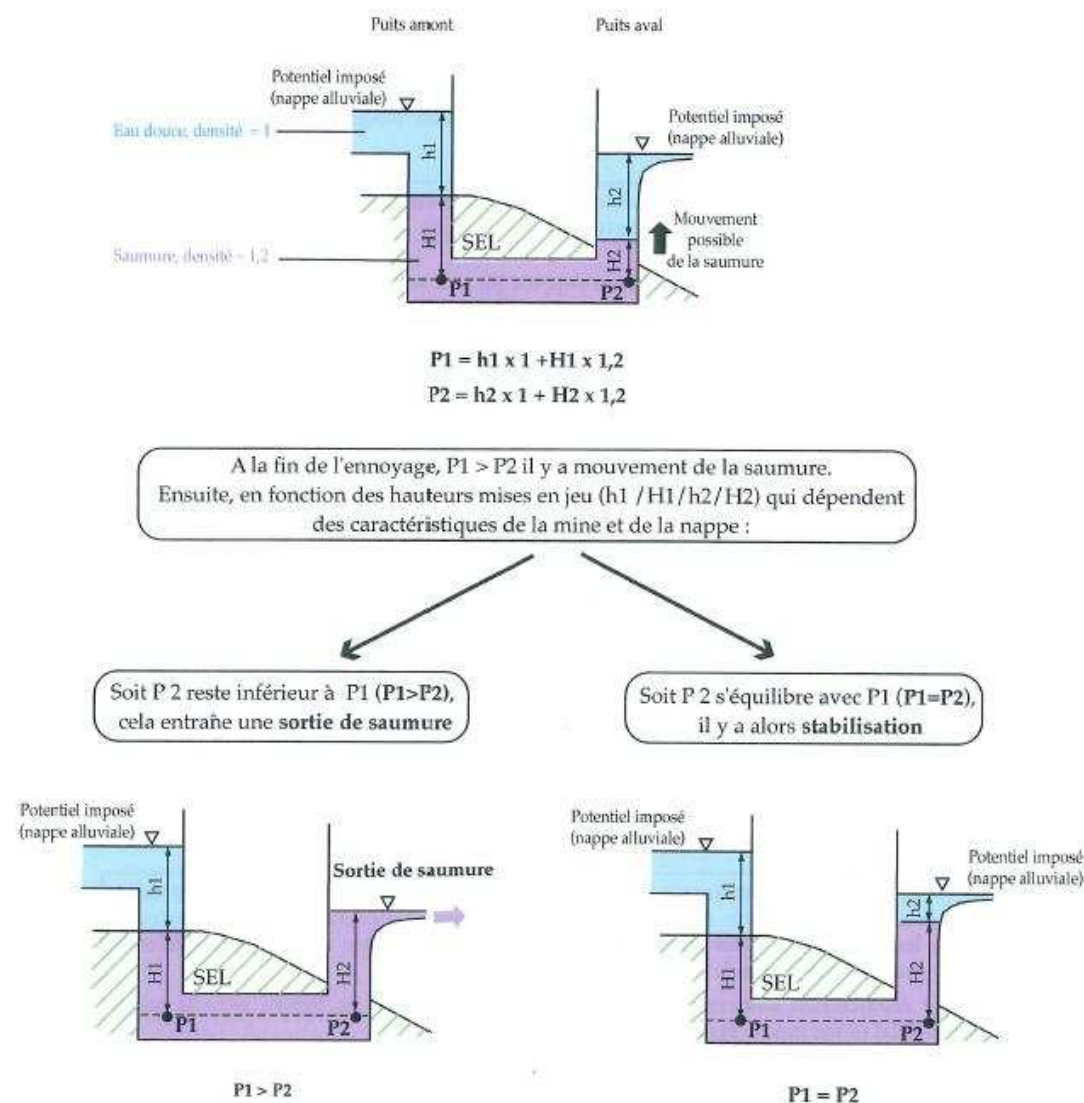


Figure 39 : Schématisation du comportement de l'interface eau/saumure en fin d'ennoyage.

Au sud de la mine, le niveau hydrostatique (imposé par la nappe aquifère de la plaine d'Alsace) est plus élevé qu'au nord et les terrains salifères sont également à une altitude plus élevée. A la fin du remplissage de la mine, la colonne de liquide dans les puits sud sera donc à la fois plus haute et plus dense (niveau de sel plus élevé), ce qui créera un déséquilibre par rapport aux puits situés au nord de la mine.

Naturellement **le système se rééquilibrera par l'effet de la densité, en faisant remonter l'interface eau douce/saumure dans les puits nord** (voir 40, en bleu l'eau douce, en violet la saumure) afin de créer dans ces puits une colonne de liquide ayant un poids équivalent à celle des puits sud (niveau statique plus bas mais densité plus forte résultant d'une hauteur de saumure plus grande).

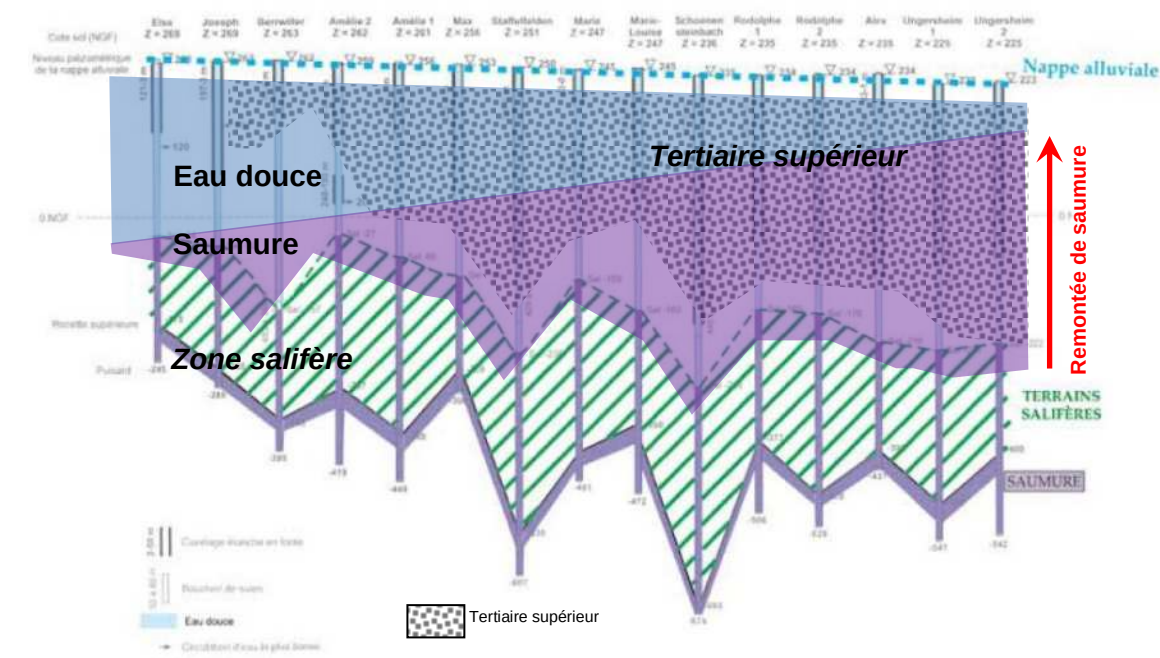


Figure 40 : Niveau de remontée de la saumure dans le secteur ouest

Note : le remplissage d'eau ou de saumure ne concerne que les vides miniers et les puits de mine mais l'ensemble des terrains sus-jacents au sel a été coloré pour faciliter la compréhension.

Si l'interface eau douce/saumure se retrouve, dans un des puits sud, au niveau de terrains perméables (Tertiaire supérieur par exemple), présentant un écoulement horizontal, la saumure sera entraînée au fur et à mesure de son arrivée au droit de ces terrains, interdisant de ce fait l'augmentation de salinité (donc de densité) indispensable pour atteindre un équilibre hydrostatique.

C'est en admettant cette hypothèse, résolument pessimiste, qu'il pourrait se produire un épanchement de saumure par un puits à son intersection avec la base des terrains du Tertiaire supérieur ou la base des alluvions de la plaine d'Alsace.

Toute la question est donc de savoir si cette remontée de saumure est susceptible d'atteindre la nappe alluviale et de s'y épancher.

- Dans le cas du secteur ouest pris dans son ensemble (figure 40figure 41), la saumure dense remontera dans les puits aval afin d'équilibrer sa charge hydrostatique par rapport au puits amont possédant la cote du toit du sel la plus haute c'est-à-dire le puits Else. L'ampleur de cette remontée restera inférieure à 100 m dans les 5 puits de la mine Amélie (à l'exception du puits Max) mais elle pourra atteindre jusqu'à 400 m dans les puits situés le plus à l'aval du secteur ouest (de Schoenensteinbach à Ungersheim).

Dans ce dernier cas, l'interface eau douce/eau salée se positionnera au niveau du Tertiaire supérieur dont les niveaux perméables renferment une eau saumâtre : si cette eau est en écoulement, cela engendrera soit l'entraînement de la saumure au sein du Tertiaire supérieur (si son débit est élevé), soit une dilution de la saumure à l'origine d'une nouvelle remontée de l'interface en direction de la nappe alluviale.

- Dans le cas où la mine Amélie resterait isolée du reste du bassin, l'interface eau douce/saumure resterait en dessous du mur du Tertiaire supérieur, sauf au puits Max où elle ne le dépasserait que d'environ 15 m, se trouvant ainsi à environ 200 m sous le mur des alluvions quaternaires. Dans ce contexte, il est peu probable que l'interface puisse remonter de cette hauteur afin de permettre à la saumure de s'épancher dans la nappe alluviale. Les calculs mettent en évidence la possibilité d'un épanchement de saumure de quelques m³/an qui devrait être intégralement absorbé par les niveaux perméables du Stampien.

Un écoulement significatif de saumure sous le seul effet du gradient de densité n'est pas possible dans le cas de la mine Amélie isolée. Par contre, dans la mesure où le stot est perméable (= secteur minier ouest pris dans son ensemble, hypothèse la plus probable), un écoulement pourrait se mettre en place – à terme - avec entrée d'eau douce de la nappe alluviale dans les puits amont et sortie de saumure saturée par les puits aval. La quantification du phénomène est présentée ci-après.

Dans le cas du secteur ouest pris dans sa globalité, les débits d'épanchements ainsi créés pourraient varier entre 20 et 50 m³/an par puits [55] avec un cumul de l'ordre de 200 m³/an pour les 5 puits les plus en aval.

Une part non connue de ce débit de saumure sera absorbée par les niveaux perméables du Tertiaire supérieur mais la probabilité est non nulle que l'interface remonte jusqu'à la nappe alluviale et y crée un épanchement de saumure : les débits d'épanchement dans la nappe alluviale ne sont pas calculables dans l'état actuel des connaissances mais, dans l'hypothèse majorante, ils pourront être pris égaux aux débits sus-mentionnés.

Cependant, du fait que l'eau entre par les puits amont et sort par les puits aval, distants d'environ 10 km, le temps de transit serait de l'ordre d'un à quelques milliers d'années : le site de stockage étant implanté au sud de la mine, force est de constater que l'apparition d'un éventuel épanchement d'une saumure contaminée par lessivage des déchets ne pourrait pas se produire avant la fermeture pratiquement complète de la mine du fait du fluage du sel.

D'autre part, ce mécanisme d'écoulement sera contrebalancé par l'épanchement de saumure dû à la poursuite de la compaction des tailles envoyées dont l'importance est supérieure d'un facteur 10 (voir ci-après) et qui affecte aussi bien les puits aval que les puits amont, s'opposant - dans ce dernier cas - à une entrée d'eau douce à l'amont du système.

Si l'on tient compte de la fermeture des vides et de la distance séparant les puits amont des puits aval, un épanchement significatif de saumure en surface par écoulement hydrodynamique spontané de l'amont vers l'aval du secteur ouest sous l'effet d'un gradient de densité est peu probable. S'il se produit, il sera négligeable par rapport à l'épanchement lié à la poursuite de la compaction, qu'il s'agisse du cas de la mine Amélie isolée ou de l'ensemble du secteur ouest.

C - SCENARIO D'UN ECOULEMENT PAR POURSUITE DE LA COMPACTION

- Via les puits remblayés

L'étude géomécanique [53] estime que le mécanisme de compaction des vides miniers pourrait se poursuivre jusqu'à la fermeture complète de la mine. Il continuerait donc d'affecter les vides miniers résiduels après leur ennoyage.

Cette réduction de volume pourrait ainsi conduire à remobiliser la saumure accumulée en souterrain qui serait poussée à s'évacuer vers la surface. **Un épanchement de saumure se produirait alors en surface par l'ensemble des puits de la mine.**

A la fin de l'ennoyage de la mine (dans environ 300 ans), le volume des vides miniers résiduels serait de l'ordre de 30 Mm³ dans le secteur ouest (sur la base des hypothèses d'affaissement, compaction, ... précédemment présentées).

Une fois la mine pleine, le volume annuel d'épanchement de saumure serait égal à la diminution de volume liée à la compaction résiduelle. La quantification du phénomène passe par l'étude géomécanique de l'évolution des vides en présence de saumure, qui exerce une « contre-pression » proportionnelle à la pression hydrostatique de saumure. Il en résulterait une vitesse de compaction résiduelle, après ennoyage, voisine de 0,01% par an (cf. page 75).

Sur ces bases il est possible d'estimer le débit de sortie de saumure. Celui-ci s'élèverait à environ 3000 m³/an pour l'ensemble du secteur ouest dans les premières années, puis diminuerait ensuite proportionnellement à la diminution du volume résiduel.

Un épanchement de saumure se produirait alors au niveau des 15 puits de mine de l'exploitation ouest des mines de potasse.

Le scénario d'un écoulement par poursuite de la compaction est très probable. La sortie de saumure se ferait par l'intermédiaire des 15 puits de mine (intrados et extrados) et correspondrait à un débit maximum de 3000 m³/an pour l'ensemble du secteur ouest au cours des premières années. Ce débit diminuerait ensuite progressivement et proportionnellement à la diminution du volume résiduel des vides miniers.

- Autres chemins que les puits : failles, forages

Scénario d'épanchement de saumure par des failles réactivées par séisme :

Le risque lié à une fuite de saumure par le biais de failles après réactivation par un séisme a été étudié avec l'intervention d'un expert extérieur (F. H. CORNET).

L'aléa sismique dans la région Alsace est bien connu, de même que le champ des contraintes à la profondeur des travaux miniers, grâce à des mesures effectuées pour étudier les possibilités de développer une méthode d'exploitation par lixiviation.

Il n'existe que très peu d'informations sur la géométrie des failles. Le contexte local (cf. figure 41, failles proches du stockage) indique qu'il s'agit majoritairement de structures subméridiennes de faible pendage qui ne présentent a priori aucun caractère d'instabilité si l'on retient le champ de contrainte à très faible déviateur mesuré dans les terrains sédimentaires entre 0 et 1000 m de profondeur.

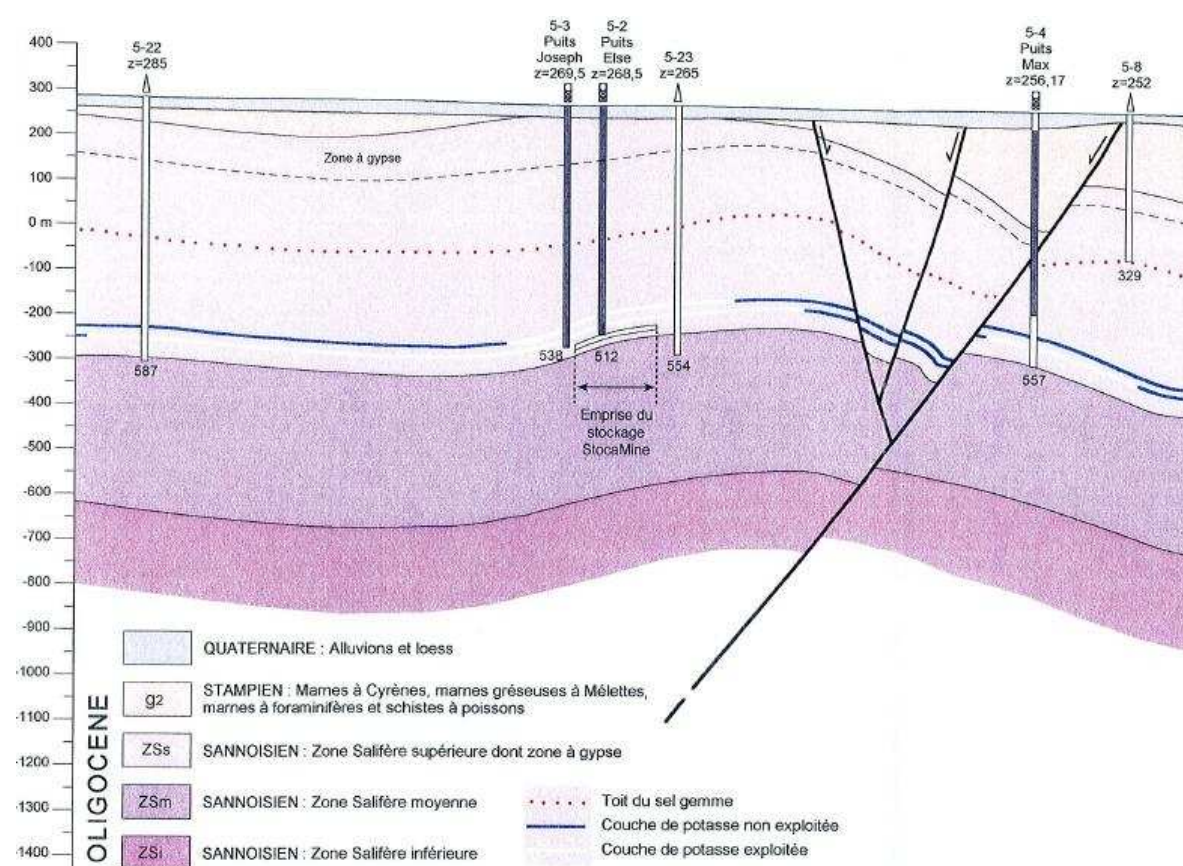


Figure 41 : Extrait de la coupe ouest-est du bassin potassique au droit du site de stockage [28]

Il n'existe pas de règle simple pour identifier si une faille est une zone conductrice du fluide ou si, au contraire, elle constitue une barrière hydraulique.

Notons que les failles recoupées par l'exploitation minière ont montré quelques circulations d'eau mais que les débits observés ont été peu importants et généralement non pérennes (poches « d'eau fossile ») à l'exception de la fracture traversée par le puits Amélie 2 à 236 m de profondeur (laquelle a été traitée au moment de l'équipement du puits).

Pendant toute l'exploitation minière, aucune circulation d'eau pérenne n'a été mentionnée à la traversée d'une faille par les travaux miniers : de ce fait, **les failles existantes sont réputées imperméables au droit de la couche de sel et ne sont donc pas, en l'état, considérées comme des vecteurs potentiels de fuite de saumure.**

Toutefois l'impact d'un séisme sur un aquifère reste mal compris, on ne peut exclure des **modifications du comportement hydraulique de ces failles suite à l'action dynamique d'une sollicitation sismique** qui surviendrait avant la fermeture complète de la mine.

De plus, les zones d'affaissement liées à l'exploitation des mines de potasse d'Alsace peuvent être source de concentrations de contraintes qu'une perturbation sismique pourrait perturber de façon significative.

L'avis d'expert indique ainsi que l'impact des séismes de magnitude⁴¹ supérieure à 5 ne peut pas être considéré comme négligeable sur les caractéristiques des failles déjà reconnues et des zones de fractures associées aux affaissements miniers.

L'hypothèse défavorable conduit donc à étudier le risque de réactivation par un séisme de magnitude 5 à 6 d'une faille, originellement imperméable et traversant la couche de sel.

Pour apprécier l'impact de cette hypothèse, il a été admis que le séisme augmentait la perméabilité de la faille jusqu'à une valeur de l'ordre de 10^{-4} m/s et qu'un déséquilibre hydraulique se mettait en place au sein de la faille. Un épanchement de saumure à l'exutoire de la faille (situé à la base des terrains du Tertiaire supérieur) pourrait alors devenir possible. Le débit maximum au débouché de la faille serait alors compris entre 300 à 1000 m³/an en régime permanent.

Une évaluation de la perméabilité d'une faille réactivée a conclu que le débit maximum de saumure ainsi mobilisée ne dépasserait pas celui des cinq puits de la mine Amélie. Ce phénomène est par ailleurs peu probable et n'aurait donc pas de conséquence significative sur l'ennoyage de la mine ainsi que sur le scénario de fuite d'eau en provenance du stockage vers la nappe phréatique.

⁴¹ : Soit un séisme modéré à fort, causant des dégâts en surface. La base de donnée du BRGM (sisfrance) indique que les intensités maximales mesurées à Wittelsheim sur le siècle écoulé ont été inférieures à 4,5.

Remontée par les sondages de reconnaissance :

Près de 200 sondages ont été réalisés dans ce bassin potassique. Il s'agit de forages partant de la surface pour rechercher la potasse et ou des indices d'hydrocarbures :

- parmi les premiers, seuls quelques sondages anciens, réalisés avant 1913, ont pu donner des suintements d'eau ou des coulées de boue lors de leur recoupement par les travaux miniers ; ils ont été traités par l'exploitant (étanchéifiés) et aucun problème ultérieur n'a été signalé ;
- parmi les seconds :
 - seul le sondage FEL 101 serait resté ouvert depuis son creusement en 1978, du fait d'un projet d'exploitation géothermique, mais il débouche dans une zone située hors exploitation,
 - en dehors de ce sondage, il existe quelques forages anciens colmatés dans le passé, qui ont donné lieu à des suintements voire des venues d'eau limitées lorsqu'ils ont été traversés par l'exploitation minière réalisée plus tard.

Les sondages de reconnaissances ne peuvent constituer des chemins pour la saumure que s'ils sont encore ouverts (on a vu que les ouvrages dans le sel se ferment au fil du temps) ou perméables. Notons que les diamètres de ces ouvrages sont très réduits (sans commune mesure avec les puits de mine).

L'étude réalisée par l'INERIS conclut que la principale voie de communication hydraulique avec l'extérieur est constituée par les puits d'accès. La part éventuelle liée aux sondages de reconnaissance est négligeable devant le chemin de transit offert à l'extrados des puits.

Note importante : Un sondage nommé « Wittlesheim III » (W III) a traversé la zone de stockage de StocaMine. Bien qu'il ne s'agisse pas d'une voie majeure à l'échelle de la mine de potasse, l'ouvrage doit être pris en considération avec attention car situé dans la zone sensible du stockage de déchets. Ce point sera abordé plus précisément dans les chapitres impact – maîtrise des risques.

d - CONCLUSION – SCENARIO DE REFERENCE D'EVOLUTION DU CONTEXTE MINIER

Il a été retenu que l'ancienne mine pouvait se remplir de saumure.

Des études ont été menées pour préciser quels phénomènes pourraient entraîner ensuite une remontée de saumure. L'hypothèse d'une remontée par diapirisme a été écartée.

L'hypothèse d'un écoulement hydrodynamique de l'amont vers l'aval de la mine (secteur Ouest) sous l'effet d'un gradient de densité est apparue comme peu probable et surtout négligeable par rapport à l'épanchement lié à la poursuite de la compaction. C'est ce dernier phénomène qui pourrait le plus probablement entraîner une remontée de saumure avec des débits proportionnels à l'évolution des vides miniers et estimés autour de 3000 m³/an pour l'ensemble du secteur Ouest (puis se réduisant au fil du temps)

Concernant les voies de transfert jusqu'en surface, les puits de mine sont considérés comme la principale voie de communication hydraulique avec l'extérieur.

2.4.3. Incidence de l'évolution du milieu minier sur le projet – Prise en compte dans le projet

L'évolution prévisible de la mine dans son ensemble conduit à retenir que les vides résiduels de la mine de potasse vont être progressivement envahis par de la saumure, du fait d'apports d'eau au niveau des puits de mine.

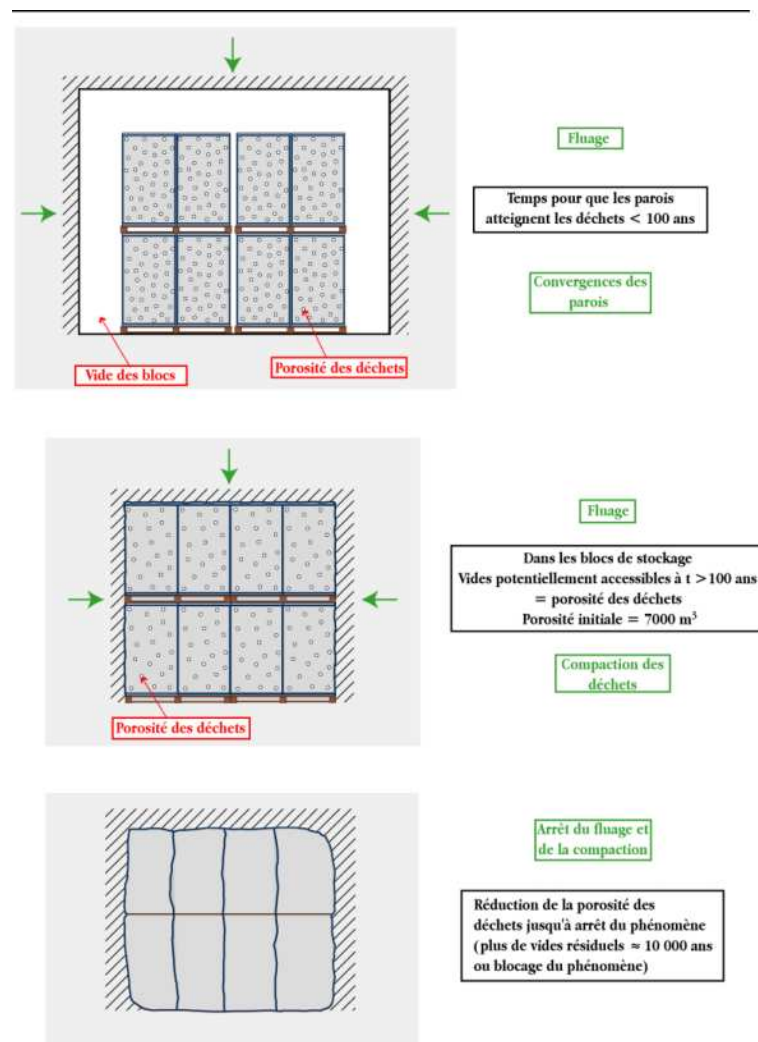


Figure 42 : Représentation schématique des phénomènes de convergence des parois et compaction des déchets du fait du fluage du sel.

Les galeries de stockage étant positionné à une cote plus élevée que les travaux miniers s'étendant plus au Nord (soit la majorité des anciens travaux souterrains cf. figure 37), l'INERIS estime que le niveau de saumure atteindrait le stockage au bout de 240 ans.

A cette échéance, les blocs de stockage se seront partiellement refermés, les parois venant au contact des emballages des déchets. Il resterait toutefois le volume de vides correspondant à la porosité des déchets, par laquelle pourrait passer la saumure (en considérant que les emballages ne seront plus étanches⁴² et qu'il s'agit d'une porosité connectée).

En l'absence de confinement du stockage, la saumure entrerait au contact des déchets et pourrait alors se charger, dans la zone du stockage, en substances dissoutes issues des déchets.

Du fait de l'évolution prévisible de la mine de potasse, le projet doit prendre en compte un risque de contact des déchets avec de la saumure avant que ceux-ci ne soient totalement encapsulés dans le sel.

Cette saumure polluée, se mélangeant à la saumure de la mine pourrait remonter jusqu'à la nappe alluviale de la plaine d'Alsace par l'intermédiaire des puits miniers, sous l'effet de la compaction des vides résiduels.

L'INERIS a travaillé sur la prise en compte de ces phénomènes pour vérifier qu'il existait une possibilité de maîtriser le risque de remontée de polluants et éviter ainsi une pollution de la nappe à très long terme.

Les études menées permettent de fixer les objectifs du confinement du site pour que le projet de stockage illimité soit compatible avec l'objectif de préservation de la qualité de la nappe d'Alsace.

Elles insistent sur le fait que le débit de saumure qui pourrait s'épancher des puits correspondrait à la réduction de volume des vides miniers sous le phénomène de compaction, par unité de temps. Le volume de vides diminuant avec le temps, le débit potentiel d'épanchement diminue également avec le temps.

Il convient donc de retarder autant que possible l'envoyage du stockage et la mobilisation potentielle de la saumure contaminée, en mettant en place des barrières de très faible perméabilité et de longueur suffisante. Il a été retenu de parler de très faible perméabilité plutôt que d'étanchéité car on s'intéresse ici à des phénomènes s'étendant sur plusieurs siècles et à des débits extrêmement faibles.

Ce processus a fait l'objet d'une étude détaillée réalisée par l'INERIS en s'appuyant sur une modélisation tenant compte de la compaction des déchets (phénomène mécanique), l'envoyage (phénomène hydrogéologique) et le transport des contaminants (phénomène hydrogéochimique).

Il ressort de ces études que les phénomènes de compaction :

- s'annuleront dans quelques milliers d'années (< 10 000 ans selon toute probabilité), puisqu'il ne resterait alors plus de vides en souterrain,
- atteindront des valeurs extrêmement faibles, avec des impacts potentiels très faibles au bout d'environ 1000 ans.

Cela signifie que les barrières de confinement du stockage doivent être conçues et dimensionnées pour que leur résistance hydraulique retarde de 1000 ans la sortie de saumure du stockage.

- **Au fil du temps, le volume résiduel des vides diminuant, le débit potentiel d'épanchement de saumure va également diminuer.**
- **L'objectif du confinement sera de retarder suffisamment la mobilisation de saumure polluée (environ 1000 ans) pour que les débits associés soient négligeables et compatibles (s'ils atteignent la nappe) avec les enjeux de qualité sur la nappe d'Alsace, la santé et l'environnement.**

⁴² : Les déchets sont tous emballés (fûts ou big-bags) mais les calculs négligent systématiquement l'effet de barrière que ces emballages pourraient encore constituer.

Ainsi, l'évolution du système avec les barrières de confinement (parfois appelé dans les études « scénario de référence retenu ») est présentée sur la figure 43 et la figure 44.

Etape 1 : 0 à 300 ans

- La mine se remplit progressivement de saumure qui s'introduit par les puits d'exploitation.
- Le stockage de déchets est confiné derrière ses barrières et reste sec.
- Le volume des vides, aussi bien dans la mine que dans le stockage diminue dans le temps (à la vitesse moyenne, avant ennoyage, de 1% par an pour les galeries du stockage et de 0,1% par an pour les tailles foudroyées).
- Le niveau de saumure atteint les barrières au bout de 240 ans environ. La durée de l'ennoyage complet des vides miniers est de l'ordre de 300 ans.

Etape 2 : 300 ans à plusieurs centaines d'années

- L'ennoyage de la mine est terminé.
- La mine pleine poursuit son fluage à vitesse plus réduite du fait de la présence de saumure (vitesse réduite d'un facteur 10 pour les tailles foudroyées) et commence à expulser sa saumure non polluée.
- Les barrières de confinement mises en place autour de StocaMine sont progressivement saturées puis traversées par la saumure non contaminée en provenance de la mine.

Etape 3 :

- La mine poursuit son fluage, avec épanchement de saumure non contaminée à des débits de plus en plus faibles.
- Plusieurs centaines d'années sont nécessaires (compte tenu de la faiblesse des perméabilités des barrières) pour que la saumure remplisse les vides résiduels du stockage (= essentiellement la porosité des déchets) puis retransverse les barrières en direction de la mine sous la pression du compactage des vides résiduels de StocaMine.

Etape 4 : Quelques milliers d'années > 1000 ans

- La saumure potentiellement contaminée est poussée vers les puits et peut atteindre la nappe, avec un débit qui diminue toutefois au fil du temps.
- Achèvement de la fermeture des vides miniers par le fluage.

- Achèvement de l'expulsion vers la nappe d'Alsace de la saumure issue de la mine, incluant une part de saumure polluée issue de StocaMine ; la durée d'achèvement de l'expulsion de la saumure est de quelques milliers d'années.

Etape 5 :

- au delà d'environ 10 000 ans, les phénomènes de compaction et de fluage sont achevés ; les mécanismes résiduels susceptibles de transporter des polluants vers la nappe d'Alsace (par diffusion essentiellement) sont négligeables par rapport à l'effet qu'a pu avoir le fluage.

N.B. :

Pour que les débits mobilisés soient suffisamment faibles l'INERIS précise :

- qu'il faudra s'assurer, par des mesures en place, qu'il n'existe pas de chemins de liaisons entre le stockage et la mine autres que les galeries bouchées, chemins qui pourraient être de type fissures (notion de « zone endommagée » autour des galeries) ou anciens trous de sonde : les vérifications sont en cours,
- que la longueur des barrières a un rôle important car ce paramètre intervient d'une part dans le flux advectif lié au débit (et donc au gradient de pression dans la barrière) et, d'autre part, dans le flux diffusif via le gradient de concentration. En effet, la perméabilité et la longueur sont deux paramètres majeurs et dimensionnants pour la conception des barrières.

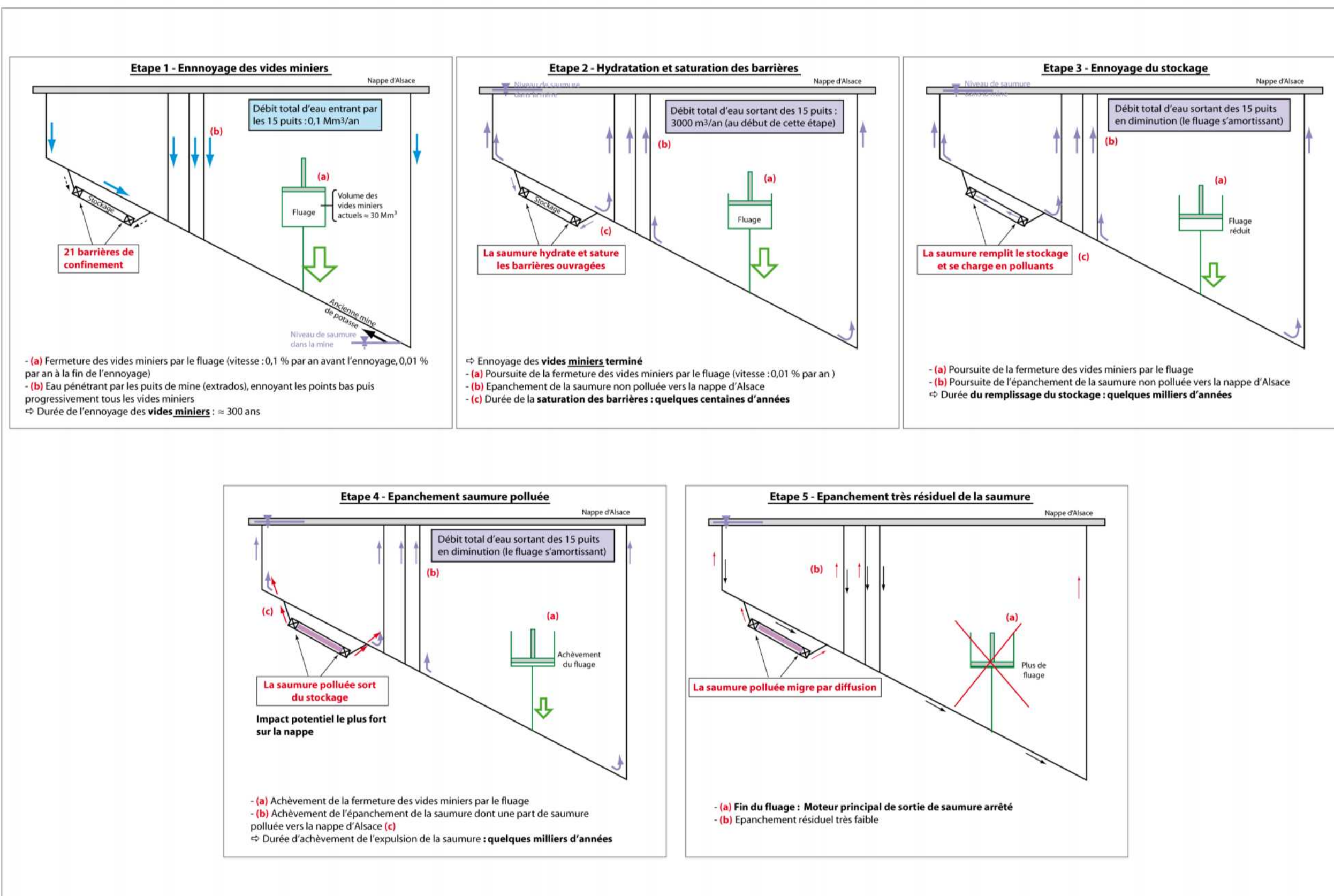


Figure 43 : Evolution du système, scénario avec barrières de confinement du stockage (d'après INERIS [68])

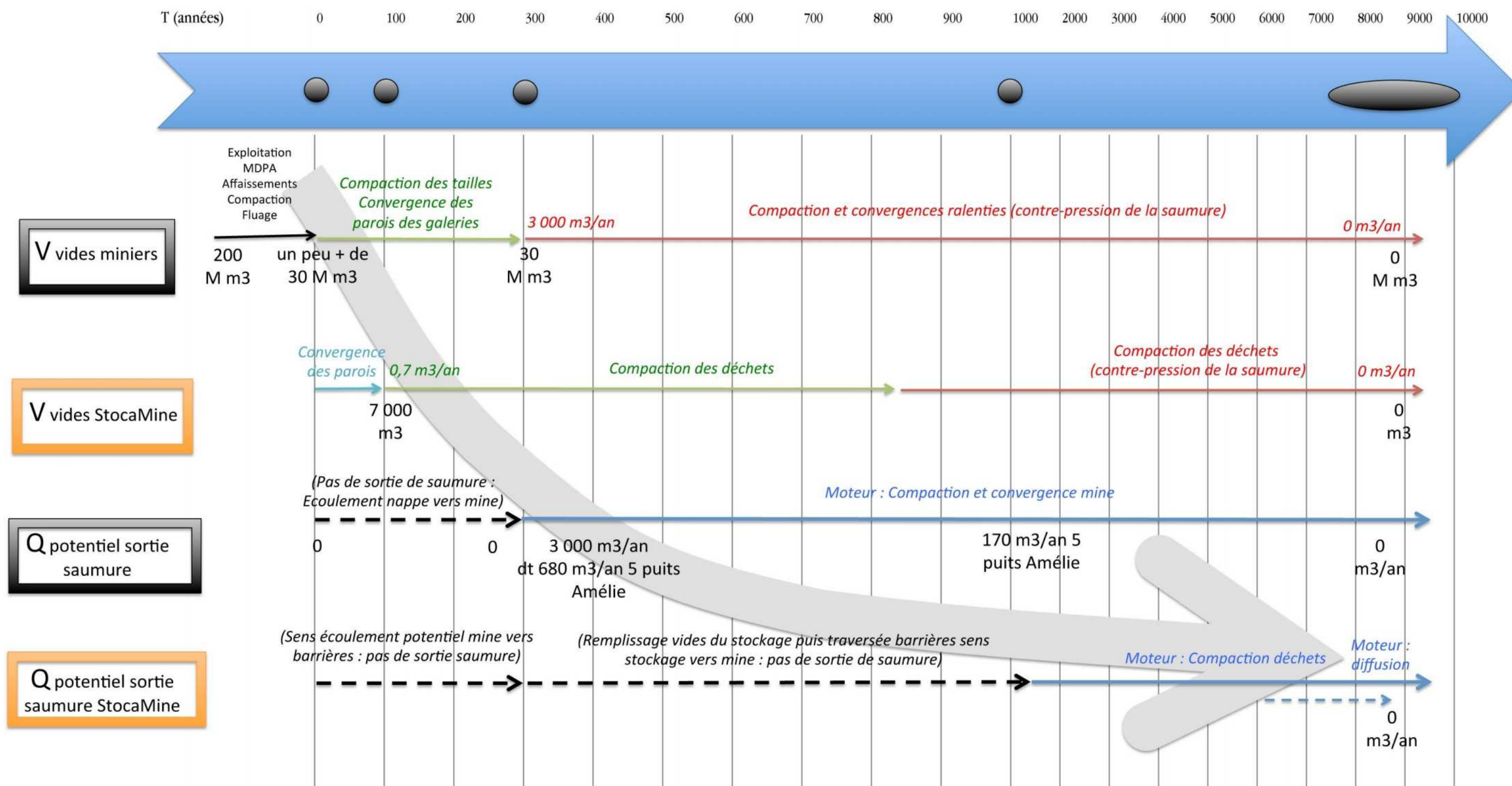


Figure 44 : Chronogramme du scénario de référence utilisé par l'INERIS

3. LES EFFETS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

Les effets du projet sur l'environnement ont été étudiés par l'INERIS en considérant que les barrières ne pouvaient pas être complètement imperméables au vu des échelles de temps sur lesquels les phénomènes considérés pouvaient s'étendre (cf. figure 44).

L'INERIS a étudié les conséquences de la mise en contact des déchets avec de la saumure c'est-à-dire les concentrations en polluants qui pourraient passer dans l'air du stockage et dans la saumure. Cette étude géochimiques [56] a ainsi mis en évidence les polluants mobilisables et concentrations associées, ce qu'on appelle en modélisation le « terme source ».

Il a été ensuite possible de modéliser le transfert de polluants vers les puits de mine puis vers la nappe alluviale. La sortie de saumure polluée dans la nappe a été modélisée avec l'aide du BRGM (modélisation des écoulements dans la nappe d'Alsace). L'impact du projet a été estimé en comparant les concentrations calculées dans la nappe aux normes de qualité et bruits de fond actuels⁴³ [69].

L'effet de la sortie de saumure polluée a été étudié également pour la problématique air. Pour déterminer les impacts potentiels sur la santé publique, une évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) a été menée [71].

Toutes ces études sont fournies dans le dossier de demande d'autorisation. Le chapitre ci-après ne présente que la synthèse des principales étapes de calculs et les résultats associés.

Sont abordés également les effets sur le sol, sous-sol, milieu naturel et environnement humain.

3.1. « Terme source » : concentrations mobilisables

Dans le projet retenu, les déchets resteront en place. Ces déchets sont sous forme solide, et emballés dans des big-bags ou des fûts.

La seule possibilité de transfert de polluants vers le milieu superficiel est un passage de certains éléments dans la saumure (par dissolution) et, dans une moindre mesure, dans l'air de la mine (par dégazage), puis leur mobilisation jusqu'aux puits de mine.

La première étape de l'étude terme source (INERIS [56]) a donc consisté à définir quels sont les produits mobilisables et à quelles concentrations ils pourraient remonter jusqu'aux puits de mine.

Les concentrations à l'équilibre ont été calculées avec le logiciel Visual MINTEQ et la base de données MINTEQ v3.0. et v.4.

3.1.1. Contaminants mobilisables

Préalablement à son stockage, chaque lot de déchets a été analysé afin de préciser sa composition. StocaMine dispose ainsi d'une base de donnée très complète sur les déchets stockés.

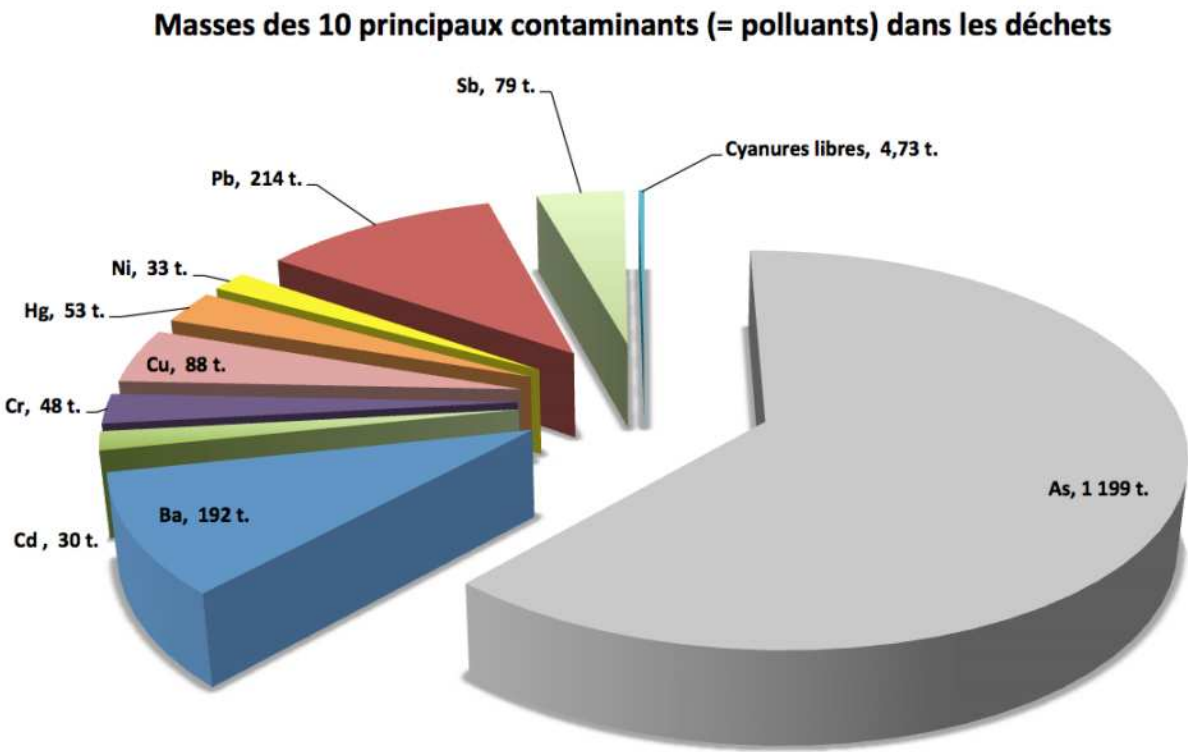
Toutes ces données ont été compilées par l'INERIS afin de définir précisément le tonnage des différents éléments stockés [56]. La marge d'erreur qui subsiste actuellement est réduite et provient de la marge d'incertitude liée aux méthodes d'analyses lors du contrôle des déchets, elle-même très réduite par le nombre important des mesures réalisées. Elle a été prise en compte dans les calculs et leur interprétation comme si toutes les incertitudes pouvaient s'additionner dans le même sens.

Parmi les produits qui composent les déchets, la plupart sont totalement inertes et ne pourront passer ni dans l'air de la mine ni dans la saumure. **Tous les éléments ont été étudiés, seuls quelques-uns présentent à la fois un tonnage, une toxicité et une mobilité qui constitue un risque pour le milieu superficiel.** Ces contaminants sont recensés dans le tableau 21 (voir également graphique 7) (note importante : en annexes des études INERIS on retrouve les calculs effectués pour tous les éléments).

⁴³ : c'est-à-dire en prenant en compte les normes mais aussi la qualité réelle de la nappe d'Alsace (suivis existants).

Eléments	Quantité moyenne stockée en tonnes [56]
Arsenic	1 199
Baryum	192
Cadmium	30
Chrome	7
Cuivre	88
Mercure	53
Nickel	33
Plomb	214
Antimoine	79
Cyanures libres	5

Tableau 21 : Masses des principaux contaminants contenus dans le stockage [56]



Graphique 8 : Masses des principaux contaminants contenus dans le stockage [56]

3.1.2. Passage en solution dans la saumure

La concentration d'un polluant dans la saumure dépendra de la quantité initialement présente dans le site de stockage et des réactions possibles avec la saumure. Tous les emballages, fûts doublés ou munis de saches, big bags à double enveloppe, ont été considérés comme détruits par la pression des terrains, mettant directement les déchets au contact de la saumure. Puis l'INERIS a considéré que tous les déchets potentiellement solubles passeraient en solution (bien que les tests de lixivabilité réalisés lors de l'acceptation des déchets aient montré une lixivabilité très faible), hypothèse qui conduit à une mobilisation des contaminants sans doute sur-estimée.

La modélisation géochimique réalisée ensuite par l'INERIS [56] a pris en compte :

- le pH généré par la mise en solution des déchets, qui sera élevé (pH ≈ 9),
- la saturation de la saumure au contact des terrains (saturation en halite NaCl, sylvite KCl) et de certains produits contenus dans les déchets (calcite CaCO₃, gypse et hydroxyapatite),
- le volume de saumure qui pourra occuper les vides résiduels entre les déchets.

Dans la simulation géochimique retenue, la masse de déchets (tableau 21) entourée par les barrières de confinement, interagit avec 7000 m³ de saumure saturée. Ce volume correspond à la porosité des déchets (estimée à 30 % de leur volume) d'après l'étude géomécanique de l'INERIS [67] (cf. figure 42). Il ne tient pas compte des volumes supplémentaires créées par la porosité des remblais utilisés pour remplir en partie le stockage.

Parmi les contaminants précédemment cités, l'étude géochimique précise que :

- certains ions métalliques sont très insolubles : Ba²⁺, Co²⁺, Pb²⁺, Ni²⁺, Cu²⁺, Ag⁺
- d'autres ions métalliques peuvent se combiner avec d'autres éléments (complexation) et devenir ainsi moins insolubles : Cd²⁺, Hg²⁺, CrO₄²⁻, Sb(OH)⁶⁻, AsO₄³⁻
- les ions cyanures peuvent passer en totalité en solution.

Cette différence de comportement explique que **les concentrations dans la saumure ne seront pas directement proportionnelles aux tonnages de chaque élément.**

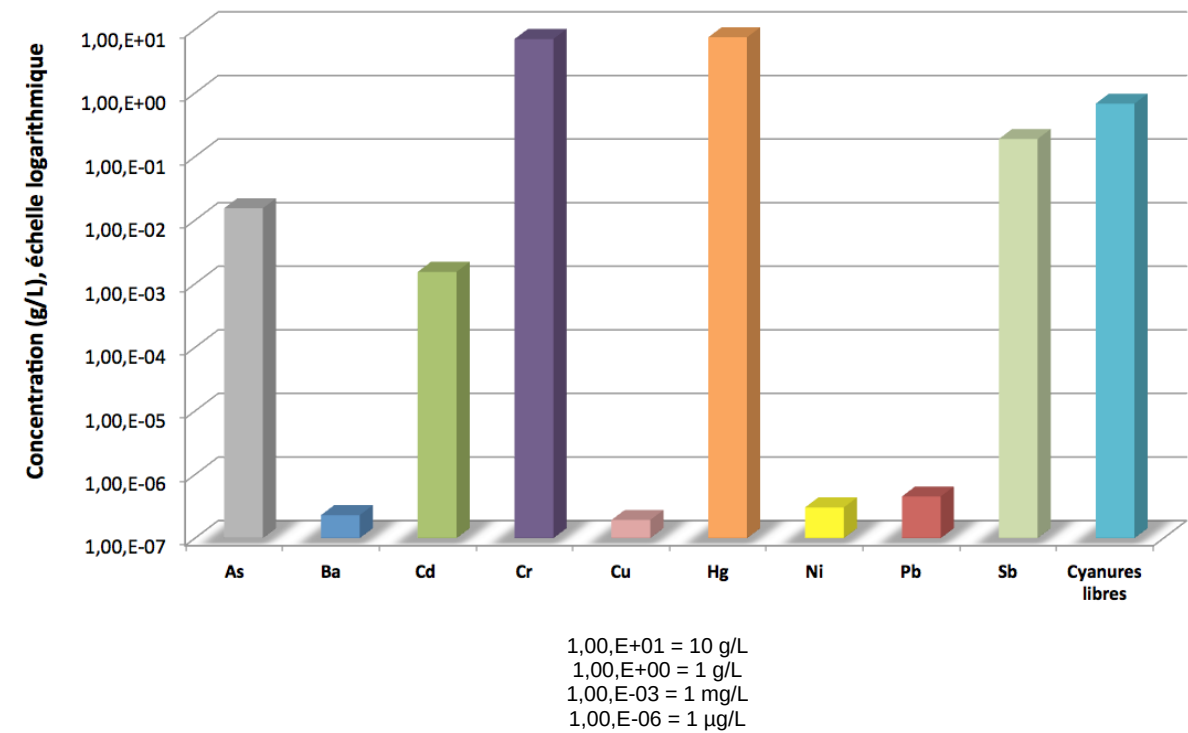
Les équilibres géochimiques permettent ainsi de calculer la composition de la saumure qui baignera les déchets de StocaMine à très long terme. Les éléments qui ressortent principalement et leur concentrations associées sont présentés dans le tableau 22 ci-après.

Eléments		Concentration dans la saumure baignant StocaMine 7000 m ³ , en g/L (cf. étude [56])
Arsenic	As	1.54E-02
Baryum	Ba	2.30E-07
Cadmium	Cd	1.54E-03
Chrome	Cr	7.07E+00
Cuivre	Cu	1.93E-07
Mercure	Hg	7.52E+00
Nickel	Ni	3.05E-07
Plomb	Pb	4.53E-07
Antimoine	Sb	1.89E-01
Cyanures libres	CN	6.80E-01

Tableau 22 : Concentration de la saumure au contact des déchets

Ces valeurs sont reportées sur le graphique logarithmique ci-dessous afin de faire ressortir les contaminants présentant les concentrations les plus élevées.

Concentrations des 10 principaux contaminants dans une saumure baignant le stockage



Graphique 9 : Concentration d'une saumure au contact des déchets

Les concentrations les plus élevées correspondent au chrome et au mercure (quelques g/L). Viennent ensuite les cyanures libres, l'antimoine, l'arsenic, le cadmium, le plomb, le nickel, le baryum et le cuivre.

Ce sont ces contaminants majoritaires dont l'impact sera présenté (dans les études [56] et [57], les autres contaminants ont également été pris en compte ce qui a permis d'aboutir à la sélection présentée ci-dessus).

3.1.3. Emissions gazeuses

Des émissions gazeuses pourraient se produire :

– **Au contact de l'air :**

Les déchets qui ont été admis dans le stockage souterrain ne sont toutefois pas de nature à réagir avec l'air, ou seulement dans des quantités très faibles (cf. état initial, qualité de l'air).

D'après les mesures réalisées dans les emballages des déchets, dans l'air de StocaMine⁴⁴ et au regard du comportement de chaque substance dans les conditions physicochimiques et biologiques au sein du stockage, il a été démontré que les gaz qui pouvaient être libérés au contact de l'air représentent des quantités négligeables sauf trois d'entre eux : l'Arsine, le Mercure élémentaire, l'Acide cyanhydrique.

– **Au contact de la saumure :**

Lorsque la saumure atteindra les déchets, une libération de gaz pourrait intervenir pour des éléments qui réagiraient spécifiquement avec la saumure.

Les sels de trempe cyanurés sont susceptibles de former de l'acide cyanhydrique : l'acide cyanhydrique étant un gaz miscible avec l'eau, il pourra migrer avec la saumure.

Les seuls autres gaz qui pourraient se former sous certaines conditions de pH, bactéries etc. sont l'arsine, le mercure élémentaire et le phénol. Toutefois l'étude menée [56] précise que :

- les conditions de formation de l'arsine n'apparaissent pas dans le stockage (potentiel redox des déchets indiquant un milieu oxydé, la formation d'arsine nécessiterait par ailleurs la présence de bactéries réductrices et d'une activité biologique pour produire de l'arsine et des dérivés organiques volatils) ; la concentration en AsH₃ est donc considérée comme nulle dans l'atmosphère du stockage après ennoyage ;
- compte tenu de son pKa, la forme volatile du phénol sera réduite du fait du pH élevé dans le stockage ; les émissions gazeuses potentielles de phénol seront donc négligeables.

⁴⁴ : La qualité de l'air dans le stockage est toujours sous surveillance et cette surveillance se poursuivra jusqu'à la fin des travaux de fermeture du stockage.

Les calculs géochimiques conduisent ainsi à retenir, après ennoyage, deux gaz seulement avec les concentrations suivantes :

- mercure élémentaire gazeux (Hg_0) : dans l'eau concentration de $3,4 \cdot 10^{-35}$ M avec une pression partielle de Hg_0 de $9,4 \cdot 10^{-34}$, ce qui correspond à $7,4 \cdot 10^{-27}$ mg/m³ d'air à 35 °C ;
- l'acide cyanhydrique (HCN_0) : $2,8 \cdot 10^{-6}$ mg/m³.

Ces concentrations potentielles de contaminants sous forme dissoute et sous forme gazeuse sont utilisées pour calculer l'impact de leur mobilisation vers la surface, à court, moyen et long terme (cf. chapitres suivants).

3.2. Effets sur la nappe alluviale

Le présent chapitre a été établi sur la base du rapport INERIS n°DRC-12-108130-0044A [69] qui s'inscrit dans le cadre des travaux réalisés par l'INERIS sur le devenir des déchets du stockage de StocaMine, au sein de la Mine Amélie (MDPA).

Ce rapport concerne l'impact potentiel du projet sur la qualité de la nappe d'Alsace, en s'appuyant sur les résultats d'une étude préliminaire qui avait révélé que sans dispositions spécifiques, notamment la mise en place de barrières à très faible perméabilité, les concentrations en certains contaminants pourraient dépasser dans le futur les actuelles valeurs seuils réglementaires de potabilité dans la nappe. C'est cette étude préliminaire qui a permis de justifier l'intérêt de mettre en place des barrières de faible perméabilité sur l'ensemble des galeries de liaison et d'orienter leur conception pour assurer un temps de retard de sortie potentielle de contaminants du stockage d'environ 1000 ans, ce qui sera développé ci-après.

Concernant l'estimation des impacts du projet sur la nappe alluviale, la démarche adoptée par l'INERIS s'appuie sur une première modélisation permettant de préciser les débits de saumure qui pourront sortir de la mine et de StocaMine, en tenant compte de l'effet des barrières. Cette modélisation est essentiellement géomécanique puisque c'est le phénomène de compaction qui mobilisera la saumure.

Les concentrations en polluants calculées dans l'étude terme source sont ensuite associées aux débits de saumure potentiellement contaminée pour définir le flux qui pourrait atteindre la nappe alluviale.

Une deuxième modélisation permet alors de préciser les concentrations qui pourraient être mesurées dans la nappe, sur la base du scénario d'une remontée de saumure depuis StocaMine jusqu'à la nappe. L'impact peut alors être précisé, en comparant ces concentrations avec des valeurs-de référence.

Sont présentées ci-après :

- les hypothèses retenues dans les modélisations ; c'est la modélisation géomécanique qui a permis de préciser le rôle attendu des barrières,
- les valeurs à prendre en référence pour caractériser la qualité de la nappe,
- les résultats des deux modélisations successives et l'impact sur la nappe alluviale.

3.2.1. Etapes de modélisation du transfert de polluants issus du stockage

3.2.1.1. Modélisation des phénomènes intervenant au sein des travaux miniers et du stockage souterrain

Ce paragraphe présente la démarche adoptée et mise en œuvre par l'INERIS pour décrire et modéliser les phénomènes se passant dans les infrastructures souterraines, à savoir **évaluer la fuite de saumure contaminée s'échappant du site de stockage puis sa dilution dans la saumure « non polluée » provenant du réservoir minier.**

Pour faciliter la lecture, les détails de la modélisation (équations, méthodes de résolution, etc.) ne sont pas présentés ici.

La concentration d'un polluant dans les puits de mine avant sa dispersion dans la nappe alluviale d'Alsace dépend de trois facteurs :

- la concentration initiale de la saumure polluée au sein du stockage (terme source, déjà présenté);
- le débit de saumure polluée à la sortie immédiate du stockage sous l'effet de la compaction des déchets ;
- le débit de la saumure expulsée vers la nappe d'Alsace par la compaction des travaux miniers, donc également la dilution intervenant entre la saumure polluée de StocaMine et la saumure non polluée de la mine.

Qu'il s'agisse des déchets ou des terrains foudroyés, le phénomène de compaction est régi par différents facteurs qui interagissent fortement :

- le fluage du sel ;
- la loi de compaction des déchets (au sein de StocaMine) ;
- la loi de compaction des terrains de foudroyage (dans la mine) ;
- la contre pression exercée par la saumure ayant rempli les vides miniers ;
- les caractéristiques des barrières de confinement mise en place autour de StocaMine, en particulier leur perméabilité et leur longueur.

L'analyse de ces différents phénomènes et la conclusion qu'en a tirée INERIS sont présentées dans les paragraphes qui suivent.

a - LOIS UTILISEES POUR MODELISER LE FLUAGE DU SEL ET LA COMPACTION DES TERRAINS

Les grands principes de fluage et compaction (valeurs moyennes, etc.) ont déjà été présentés dans les chapitres précédents pour expliquer l'origine des paramètres pris en compte dans l'estimation de la durée d'ennoyage et des phénomènes moteur de sortie de saumure. Ces principes sont repris en termes plus techniques dans les paragraphes ci-après.

Fluage du sel :

La vitesse de fluage du sel dépend de l'état des contraintes régnant dans le massif et de la réaction exercée par le matériau de remplissage des vides (terrains foudroyés ou déchets).

En fait, la vitesse du fluage est proportionnelle à la contrainte dite « déviatorique » élevée à une puissance comprise entre 3 et 5 (dans le cas présent 4 à la profondeur du stockage).

Notons que la (contre)pression exercée par les terrains de foudroyage ou les déchets dépend de leur état de compaction, lui-même imposé par le fluage du sel.

On conçoit donc qu'il existe une interaction forte (couplage) entre le fluage du sel et la compaction des déchets ou des matériaux de foudroyage dans les tailles minières.

Compaction des terrains de foudroyage et des déchets :

Il a été considéré que le mécanisme de compaction des déchets de StocaMine ou des terrains de foudroyage est qualitativement semblable à celui des matériaux du génie civil en mécanique des sols (remblais, sables, etc.). Dans ce cas, le comportement mécanique peut être assimilé à celui d'un ressort qui devient d'autant plus raide qu'il est comprimé (figure 45).

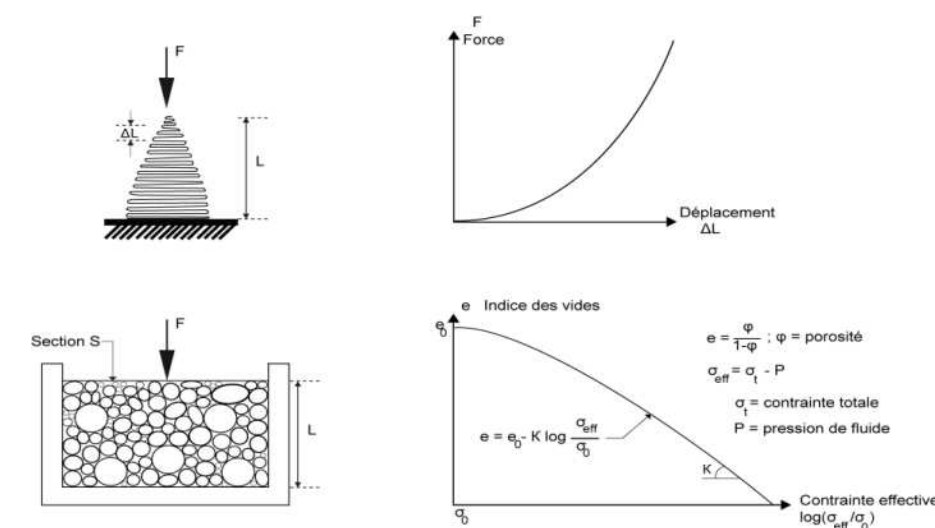


Figure 45 : Schéma de principe du modèle de compaction utilisé

Le processus de compaction peut alors être décrit par un diagramme « effort-déplacement », traduisant l'augmentation de la raideur du matériau avec la compaction.

Par ailleurs, pour se placer dans les conditions des ouvrages souterrains, on a souvent recours à des essais de laboratoire réalisés sous chargement statique ou quasi-statique (à vitesse constante).

L'essai de compaction le plus répandu est l'essai dit œdométrique. Le matériau, placé dans une boîte rigide, est soumis à un état de contrainte croissant. Sa déformation latérale étant bloquée dans la boîte rigide, sa variation de volume est donnée directement par la déformation axiale. Au lieu de la courbe « effort-déplacement », les résultats sont alors présentés, d'une manière conventionnelle en Mécanique des Sols, sous forme d'un diagramme « indice des vides-logarithme de la contrainte » où l'indice des vides est lié à la porosité par la relation « porosité / (1-porosité) ».

Ce modèle, très répandu en Mécanique des Sols, a donc été utilisé par l'INERIS dans le cadre de la présente étude.

Toutefois **les terrains de foudroyage (présents dans la mine) représentent un cas particulier car les blocs qui les constituent sont eux même constitués de formations salifères (sel et impuretés marno-anhydritiques) susceptibles de fluer sous la contrainte** : leur fluage a donc dû être pris en compte dans l'étude des phénomènes intervenant ici. En effet, le contact entre les blocs salifères, conduit aux points de contact de ces blocs à des contraintes déviatoriques fortes qui provoquent un phénomène de fluage (déformation des blocs). Ce phénomène ne s'arrête que lorsque tout l'espace vide entre les blocs est comblé (hypothèse sécuritaire, les roches insolubles pourraient conduire à un blocage du phénomène).

A la différence des hypothèses prises pour les terrains de foudroyage présents dans la mine, **les déchets présents dans le stockage ont été considérés comme ayant un comportement mécanique « classique » (sans fluage) car ils ne renferment a priori pas (ou peu) d'évaporites. Leur résistance à la compaction devient donc de plus en plus forte avec le temps.**

(contre)Pression exercée par le fluide :

Le fluide présent dans les vides miniers est constitué de saumure saturée (et éventuellement d'un peu d'air). En présence d'un fluide, on raisonnera non pas en contrainte « totale » mais en contrainte « effective », c'est-à-dire en tenant compte de la différence entre la contrainte totale et la pression de fluide, d'après la loi de Terzaghi.

La pression de la saumure dans la mine est donnée par le niveau d'ennoyage et atteindra environ 6 MPa à la fin de l'ennoyage (à raison de 1,2 MPa tous les 100 m pour de la saumure saturée de densité 1,2) au niveau du stockage, situé à 550 m de profondeur. A cette profondeur, la contrainte lithostatique dans le massif salifère est voisine de 12 MPa. Ainsi, **la contrainte déviatorique** (écart entre la contrainte initiale (lithostatique) et la pression de fluide) **sera divisée par deux quand l'ennoyage sera terminé.**

Comme la vitesse de fluage est proportionnelle à la contrainte déviatorique élevée à une puissance 3 à 4 on peut en déduire que si la contrainte déviatorique est divisée par 2, **la vitesse de fluage sera divisée par 8 à 16 (2² à 2³) donc réduite d'un facteur 10 (environ) après l'ennoyage** (il

s'agit d'une estimation pour fixer les idées, le calcul précis ayant été fait par la modélisation numérique).

Pour ce qui concerne la (contre) pression de fluide au sein de Stocamine, le raisonnement est un peu compliqué par le fait que les chambres de stockage seront confinées derrière des barrières de très faible perméabilité. Dans ces conditions, le fluide piégé dans les chambres de stockage et soumis au fluage du sel pourrait se trouver comprimé et finir par vaincre la résistance à l'écoulement des barrières pour re-sortir de Stocamine.

La surpression pouvant s'installer dans Stocamine dépend de deux facteurs intimement liés : la vitesse de fluage du sel et la compressibilité du stockage dans son ensemble, c'est-à-dire des déchets, des différentes parties du stockage (piliers⁴⁵, toit, mur) et des barrières qui auront été mises en place. Si la perméabilité des barrières n'est pas rigoureusement nulle, cette surpression conduira à une fuite à travers les barrières du fait du comportement hydromécanique du stockage, c'est-à-dire de l'interaction (couplage) entre le comportement hydraulique (percolation de la saumure polluée à travers les barrières, régie par la loi d'écoulement de Darcy) et le comportement mécanique (fluage du sel et compaction des déchets).

Dans ce cas, le stockage se comporte comme un milieu poreux régi par un comportement dit « poromécanique » pour lequel l'évolution de la pression dépend de trois facteurs⁴⁶ : la variation de la porosité (liée au fluage du sel), la compressibilité du système (caractérisée par le module de Biot) et les caractéristiques des barrières (perméabilité et longueur).

Notons que la compressibilité des déchets est initialement importante avant l'ennoyage mais qu'elle aura déjà diminué considérablement lorsque la saumure finira par atteindre StocaMine après avoir traversé les barrières de confinement.

b - SORTIE DE POLLUANTS DE STOCAMINE VERS LA MINE

Une fois StocaMine rempli de saumure, les polluants pourraient passer à travers les barrières soit par diffusion (tendance d'un système à rendre homogènes les concentrations en espèces chimiques en son sein) soit par advection (entraînement par un écoulement).

Le phénomène de diffusion est, à échéance de quelques siècles, considéré comme négligeable car la diffusivité du matériau argileux des barrières (bentonite) est extrêmement faible (inférieure à 10⁻¹¹ m²/s). A très long terme, le phénomène de diffusion, bien que négligeable, deviendra dominant (lorsque le débit de percolation deviendra lui-même négligeable) et se poursuivra jusqu'à épuisement du stock de contaminants tant que persistera un écart de concentration entre la saumure dans le stockage et la saumure à la sortie des barrières.

⁴⁵ : Les piliers se déforment pratiquement sans variation de volume. En l'absence de fissuration importante, leur expansion horizontale vaut la moitié de leur tassement vertical.

⁴⁶ : La loi d'évolution de la pression de fluide est obtenue en écrivant la conservation de la masse fluide : cette dernière présente dans l'espace poral, comprimée par le fluage et détendue par la compressibilité du système doit être égale à la masse fluide transportée par le débit des barrières. L'équation de conservation fait intervenir la porosité des déchets, la vitesse de fluage et deux paramètres liés au débit des barrières : la perméabilité et la longueur.

Le phénomène dominant pouvant conduire à la sortie de saumure contaminée à travers les barrières est donc tout d'abord l'advection. Le transfert de polluant à travers les barrières sera limité par les caractéristiques des ouvrages (le temps nécessaire à la sortie de la saumure contaminée à travers une barrière est proportionnel à la perméabilité et inversement proportionnel au carré de la longueur de la barrière).

Toutefois, étant donné les échelles de temps, l'INERIS a retenu l'hypothèse majorante d'une moindre efficacité des ouvrages lors de cette étape, et considéré que le débit de saumure contaminée sortant du stockage ne sera pas restreint par les barrières et s'établira au débit induit par le fluage du sel au sein du stockage.

C'est la raison pour laquelle il faut retarder le plus possible l'ennoyage du site de stockage, afin que les déchets soient fortement compactés avant que le fluide (la saumure) ne vienne exercer une (contre)pression limitant la contrainte dans le stockage. C'est là la principale vocation des barrières : retarder autant que possible le moment où des contaminants pourraient sortir du stockage pour que les débits associés soient extrêmement faibles.

C - HYPOTHESES RETENUES SUR LE PROJET

Dans le but de préciser les objectifs du confinement du stockage, le travail qui a été mené par INERIS a été de rechercher (en s'appuyant sur les équations régissant les différents phénomènes décrits ci-dessus) le temps au bout duquel la résistance à la compaction des déchets est telle que le mélange des saumures (provenant de la mine donc non contaminée) et du stockage de StocaMine (donc contaminée), induise dans la nappe des concentrations dont l'ordre de grandeur soit celui de la qualité actuellement mesurée.

Le rôle des barrières sera ainsi de retarder **la pénétration de saumure dans le stockage pour que les déchets aient préalablement subi une forte compaction liée à la pression lithostatique qui s'y appliquera.**

En d'autres termes, la compaction étant plus rapide en l'absence de contre-pression de saumure, en gardant StocaMine « au sec », on y favorise la fermeture des vides. Lorsque la saumure aura traversé les barrières jusqu'à atteindre les déchets la compaction résiduelle pouvant mobiliser la saumure polluée sera alors très faible.

Les résultats des calculs indiquent qu'au bout de 1000 ans les mécanismes de compaction qui pourraient conduire à une sortie de polluant du stockage seront très faibles, s'ils se produisent encore. La réduction de volume de vide par unité de temps correspondant au débit de saumure polluée qui pourrait sortir du stockage sera alors suffisamment faible pour que les flux associés de polluants (débit x concentration) n'aient pas d'impact sur la nappe alluviale. C'est donc cette échéance qui est retenue comme objectif de performance des barrières (temps de saturation puis de traversée depuis le stockage vers la mine).

Note importante : Cet objectif s'est appuyé sur des choix d'hypothèses systématiquement majorantes dans les différentes étapes de calcul. On peut notamment préciser que d'autres phénomènes peuvent limiter le transfert de polluants dans le sens stockage vers mine (sections complètement fermées, piégeage de certains éléments dans la bentonite, ...).

Le dimensionnement « à 1000 ans » est sécuritaire et sera de plus complété par d'autres mesures de maîtrise des risques.

En étudiant le fonctionnement géomécanique de la mine et du stockage, l'INERIS a pu préciser que les barrières devaient viser à retarder suffisamment l'ennoyage du stockage pour que les volumes de compaction résiduelle des vides y soient très faibles. C'est ce qui a fixé l'objectif du confinement.

La modélisation réalisée pour préciser les concentrations de polluants dans la nappe d'Alsace a donc été menée sur la base de barrières de confinement conçues et dimensionnées pour que leur résistance hydraulique retarde de 1000 ans la sortie de saumure du stockage.

d - VECTEURS DE TRANSFERT ET DEBITS ASSOCIES

La migration potentielle de contaminants issus du site de stockage jusqu'à la surface, et en particulier vers la nappe d'Alsace, requiert la présence d'un drain, naturel ou anthropique, mettant en communication les travaux miniers et la surface.

Sur le secteur étudié, les vecteurs de transfert potentiels suivants ont été identifiés par l'INERIS [6] :

- les anciens sondages de reconnaissance (de potasse, d'hydrocarbures, de gaz) ;
- les anciens puits d'exploitation (15 puits sur le secteur ouest MDPA) ;
- les failles (existantes et éventuellement réactivées par un événement sismique).

L'étude hydrogéologique de l'INERIS finalisée en mars 2011 [55] a conclu que les 15 puits de mine du secteur sont les principales voies qui permettront un épanchement de saumure dans la nappe d'Alsace du fait du mécanisme de compaction des vides miniers lié au fluage des formations salifères. Ce mécanisme se poursuivra jusqu'à la fermeture complète des vides miniers résiduels après leur ennoyage.

La saumure contaminée s'épanchera à la base de la nappe, du fait d'un passage préférentiel par l'extrados des puits, démontré grâce à des campagnes de prélèvements et d'analyses des eaux d'infiltration au sein de la mine Amélie, conduites par l'INERIS [57].

Dans son étude [55], l'INERIS considère que les exploitations minières du secteur ouest des MDPA constituent un ensemble hydrogéologique unique. **L'INERIS précise que la saumure potentiellement contaminée sortira très probablement par les 5 puits de la mine Amélie (ouvrages d'exploitation qui sont à la fois les plus hauts du secteur ouest et les plus proches du site de stockage).**

Ces 5 puits sont les puits Joseph, Else (les deux puits les plus proches situés à 300 m du stockage, qui sont encore ouverts), Amélie 1, Amélie 2 et Max.

Le débit total d'épanchement de saumure par ces puits est généré par la diminution du volume de vide dans les travaux miniers en lien avec le fluage résiduel au terme des 300 ans de remplissage de la mine, la fermeture progressive des vides miniers entraînant une lente expulsion de la saumure qu'ils contiennent.

Ce débit total est de l'ordre de 700 m³/an, au début de l'épanchement de saumure (à ce stade le stockage est confiné derrière ses barrières, il n'y a aucune dispersion de polluant).

Il est difficile de prédire avec certitude la répartition du débit d'émergence entre ces 5 puits : c'est pourquoi l'étude a été réalisée autour de l'hypothèse d'une fuite à travers l'ensemble des 5 puits (hypothèse de référence), tout en étudiant l'impact du cas où seuls les 2 puits les plus proches (Joseph et Else) seraient finalement empruntés par la saumure contaminée issue du stockage.

Les débits de fuite à travers les 5 puits retenus dans le calcul de référence sont présentés dans le tableau suivant, le calcul étant basé sur la répartition du débit total dans chacun des puits au prorata de leur diamètre.

Temps* (an)	Joseph	Else	Amélie 1	Amélie 2	Max	Cumul 5 puits
0	152,5	125,0	152,5	125,0	125,0	680
10	150	123	150	123	123	669
100	133	109	133	109	109	593
500	76,5	62,7	76,5	62,7	62,7	341
1 000	38,4	31,4	38,4	31,4	31,4	171
2 000	9,65	7,91	9,65	7,91	7,91	43,0
3 000	2,43	1,99	2,43	1,99	1,99	10,8
4 000	0,61	0,50	0,61	0,50	0,50	2,72
5 000	0,15	0,13	0,15	0,13	0,13	0,69
6 000	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,17
7 000	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04
8 000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,01
9 000	<0,001	0,001	<0,001	0,001	0,001	0,003
10 000	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0

* Temps compté à partir du début de l'épanchement de saumure aux 5 puits de la mine Amélie soit vers l'an 2300

Débits de saumure (et non de saumure polluée)

Tableau 23 : Répartition des débits d'épanchement de saumure (mine) pour les 5 puits autour de StocaMine (en m³/an) [62]

La représentation graphique de ces mêmes valeurs (figure 46) montre que les débits diminuent rapidement au fil du temps.

Rappelons qu'il s'agit là des débits de saumure qui ne pourront contenir des polluants que lorsque les barrières de confinement auront été traversées, d'abord dans le sens mine – stockage puis dans le sens stockage – mine.

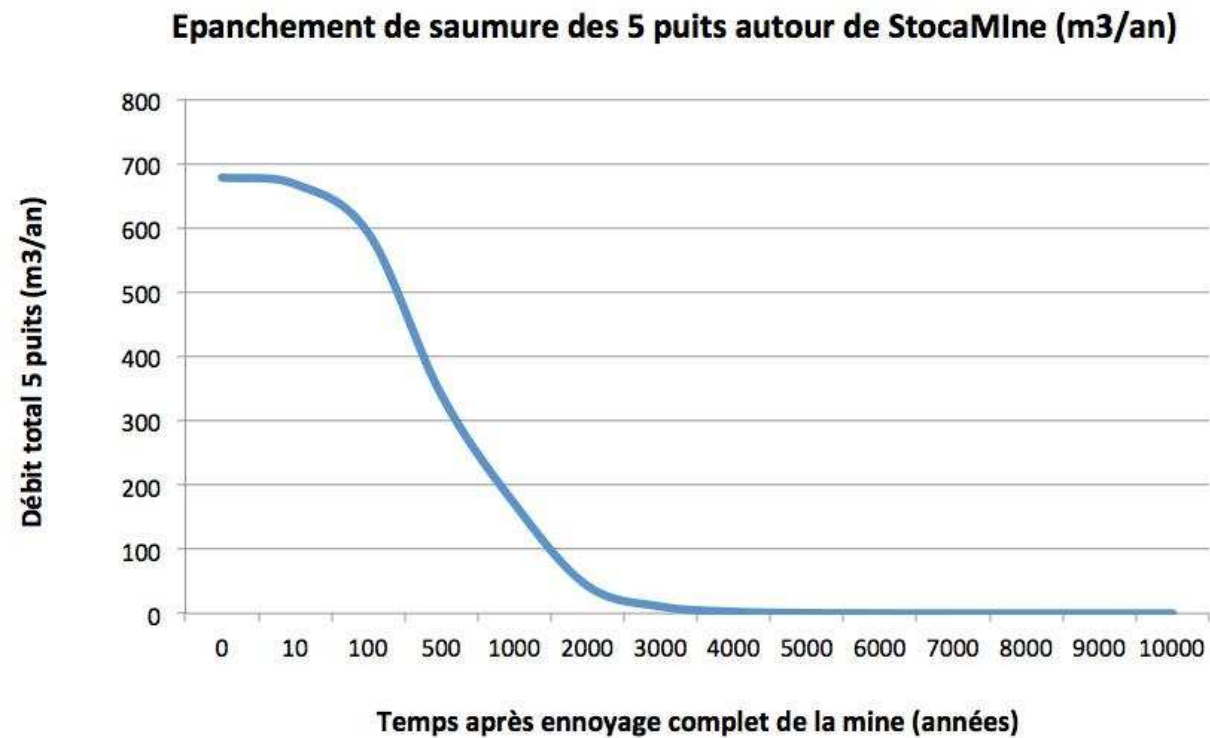


Figure 46 : Débit d'épanchement de saumure (mine) pour les 5 puits autour de StocaMine

3.2.1.2. Modélisation de la dispersion des polluants dans la nappe d'Alsace

L'objectif de cette étape de modélisation est de connaître l'évolution dans le temps et dans l'espace de la qualité des eaux souterraines dans la nappe d'Alsace.

La mise en œuvre de modèles mathématiques et numériques pour effectuer cette prédiction permet également de pouvoir juger de l'influence des différents paramètres pris en compte et d'analyser leurs impacts sur les prédictions.

Rappelons qu'afin d'éclairer les décisions de gestion quant à l'évolution de la salinité dans la nappe d'Alsace, le BRGM a développé et utilisé depuis 2005 un modèle de transfert de saumure sur le bassin potassique d'Alsace et bien au-delà en aval de celui-ci. Ce modèle s'appuie sur un retour d'expérience de plusieurs années et synthétise l'ensemble des connaissances disponibles sur la mine et la nappe alluviale, y compris au droit de StocaMine. Il est basé sur un outil numérique robuste et reconnu (MARTHE) et a donc été intégré par l'INERIS dans la modélisation de transfert pour étudier l'impact du stockage sur la qualité de la nappe d'Alsace. Le modèle employé est présenté dans le rapport rédigé à cet effet par le BRGM [62] sur la base du scénario final proposé par l'INERIS.

En résumé, ce modèle régional couvre une zone s'étendant de Mulhouse au sud à Colmar au nord et des coteaux Vosgiens à l'ouest jusqu'au Rhin à l'est. Le modèle est constitué de mailles carrées de 500 m de côté, affinées à 125 m sur le bassin potassique dans lequel se situe le stockage.

Dans un plan vertical, le maillage est constitué de 3 couches, représentant les trois horizons alluviaux reconnus dans le secteur : leurs caractéristiques changent en fonction de la couche considérée ce qui se traduit par des paramètres hydrodynamiques et hydrodispersifs différents dans le modèle [62].

Dans certaines zones du modèle, une couche peut ne pas exister du fait de l'érosion ou d'une absence de dépôt (liée notamment à un paléorelief) : c'est par exemple le cas de la couche 3 (la plus profonde) au niveau du puits Max.

Au cours de son développement, en 2005, ce modèle a fait l'objet d'un calage par le BRGM. Les valeurs de piézométrie simulées ainsi que les concentrations en saumure calculées⁴⁷ ont été comparées aux valeurs mesurées sur de nombreux forages et à plusieurs périodes. En fonction des écarts constatés les paramètres du modèle ont été modifiés pour atteindre un résultat de calage satisfaisant. Dans le cadre des travaux réalisés ici par le BRGM, ce calage a été pris en compte et la saumure issue de la mine a été injectée dans la nappe d'Alsace en considérant un état piézométrique moyen. D'autre part, la concentration initiale en saumure de la nappe d'Alsace a été considérée comme négligeable comparée à la saumure saturée, issue de la mine, introduite avec une concentration en sels de 350 g/L.

Des illustrations du modèle sont présentées ci-dessous (d'après [62]).

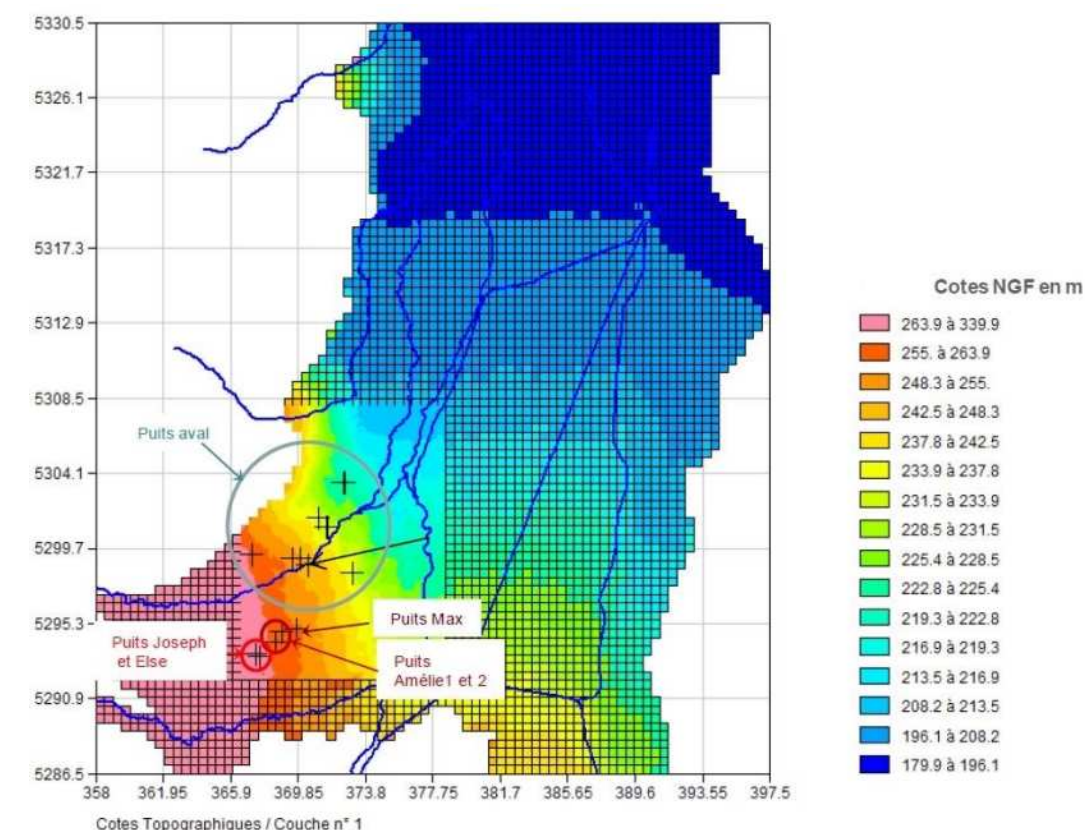


Figure 47 : Carte illustrant la discrétisation horizontale du modèle régional (maillage gigogne sur le bassin potassique) [62]

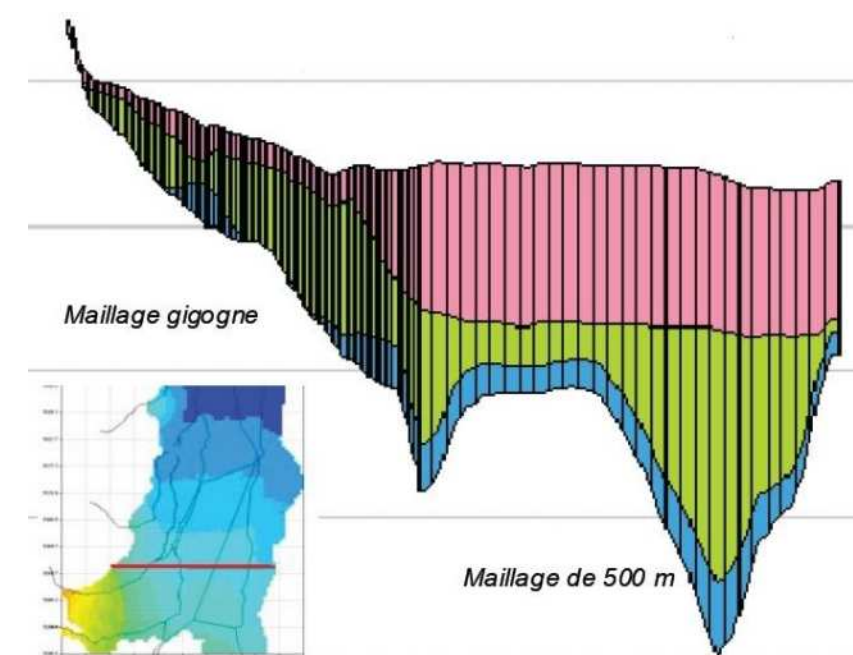


Figure 48 : Coupe ouest/est illustrant la discrétisation verticale du modèle régional (3 couches d'alluvions) [62]

⁴⁷ : Il s'agit ici de la saumure issue du relargage par les terrils de sel.

3.2.1.3. Déroulement de la modélisation

La démarche suivie est basée sur la simulation du transfert, sous forme dissoute, d'un traceur parfait de type chlorure (saumure) en nappe. Cette démarche est celle classiquement adoptée lors d'une modélisation destinée à l'évaluation des risques pour la ressource en eau car elle permet :

- de simuler l'expansion maximale d'une pollution en occultant les phénomènes conduisant à un retard (sorption) ou à une transformation (dégradation abiotique ou biotique) dans le transport de polluants ;
- de pondérer les résultats de concentrations obtenus par un facteur permettant de prendre en compte, si nécessaire, une autre concentration d'injection dans la nappe.

Comme la concentration du terme source à simuler varie en fonction des substances, l'utilisation d'une simulation prenant en compte un traceur parfait permet de recalculer les concentrations dans l'ensemble du domaine modélisé en employant un facteur correctif spécifique à chaque substance étudiée.

Les simulations numériques réalisées par le BRGM ont montré que :

- l'effet densitaire de la saumure peut être négligé ;
- les lentilles argileuses (moins perméables) intercalées au sein des alluvions sablo-graveleuses, notamment autour des puits Joseph et Else n'ont pas d'impact majeur sur la propagation du panache de saumure vu leur extension très limitée et leur position relative par rapport aux puits Joseph et Else ;
- la position de l'exutoire le long de la colonne du puits d'exploitation influe notablement sur les concentrations calculées dans les 3 couches.

Afin de préciser ce dernier point, l'INERIS a réalisé des mesures de la composition chimique de l'eau qui ont indiqué que la circulation se faisait majoritairement à l'extrados des puits de mine. C'est cette voie de circulation qui a donc été retenue par la suite et qui mène à une émergence de saumure à la base de la nappe alluviale.

La simulation de transfert en nappe d'Alsace, qui a fait l'objet d'un rapport BRGM daté d'octobre 2011 [62] et qui constitue le scénario retenu au terme des études INERIS, est donc basée sur les hypothèses suivantes :

- introduction en nappe d'Alsace de saumure saturée (350 g/L) ;
- introduction par la base de la nappe (couche 3 du modèle)
- passage par les 5 puits de la mine Amélie : Joseph, Else, Amélie 1 et 2, Max (l'hypothèse de sortie par seulement 2 puits se déduit de ces résultats) ;
- durée de la simulation : 10 000 ans

- épanchement de saumure contaminée par les déchets de StocaMine se produisant au bout de 1000 ans par rapport à 2010⁴⁸ (avec les barrières).
- débit de sortie de la saumure (dont une part contaminée) s'établissant à 680 m³/an au début de l'épanchement, (réparti dans les 5 puits au prorata de leur diamètre) puis diminuant en fonction du temps (cf. tableau 23).
- calcul d'une hypothèse de sortie par seulement 2 puits, déduite des résultats précédents.

Comme indiqué précédemment, seul le transport non réactif des polluants a été considéré (simulation basée sur traceur parfait), leur rétention éventuelle par les barrières ou d'autres matériaux argileux (capacité d'échanges cationiques), y compris dans la nappe d'Alsace, n'a pas été retenue ce qui correspond là encore à une approche majorante.

⁴⁸ : Soit une hypothèse majorante ne prenant pas en compte le temps de remontée depuis le stockage jusqu'à la nappe.

3.2.2. Choix des critères de comparaison pour évaluer l'impact du stockage sur la nappe d'Alsace

Les concentrations obtenues par le modèle seront comparées à des critères de qualité afin de quantifier l'impact d'une éventuelle sortie de saumure contaminée. Les paragraphes suivants détaillent comment ont été fixés ces critères de comparaison (étude [69]).

3.2.2.1. Identification des enjeux (existants et futurs)

Les informations obtenues auprès des différentes sources consultées (ARS, DREAL, etc.) indiquent la présence actuelle de nombreux usages des eaux souterraines. Le SDAGE Rhin-Meuse et le SAGE de la Thur confirment cette tendance pour l'avenir ainsi que le fait que la nappe d'Alsace est une ressource d'importance régionale.

En complément des captages d'alimentation en eau potable (AEP), industrielle (AEI) ou agricole (AEA) identifiés, il a également été constaté la présence de puits privés de captage d'eau souterraine, généralement peu profonds, autour des puits de la mine Amélie lors d'une visite de l'INERIS en janvier 2010.

La présence actuelle de nombreux usages des eaux souterraines mais également superficielles est constatée, et le fait que ces derniers pourront être présents dans le futur peut être supposé. Comme discuté au chapitre suivant, la nature des usages constatés conditionne le choix des critères de qualité à retenir dans le cadre de la politique nationale de gestion du risque basée sur l'usage. Notons que si la présence d'un usage d'eau potable est avérée ou supposée, le texte réglementaire qui s'applique est l'Arrêté du 11 janvier 2007 et en particulier les limites de qualité relatives à l'eau potable⁴⁹.

⁴⁹ : Notons que l'article 10 de l'Arrêté du 17 juillet 2009 relatif aux mesures de prévention ou de limitation des introductions de polluants dans les eaux souterraines précise que l'introduction de substances dangereuses ou de polluants non dangereux peut être admise par les autorités compétentes si cette introduction est jugée « techniquement impossible à prévenir ou à limiter sans recourir :

- à des mesures qui augmenteraient les risques pour la santé humaine ou la qualité de l'environnement dans son ensemble ;
- à des mesures d'un coût disproportionné destinées à éliminer des quantités importantes de polluants du sol ou du sous-sol contaminé ou à en contrôler l'infiltration dans ce sol ou ce sous-sol. ».

Une comparaison des scénarios de devenir du stockage de StocaMine a été menée par l'INERIS en préalable à la présente étude. En conclusion de cette comparaison, le scénario d'un stockage illimité est recommandé, bien qu'un rejet ponctuel (dans le temps et dans l'espace) de saumure contaminée puisse se produire [68].

3.2.2.2. Critères retenus

La contamination potentielle de la nappe d'Alsace par les déchets stockés ne devant survenir que dans plusieurs siècles à quelques milliers d'années, les concentrations dans la nappe alluviale d'Alsace ne peuvent de ce fait être mesurées à court ou moyen terme. On ne dispose donc que des résultats de la modélisation prédictive pour évaluer un impact potentiel à long terme. Considérant ce point, deux approches complémentaires ont été suivies :

- la qualité des eaux de la nappe après l'arrivée de saumure contaminée en surface a été comparée avec un milieu représentatif de **l'environnement local témoin** (milieu naturel avant installation de StocaMine et/ou hors zone d'influence d'une contamination issue de l'installation, cf.). Cette première comparaison permettrait de mettre (ou non) en évidence une dégradation du milieu par rapport à sa qualité naturelle (avant épanchement) mais sans pouvoir juger de son éventuelle aptitude aux usages de l'eau ;
- afin d'évaluer l'impact potentiel d'une contamination sur les usages de l'eau il a été réalisé une comparaison, après l'arrivée de saumure contaminée dans la nappe alluviale, de la qualité du milieu eau avec des **critères d'origine réglementaire actuellement en vigueur** (cf. tableau 25) en retenant les plus contraignants.

Rappelons que le choix des composés étudiés ici est basé sur les informations disponibles quant à leur présence dans les déchets et à leur masse estimée [2]. Outre les cyanures totaux, les éléments traces métalliques (ETM) retenus *in fine* dans le calcul du terme source sont : l'argent (Ag), l'arsenic (As), le baryum (Ba), le bismuth (Bi), le cadmium (Cd), le cobalt (Co), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le nickel (Ni), le plomb (Pb) et l'antimoine (Sb).

Environnement local témoin :

La qualité initiale ou actuelle des eaux souterraines dans la zone d'étude peut être évaluée sur la base des données de l'état initial et du suivi réglementaire mené depuis 1998 par l'exploitant. Ce suivi mené dans la zone des puits Joseph et Else reflète la qualité des eaux souterraines en amont de la mine Amélie. Il permet de s'affranchir de toute dégradation potentielle plus récente de cette qualité, en lien avec la présence de diverses activités en surface, comme les terrils de sel. C'est pourquoi leur utilisation a été préférée à celles du réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines des MDPA, bien que ce dernier soit plus conséquent.

En 1998, pour caractériser l'état initial de la nappe avant StocaMine, 3 piézomètres situés autour des puits Joseph et Else ont été échantillonnés et les analyses suivantes ont été réalisées : hydrocarbures totaux, cyanures libres, fluorures, arsenic, cadmium, chrome, chrome VI, cuivre, mercure, nickel, plomb, et zinc. Après le démarrage de l'activité, les campagnes ultérieures (2 par an à l'exception de l'année 2000) intègrent également les paramètres conductivité électrique, pH et concentrations en fer, en étain et en aluminium. Ces ouvrages, de l'ordre de 6 à 7 m de profondeur, captent la partie superficielle de la nappe alluviale d'Alsace et correspondent au niveau potentiellement capté par des puits privés.

Les valeurs mesurées, en particulier sur l'ouvrage situé en amont de StocaMine, constituent ainsi un premier référentiel de comparaison. Elles sont reportées dans le tableau 24 ci-après.

Piézomètre 3 amont	Arsenic	Cadmium	Chrome	Cuivre	Cyanures libres	Mercur	Nickel	Plomb
Unités	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L
1998	<60	<5	<30	<10	<0,1	0,2	nm	nm
25/06/1999	<5	<0,5	<2	<2	<0,1	<0,5	<5	13
03/12/1999	<5	<0,5	<2	2,4	<0,1	<0,5	<5	<2
20/07/2000	<3	<0,02	<0,06	<0,03	<0,1	<0,5	<0,1	4
05/03/2001	<3	<0,25	<0,5	<1	<0,1	<0,5	<2	<2,5
30/10/2001	<3	<0,2	<0,5	<1	<0,1	<0,5	<2	<2,5
04/04/2002	<3	0,2	<0,5	4,3	<0,1	<0,5	<2	<2,5
03/10/2002	<3	<0,2	<0,5	7,2	<0,1	<0,5	<2	<2,5
17/02/2003	<3	<0,2	<0,5	<1	<0,1	<0,5	<2	<2,5
01/10/2003	<3	<0,2	<0,5	<1	<0,1	<0,5	2,2	<2,5
10/03/2004	<3	<0,2	<0,5	<1	<0,1	<0,5	2,3	<2,5
14/10/2004	<3	<0,2	<0,5	<1	<0,1	<0,5	<2	<2,5
10/03/2005	<3	<0,2	<0,5	<1	<0,1	<0,5	3,7	<2,5
21/10/2005	<3	<0,2	<0,5	<1	<0,1	<0,5	<2	<2,5
27/04/2006	<10	<0,5	<5	<5	<0,01	<0,1	<5	<10
09/10/2006	<10	<0,5	<5	<5	<0,01	<0,1	<5	<10
03/04/2007	<10	<0,5	<2	<2	<0,01	<0,1	<5	<5
23/10/2007	<10	0,7	<2	<2	<0,01	<0,1	<5	<5
14/04/2008	<10	<0,5	<2	<2	<0,01	<0,1	<5	<5
07/10/2008	<10	<0,5	<2	<2	<0,01	<0,1	<5	7
16/04/2009	<10	<0,5	7	<2	<0,01	<0,05	<5	<5
14/10/2009	<10	<0,5	<2	<2	<0,01	<0,05	<5	<5
28/04/2010	<10	<0,5	<2	<2	<0,01	<0,05	<5	<5
04/2011	<10	<0,5	<10	<2	<0,01	<0,05	2	<5
11/2011	<10	<0,5	<10	<2	<0,01	<0,05	2	<5
04/2012	<10	<0,5	<10	<2	<0,01	<0,05	<2	<5
11/2012	<10	<0,5	<10	3	<0,01	<0,05	2	<5

nm : non mesuré < X : inférieur à la LQ en gras : concentration quantifiée (> LQ)

Remarque : à noter que la précision des analyses s'est améliorée avec le temps.

Tableau 24 : Concentrations de l'environnement local témoin, mesures concernant la partie supérieure de la nappe (état initial puis suivi de 1998 à 2012)

Le choix des valeurs de référence par rapport à ces données a été en premier lieu basé sur l'existence d'une éventuelle valeur mesurée (comme c'est le cas pour le cadmium avec 0,7 µg/L en octobre 2007) ; dans un second temps, en l'absence d'une telle valeur, la Limite de Quantification (LQ) la plus élevée a été retenue (par ex. 10 µg/L pour l'arsenic).

Pour le cas où des usages sensibles de l'eau souterraine seraient mis en place en aval des puits d'épanchement de la saumure contaminée, les critères de qualité d'origine réglementaire existants et liés à ces usages seraient à retenir en tant que second référentiel comparatif :

- Arrêté du 11 janvier 2007⁵⁰ et en particulier ses limites de qualité relatives à l'eau potable pour tenir compte d'un usage eau potable ou puits privé ;
- Arrêté du 17 décembre 2008⁵¹ portant sur l'état qualitatif des eaux souterraines pour le respect du bon état chimique (en lien avec la transposition de la DCE, la Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques et l'actualisation des SDAGE réalisée en 2009).

Critères d'origine réglementaires :

Concernant les critères de qualité d'origine réglementaire associés aux eaux de surface, il convient de noter que deux dilutions successives interviendront avant que la saumure contaminée ne puisse atteindre ces milieux :

- la première correspond à la dilution intervenant au sein de la nappe d'Alsace, entre les points potentiels d'épanchement de saumure (situés à la base de la nappe) et les zones au niveau desquelles la nappe alimente les cours d'eau (plusieurs kilomètres en aval des points d'épanchement) ;
- la seconde est liée au mélange qui se fera entre les eaux de surface et les eaux de la nappe.

Les seuils de l'arrêté du 25 janvier 2010⁵² précisant notamment les critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux superficielles, n'ont donc pas été retenus dans le cadre de la comparaison menée dans l'étude.

De ce fait, les critères de qualité réglementaires retenus portent sur le milieu eau souterraine et sont récapitulés dans le tableau 25).

La réglementation portant sur les ICPE soumises au régime d'autorisation vise à fixer des valeurs limites de rejet aux installations en cours d'exploitation. Toutefois, ce type de dispositions n'a pas non plus été considéré pour cette étude car le scénario d'ennoyage de l'INERIS ne prévoit pas d'épanchement avant plusieurs centaines d'années après la fermeture de l'installation (on ne sera donc plus dans le cader ICPE).

⁵⁰ : Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique.

⁵¹ : Arrêté du 17 décembre 2008 établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines.

⁵² : Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement.

Paramètres	Unité	NQE eau de surface Arrêté du 25 janvier 2010 (Annexe 2, état écologique, MA)	NQE eau de surface Arrêté du 25 janvier 2010 (Annexe 8, état chimique pour eaux douces de surface, MA à gauche et CMA à droite)		Valeurs seuils pour les eaux souterraines Arrêté du 17 décembre 2008 (Annexe II)	limites de qualité Arrêté du 11 janvier 2007 (Annexe I)	références de qualité Arrêté du 11 janvier 2007 (Annexe I)
Arsenic	µg/L	4,2			10 (1)	10	
Baryum	µg/L					700	
Cadmium *	µg/L		≤ 0,08 (classe 1) 0,08 (classe 2) 0,09 (classe 3) 0,15 (classe 4) 0,25 (classe 5)	≤ 0,45 (classe 1) 0,45 (classe 2) 0,6 (classe 3) 0,9 (classe 4) 1,5 (classe 5)	5	5	
Chlorures	mg/L						250
Chrome	µg/L	3,4				50	
Cuivre	µg/L	1,4				2000	1000
Mercure	µg/L		0,05	0,07	1	1	
Cyanures totaux	µg/L					50	
Nickel	µg/L		20			20	
Plomb	µg/L		7,2		10 (2)	10 (25 jusqu'au 25 décembre 2013)	
Antimoine	µg/L					5	

NQE : Norme de qualité environnementale

* Classes de dureté de l'eau :

classe 1 : < 40 mg CaCO₃/L,
classe 2 : 40 à < 50 mg CaCO₃/L,
classe 3 : 50 à < 100 mg CaCO₃/L,
classe 4 : 100 à < 200 mg CaCO₃/L,
classe 5 : ≥ 200 mg CaCO₃/L.

(1) Valeur seuil applicable uniquement aux aquifères non influencés pour ce paramètre par le contexte géologique – à définir localement pour les nappes dont le contexte géologique influence ce paramètre.

(2) Dans le cas d'un aquifère en lien avec les eaux de surface et qui les alimente de façon significative, prendre comme valeur seuil celle retenue pour les eaux douces de surface en tenant compte éventuellement des facteurs de dilution et d'atténuation.

Tableau 25 : Critères de qualité d'origine réglementaire (eau)

Les seuils réglementaires actuels de qualité des eaux, basés sur un usage potentiel, et le bon état chimique de l'eau souterraine ont été privilégiés et pourront être considérés dans le cadre d'une surveillance environnementale post-exploitation.

Bilan des critères de comparaison :

Les seuils ainsi retenus sont présentés dans le tableau 26.

		As	Ba	Cd	CN	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb
Critères de qualité (µg/L) environnement local témoin		<10 (LQ)	nm	0,7	<0,000 1 (LQ)	7	7,2	0,2	3,7	13	nm
Critères de qualité d'origine réglementaire (µg/L)	Arrêté du 11/01/2007	10	700	5	50	50	1000	1	20	10	5
	Arrêté du 17/12/2008	10	-	5	-	-	-	1	-	10	-

nm : non mesuré
< X : inférieur à la limite de quantification (LQ)
- : sans valeur

Tableau 26 : Critères de qualité retenus considérant les données sur l'environnement local témoin (état initial puis suivi de 1998 – 2010) et les critères de qualité d'origine réglementaire

Remarque : Concernant l'argent (Ag), le bismuth (Bi) et le cobalt (Co), aucune donnée permettant de définir l'environnement local témoin n'a pu être obtenue et les textes réglementaires précités n'indiquent pas de seuils pour ces ETM. L'INERIS a donc considéré que ces ETM pouvaient être ignorés par la suite sur la base des informations suivantes :

- les concentrations dissoutes calculées dans le scénario de référence (sortie à 1000 ans par 5 puits de la mine Amélie) sont très faibles pour ces éléments, inférieures au nanogramme par litre ;
- la réalisation d'une campagne spécifique pour déterminer les concentrations actuelles se heurte aux limites de quantification atteignables avec les technologies actuelles de laboratoire ;
- comme indiqué dans la suite du document, le mercure a été étudié en premier lieu comme étant le seul composé dont le critère de qualité d'origine réglementaire dans les eaux souterraines (seuil de potabilité de 1 µg/L) était dépassé dans les calculs réalisés (avec ou sans barrières) en phases préliminaires de la présente étude.

3.2.3. Concentrations calculées en nappe d'Alsace et évaluation de l'impact sur la ressource en eau

Les résultats de l'ensemble de la modélisation d'une sortie de saumure contaminée depuis StocaMine jusque dans la nappe alluviale d'Alsace sont présentés ci-après.

Rappelons que les concentrations au niveau du stockage ont été estimées dans l'étude terme-source et les débits dans l'étude géomécanique. La modélisation hydrodynamique a ainsi pris en compte les flux massiques des différents éléments pouvant s'échapper du site de stockage.

Les résultats présentés ci-après concernent les **valeurs maximales, dans l'environnement immédiat des puits de mine**. Les concentrations qui seraient mesurées un peu plus en aval sont estimées dans le chapitre suivant (panaches).

3.2.3.1. Concentrations calculées dans la nappe alluviale à 1000 ans et pour une fuite à partir des 5 puits de la mine Amélie

Ce scénario constitue le scénario de référence.

La figure 49 présente, sous forme de graphique, les concentrations calculées dans la nappe après le début de l'épanchement dans les 3 couches des 5 puits d'exhaure de la mine Amélie dans le cas où celui-ci se produirait dans 1000 ans⁵³. Les résultats sont présentés pour chacun des puits : Amélie 1, Amélie 2, Else, Joseph et Max, et les 3 couches constituant la nappe alluviale, la couche 1 étant celle du haut.

On constate que le mercure (Hg) et le chrome (Cr) sont les éléments qui se retrouvent de façon prépondérante en nappe, en cohérence avec l'étude géochimique menée sur le terme source (cf. 3.1). Les concentrations les plus élevées apparaîtraient dans la couche inférieure (couche 3, couche 2 autour du puits Max) où cette 3^{ème} couche n'est pas présente).

Le maximum observé se trouve en couche 3 (la plus profonde), au droit du puits Amélie 1 : ceci s'explique surtout par les paramètres hydrodynamiques de cette zone mais également par un débit d'injection plus élevé du fait du diamètre plus important de ce puits.

C'est au droit du puits Max que le maximum en couche 2 est observé : du fait de l'absence de couche 3 sur ce puits, l'injection est en effet simulée ici directement en couche 2⁵⁴.

⁵³ : Les concentrations associées à la date 1000 ans correspondent en réalité à celles calculées par le modèle de transfert quelques années (3 à 10) après cette date, qui matérialise le début de l'épanchement, afin que le panache de pollution, intégrant la contribution des 5 puits Amélie, ait eu le temps de se former et que les concentrations maximales soient atteintes dans la nappe.

⁵⁴ : Le maximum en couche 1 est observé à quelques centaines de mètres à l'aval de ce même puits, également du fait que l'injection est effectuée directement en couche 2.

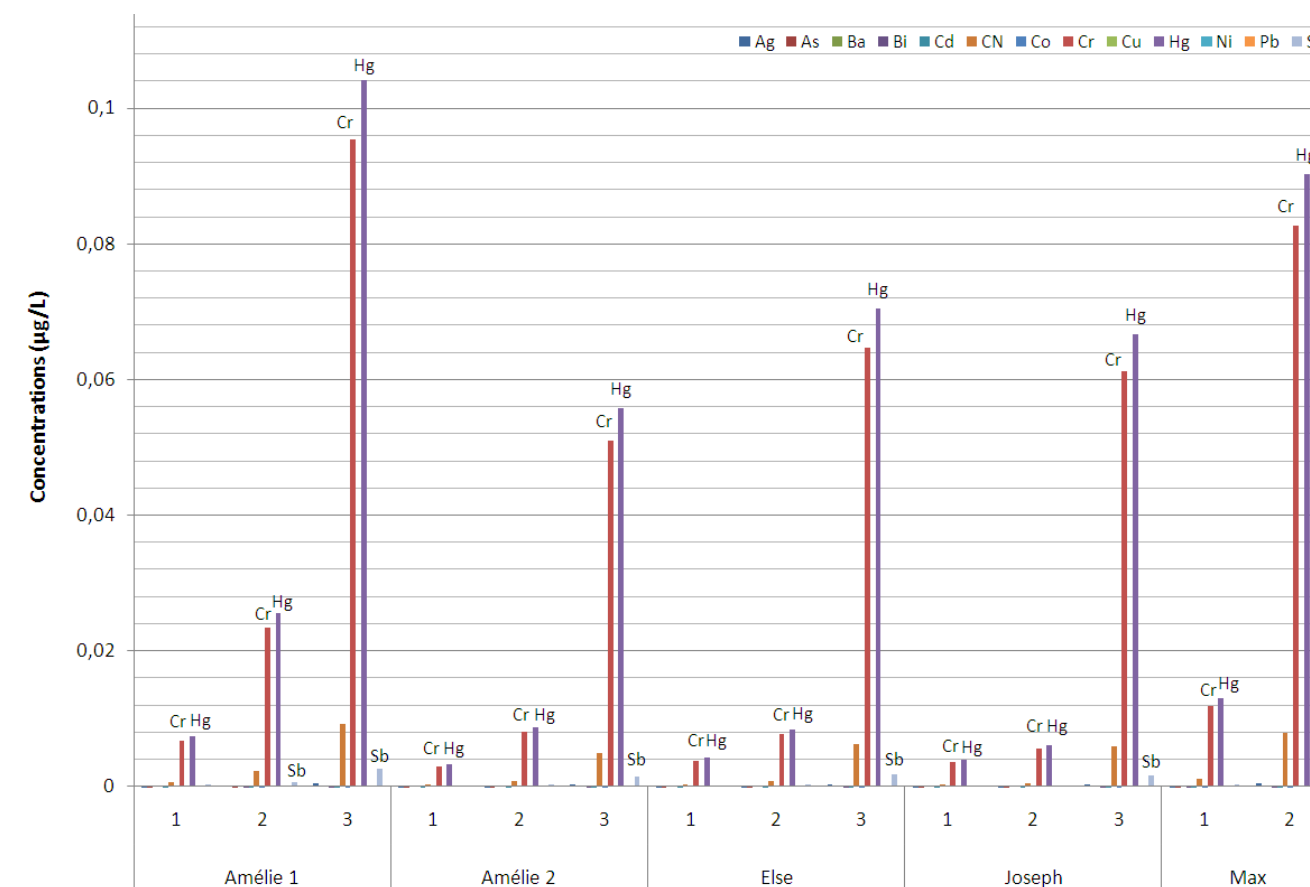


Figure 49 : Illustration des concentrations moyennes calculées après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans)

Les valeurs associées sont reportées dans le tableau 27.

Les deux premières lignes du tableau 27 rappellent les valeurs de comparaison : les valeurs maximales obtenues par la mesure réalisée en amont des puits Joseph/Else (l'environnement local témoin, cf. tableau 24) et les seuils d'origine réglementaire actuels (cf. également tableau 26).

Il en ressort que, pour un épanchement dans 1000 ans et à partir de 5 puits, la comparaison à l'environnement local témoin et aux seuils d'origine réglementaire indique une absence d'impact du stockage sur la qualité des eaux souterraines en présence de barrières ouvragées retardant à 1000 ans l'impact du stockage.

Couche	Critères de qualité (µg/L) – environnement local témoin	<10 (LQ)	nm	0,7	<0,0001 (LQ)	7	7,2	0,2	3,7	13	nm
	Critères de qualité d’origine réglementaire (µg/L)	10	700	5	50	50	1000	1	20	10	5
	Puits	As	Ba	Cd	CN	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb
1	Amélie 1	1,47E-05	2,20E-10	1,48E-06	6,53E-04	6,79E-03	1,86E-10	7,41E-03	2,93E-10	4,35E-10	1,82E-04
	Amélie 2	6,62E-06	9,90E-11	6,63E-07	2,93E-04	3,05E-03	8,33E-11	3,33E-03	1,32E-10	1,95E-10	8,15E-05
	Else	8,38E-06	1,25E-10	8,39E-07	3,71E-04	3,86E-03	1,06E-10	4,21E-03	1,67E-10	2,47E-10	1,03E-04
	Joseph	8,02E-06	1,20E-10	8,03E-07	3,55E-04	3,69E-03	1,01E-10	4,03E-03	1,59E-10	2,37E-10	9,88E-05
	Max	2,58E-05	3,86E-10	2,58E-06	1,14E-03	1,19E-02	3,25E-10	1,30E-02	5,13E-10	7,61E-10	3,18E-04
2	Amélie 1	5,09E-05	7,62E-10	5,10E-06	2,25E-03	2,35E-02	6,41E-10	2,56E-02	1,01E-09	1,50E-09	6,28E-04
	Amélie 2	1,76E-05	2,63E-10	1,76E-06	7,77E-04	8,09E-03	2,21E-10	8,82E-03	3,49E-10	5,18E-10	2,16E-04
	Else	1,68E-05	2,51E-10	1,68E-06	7,44E-04	7,74E-03	2,12E-10	8,44E-03	3,34E-10	4,96E-10	2,07E-04
	Joseph	1,21E-05	1,81E-10	1,21E-06	5,36E-04	5,57E-03	1,52E-10	6,08E-03	2,41E-10	3,57E-10	1,49E-04
	Max	1,80E-04	2,69E-09	1,80E-05	7,95E-03	8,27E-02	2,26E-09	9,02E-02	3,57E-09	5,30E-09	2,21E-03
3	Amélie 1	2,07E-04	3,10E-09	2,08E-05	9,17E-03	9,54E-02	2,61E-09	1,04E-01	4,12E-09	6,12E-09	2,55E-03
	Amélie 2	1,11E-04	1,66E-09	1,11E-05	4,91E-03	5,11E-02	1,40E-09	5,57E-02	2,20E-09	3,27E-09	1,37E-03
	Else	1,40E-04	2,10E-09	1,40E-05	6,21E-03	6,46E-02	1,77E-09	7,05E-02	2,79E-09	4,14E-09	1,73E-03
	Joseph	1,33E-04	1,99E-09	1,33E-05	5,88E-03	6,12E-02	1,67E-09	6,67E-02	2,64E-09	3,92E-09	1,64E-03

nm : non mesuré

< X : inférieur à la limite de quantification (LQ)

valeur < critères de qualité environnement local témoin et critères de qualité d’origine réglementaire.

Tableau 27 : Valeurs de concentrations moyennes calculées après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans)

Pour faciliter la comparaison avec le scénario suivant (hypothèse d'une sortie de contaminant concentrée sur deux puits seulement), les concentrations les plus élevées (c'est-à-dire celles du mercure) calculées sur l'ensemble de la zone modélisée par le BRGM à 1000 ans, à partir d'un épanchement par 5 puits, sont reportées dans le tableau 28 ci-dessous.

Couche	Concentration Hg max. (µg/L)	Domaine de variation lié à l'incertitude associée au terme source (± 50%)
1	1,7E-02	8,50E-03 à 2,55E-02
2	9,02E-02	4,51E-02 à 1,35E-01
3	1,04E-01	5,20E-02 à 1,56E-01

Tableau 28 : Concentrations maximales calculées dans le modèle (pour un épanchement dans 1000 ans et en considérant 5 puits d'épanchement)

La situation des 5 puits par lesquels la sortie de saumure polluée est prise en compte est illustrée sur la figure 50. Une représentation de la taille du maillage du modèle y est également représentée.

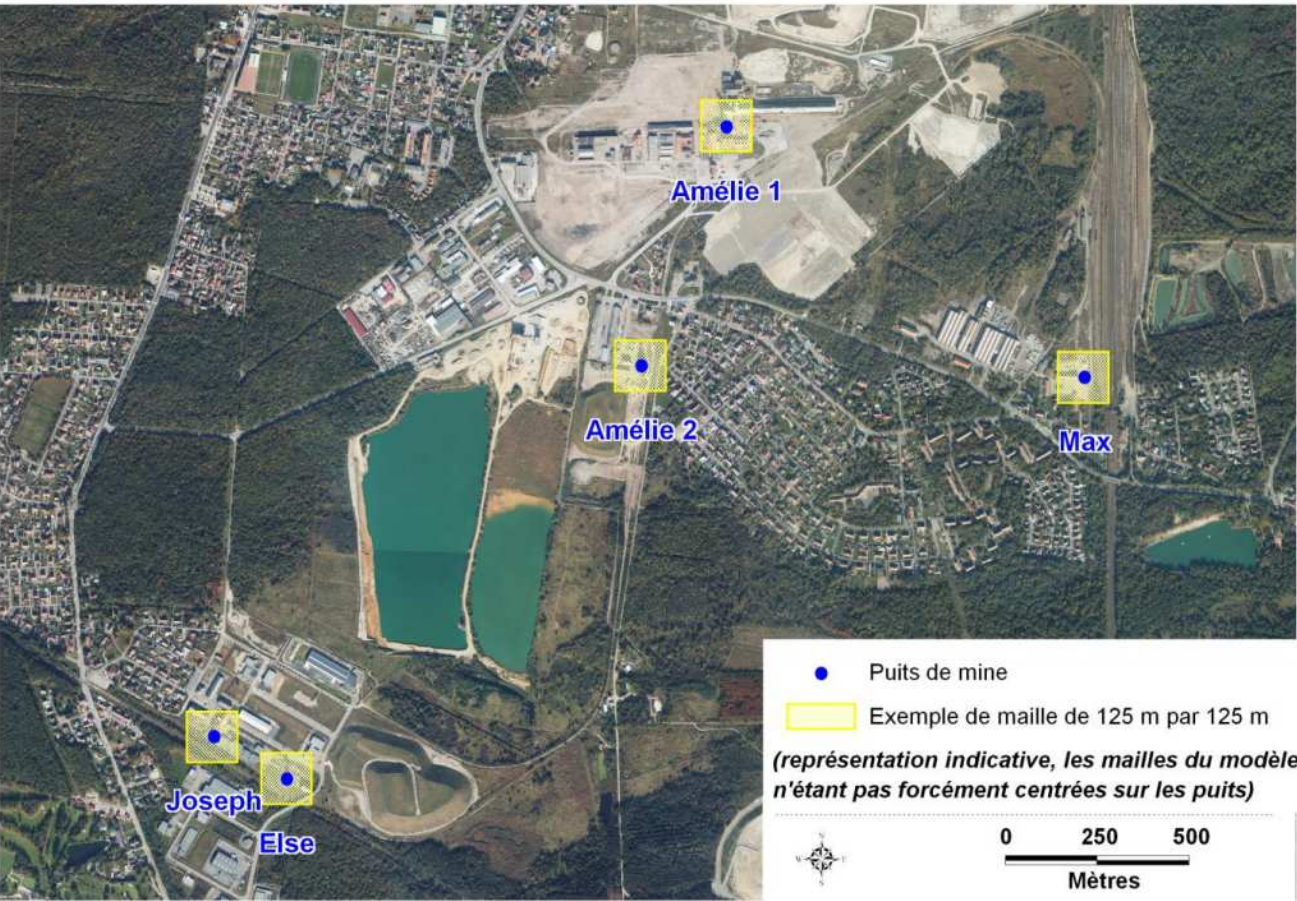


Figure 50 : Position des puits "de la mine Amélie" (Joseph, Else, Amélie 1 et 2, Max).

Remarque :

Les concentrations dans la nappe présentées ci-dessus calculées dans l'environnement proche des puits de mine en admettant qu'à l'arrivée en surface, la saumure polluée se dispersait dans la nappe de façon homogène à proximité des puits de mine représentés par une maille du modèle (125 m x 125 m), ce qui ne serait pas le cas si cette dispersion était empêchée par exemple par un forage particulier pompant de l'eau à proximité immédiate d'un puits de mine et captant ainsi toute la saumure.

On ne peut pas préjuger de l'évolution de l'usage la nappe dans les siècles à venir, notamment du fait des changements climatiques toutefois l'hypothèse d'un tel forage pour un usage (irrigation, AEP, ...), exploitant qui plus est la couche profonde de l'aquifère n'est pas vraisemblable aujourd'hui du fait de la très grande productivité des niveaux supérieurs de cette nappe qui suffisent largement à un éventuel usage particulier. Il faut également considérer que ce genre de pompage serait analysé fréquemment, un impact diffus, plus masqué serait donc plus problématique (cas étudié ici).

N.B. : L'INERIS a également réalisé un calcul en majorant de 50% les concentrations initiales dans le stockage. La figure 51 présente ainsi pour le mercure et le chrome, par puits et pour chaque couche, l'influence de l'incertitude de ± 50% associée au calcul du terme source.

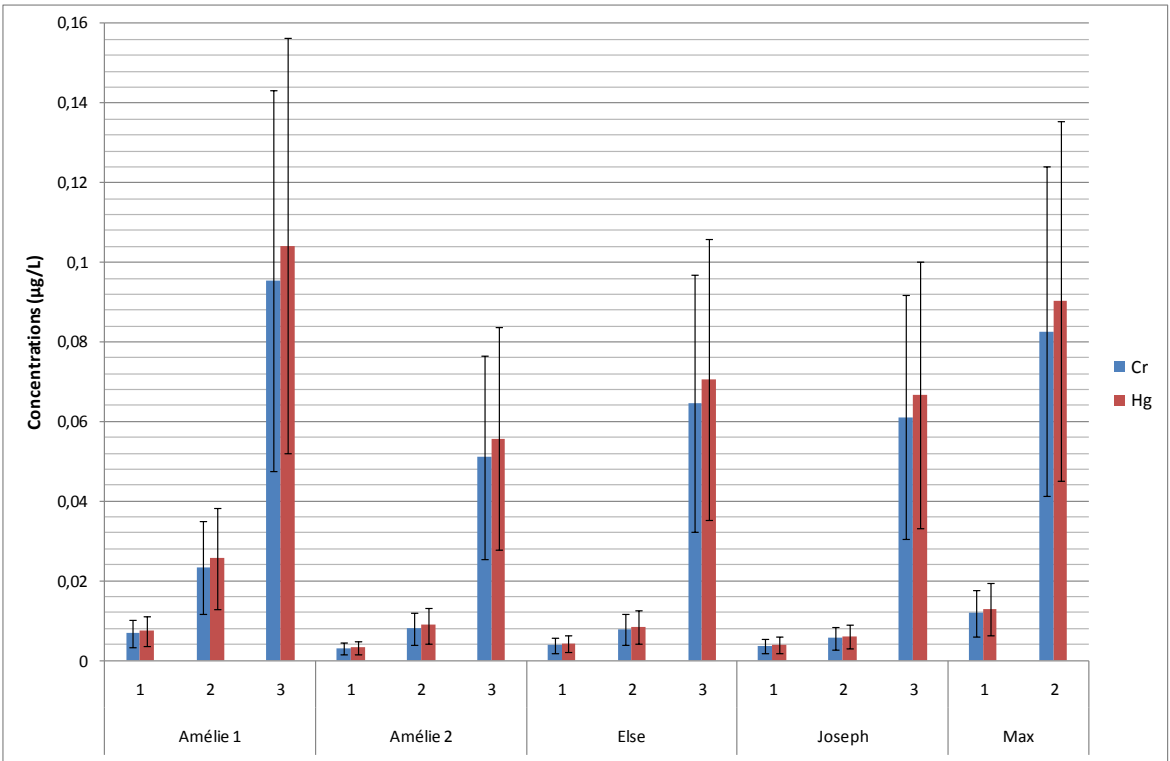


Figure 51 : Concentrations calculées en Hg (critères : 0,2 et 1 µg/L) et Cr (critères : 7 et 50 µg/L) après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans, incertitude ± 50 %)

En comparant les valeurs les plus hautes avec les valeurs de référence, il s'avère que toutes les concentrations simulées restent inférieures aux critères de qualité.

3.2.3.2. Cas d'une sortie de polluants par seulement deux puits

La discussion sur les incertitudes liées à ce type de modélisation fait l'objet d'un chapitre spécifique. Il apparaît toutefois nécessaire de présenter ici également les résultats des calculs qui ont été effectués en tenant compte de la marge d'incertitude sur les voies de transfert (hypothèse possible d'un épanchement par seulement les deux puits les plus proches de StocaMine : Joseph et Else).

Ceci revient à multiplier la valeur calculée à la sortie des puits Joseph et Else par un facteur maximum de 2,5 tenant compte de la différence de débit. L'effet de l'incertitude de ± 50% associée au calcul du terme source est encore intégré à ce calcul.

La figure 52 fournit la représentation graphique des résultats pour le chrome et le mercure qui sont les éléments les plus critiques : les concentrations seraient un peu plus importantes au puits Else qu'au puits Joseph et plus élevées dans la couche 3, à la base de la nappe.

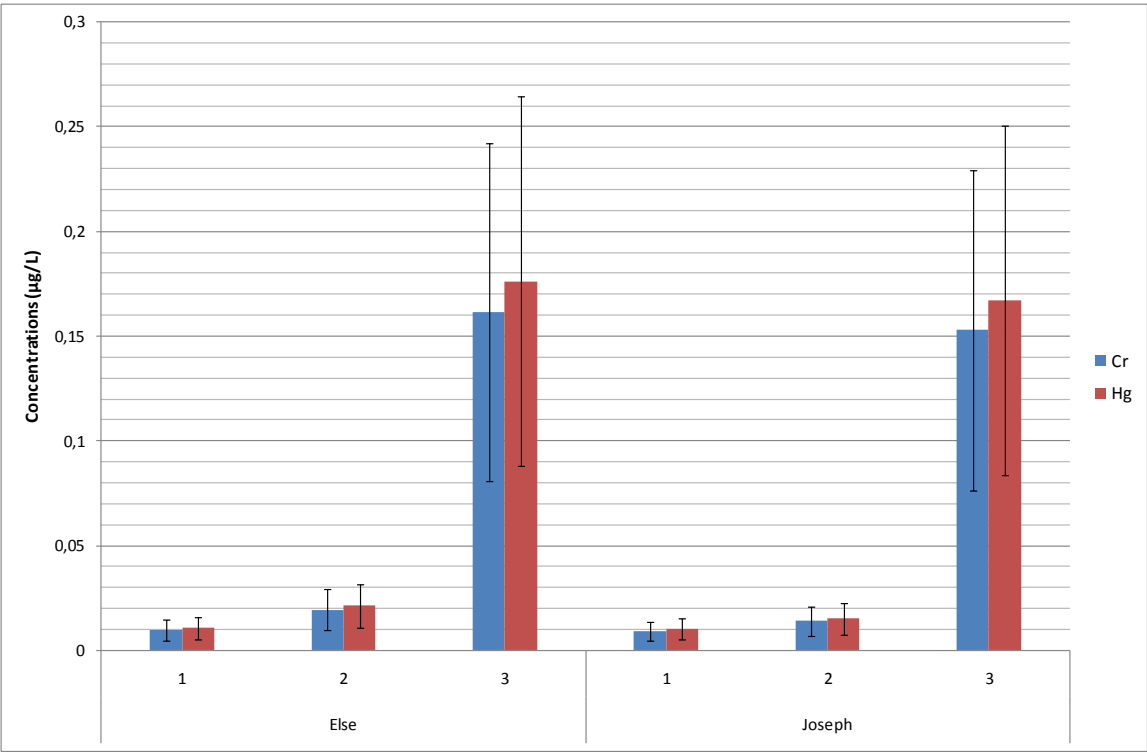


Figure 52 : Concentrations calculées en Hg (critères : 0,2 et 1 µg/L) et Cr (critères : 7 et 50 µg/L) après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 2 puits Joseph et Else (sortie dans 1000 ans, incertitude ± 50 %)

Les concentrations en chrome resteraient bien inférieures aux critères de référence (facteur 30 à 100). Avec 0,18 µg/L comme concentration maximale calculée, les teneurs en mercure en aval des puits apparaissent également inférieures à la norme de potabilisation (1 µg/L) et à la valeur de référence locale (0,2 µg/L).

Néanmoins, si l'on tient compte de l'incertitude de ± 50% retenue par l'INERIS, on obtient un faible dépassement de la valeur de l'environnement local témoin avec une concentration maximale de l'ordre de 0,27 µg/L dans la partie inférieure de la nappe et au voisinage immédiat du puits Else (3 mailles du modèle sont concernées au sein de la couche inférieure avec des concentrations comprises entre 0,21 et 0,27 µg/L à comparer aux 0,2 µg/L observés dans le suivi réel sur la couche 1 car on ne dispose pas de valeurs pour la couche 3).

N.B : L'incertitude de 50% prend en compte les marges d'erreur des appareils de mesure en les additionnant systématiquement. Si l'on admet que les appareils peuvent parfois surestimer les valeurs réelles puis les sous-estimées, le calcul statistique réalisé par les MDPA aboutit à une incertitude qui ne serait que de quelques %.

3.2.3.3. Illustration de la décroissance des phénomènes

Le tableau 29 présente la concentration en mercure calculée dans la nappe d'Alsace à la sortie du puits Amélie 1 où la concentration est maximale par rapport aux autres puits (cf. figure 51). Ces concentrations sont données à trois niveaux (dans le stockage, à la sortie des barrières et à la sortie du puits Amélie 1) et selon 3 hypothèses concernant la fuite à travers les barrières (fuite à 1000 ans, 500 ans et 300 ans).

Soulignons, comme déjà précisé, que les barrières seront dimensionnées pour 1000 ans au moins : les hypothèses de fuite à 500 ans voire 300 ans permettent **d'illustrer la décroissance des concentrations liée à la diminution des débits mobilisables par la compaction** (de la mine et des déchets).

Les calculs à 300 ans et 500 ans peuvent également être interprétés comme des **résultats en cas de dysfonctionnement des barrières**.

Temps (ans)	Scénario	Concentration Hg dans le stockage	Concentration Hg- à la sortie des barrières	Concentration nappe dans la partie inf. de la nappe au puits Amélie 1
		g/L	g/L	µg/L
300	Indicatif	7,5	2,7E-03	2,4
500	Indcatif	7,5	1,1E-03	0,98
1000	Scénario barrières de confinement 1000 ans	7,5	1,2E-04	0,1

Tableau 29 : Comparaison des concentrations moyennes calculées en Hg dans le stockage, à la sortie des barrières et dans la partie inférieure de la nappe dans le cas d'un épanchement par 5 puits

La concentration dans le stockage (première colonne) correspond au terme source, avec une concentration identique dans les trois calculs : concentration calculée par dissolution maximale du mercure de l'ensemble des déchets dans un volume réduit de saumure.

Deux dilutions interviennent ensuite, réduisant à chaque fois considérablement les concentrations en mercure :

- à la sortie des barrières, la dilution de la saumure contaminée par les déchets dans la saumure non contaminée provenant des travaux miniers,
- à la sortie des puits, la dilution par les débits de chaque couche de la nappe d'Alsace.

La concentration dans la nappe, estimée par le modèle du BRGM, dépend évidemment de la vitesse d'écoulement de la nappe (voisine de 1 à 3 m/jour pour fixer les idées) mais aussi de la taille de la maille.

La concentration arrivant dans le puits Amélie 1 décroît au fil du temps du fait du rapport entre débit mobilisable de StocaMine (mobilisable par la compaction des déchets) et débit de saumure saine (mobilisable cette fois par la compaction de l'ensemble de la mine). De ce fait, le flux de polluants pouvant atteindre la nappe diminue au fil du temps, générant des concentrations de plus en plus faibles dans la nappe.

Dans l'hypothèse d'une fuite immédiate des barrières après l'envoyage, c'est-à-dire dans 300 ans, le seuil de potabilité (1 µg/L) serait dépassé autour du puits Amélie 1 dans la couche inférieure du modèle de nappe, avec 2,4 µg/L.

Dans l'hypothèse d'une fuite à 500 ans la concentration calculée décroît en dessous du seuil de potabilité avec 0,98 µg/L dans la partie inférieure de la nappe, mais le seuil de 0,2 µg/L correspondant à l'environnement local témoin reste dépassé. En outre, si l'on tient compte de l'incertitude sur la valeur moyenne de la masse en mercure de ± 50%, on obtient également un dépassement du seuil de potabilité.

En revanche, comme indiqué précédemment à partir du tableau 27, aucun dépassement n'est constaté si les barrières restent efficaces pendant 1000 ans ce qui correspond à l'objectif recherché. La concentration est alors de 0,1 µg/L. Le seuil de potabilité n'est pas dépassé même en considérant l'incertitude sur la masse de déchets qui donne alors une concentration maximale de l'ordre de 0,16 µg/L.

Une deuxième façon d'illustrer la décroissance des débits mis en jeu consiste à représenter l'évolution dans le temps des concentrations calculées dans la nappe, à partir du moment où les polluants pourraient l'atteindre.

Pour ce qui concerne le puits Amélie 1 qui présenterait la concentration la plus importante dans l'hypothèse d'un épanchement par les 5 puits, les figures suivantes présentent ainsi l'évolution des concentrations en mercure (Hg) dans le cas d'un épanchement à 1000 ans et à 500 ans. Ces résultats intègrent l'incertitude de ± 50% sur le terme source.

La figure 53 présente le cas indicatif d'une sortie de polluant à 500 ans (couche du haut = couche 1, couche intermédiaire = couche 2, couche du bas = couche 3).

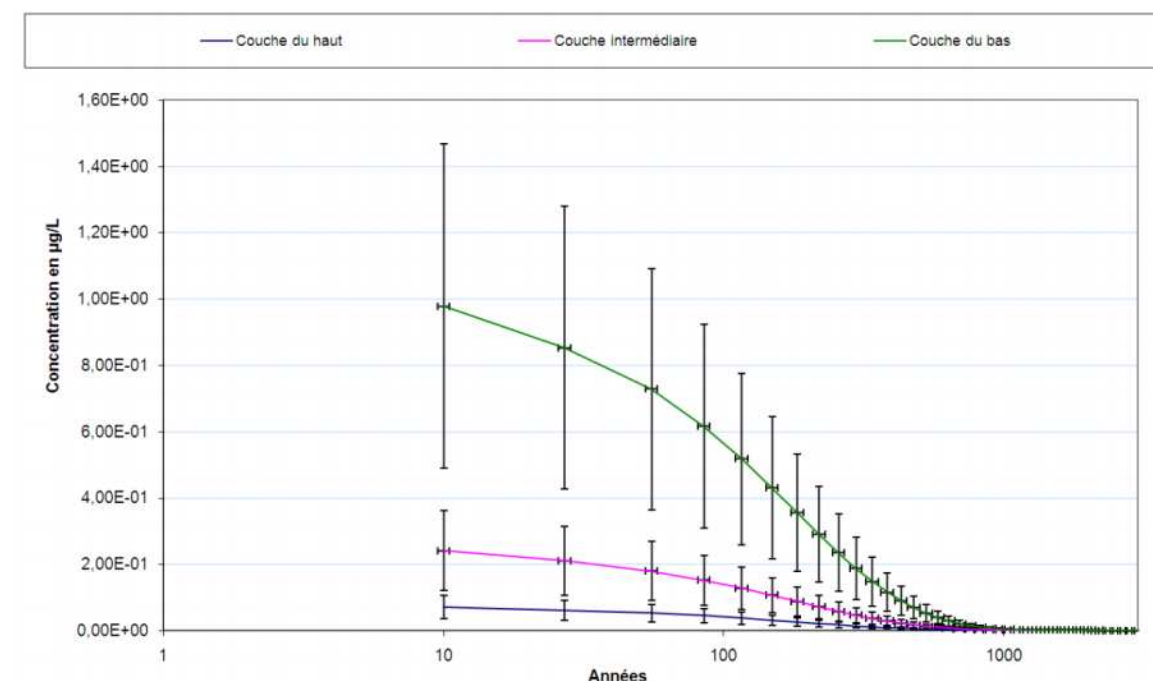


Figure 53 : Chronique des concentrations calculées pour le mercure sur le puits Amélie 1 (pour un épanchement par 5 puits dans 500 ans, incertitude ± 50 %, échelle semi-log, origine du temps prise à 500 ans)

La figure 54 ci-après présente le scénario avec les barrières assurant un retard de 1000 ans (échelle verticale zoomée par rapport au graphique précédent).

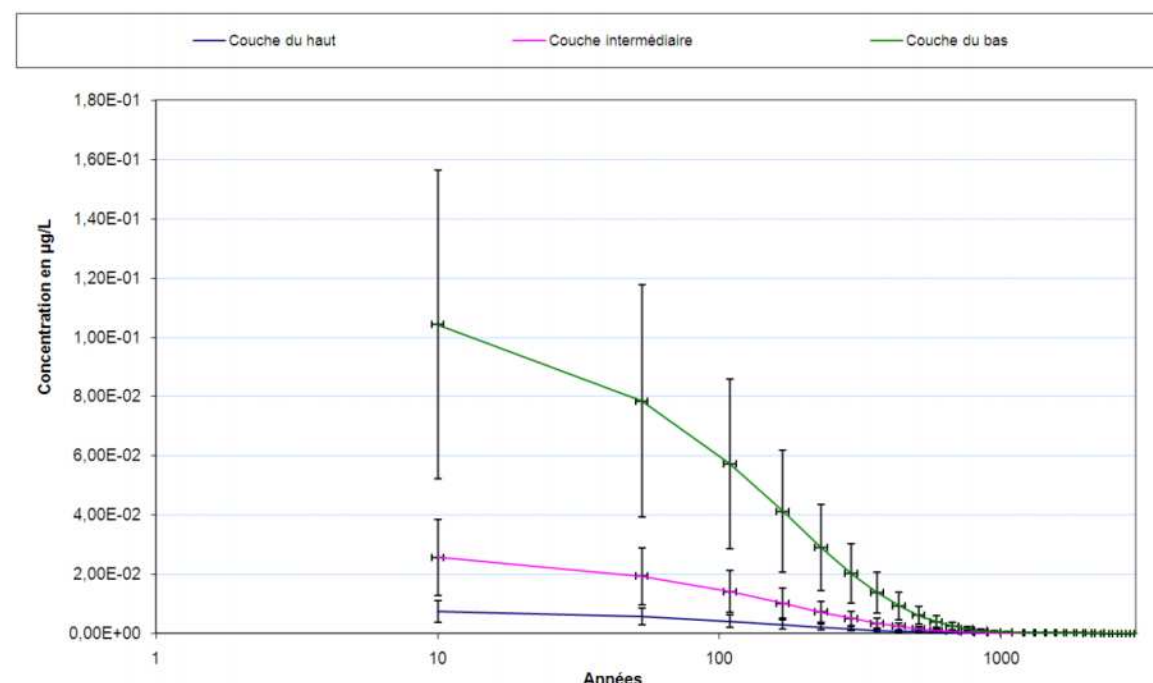


Figure 54 : Chronique des concentrations calculées pour le mercure sur le puits Amélie 1 (pour un épanchement par 5 puits dans 1000 ans, incertitude ± 50 %, échelle semi-log, origine du temps prise à 1000 ans)

La figure 53 et la figure 54 représentant les résultats modélisés dans les trois couches de la nappe, elles illustrent également l'atténuation des concentrations de bas en haut de la nappe du fait de l'injection de la saumure contaminée dans la couche du bas.

Cas d'une sortie par seulement deux puits :

L'hypothèse d'une sortie de polluants par 2 puits et non 5 apparaissant comme défavorable a été également étudiée en cas de dysfonctionnement des barrières. Les résultats sont présentés dans le tableau 30. La concentration la plus défavorable apparaît pour le mercure en aval du puits Else à la base de la nappe.

Temps (an)	Concentration Hg dans le stockage	Concentration Hg-à la sortie des barrières	Concentration HG dans la nappe (maille du puits Else couche du bas)
	g/L	g/L	µg/L
300 (indicatif)	7,5	2,7E-03	4,00
500 (indicatif)	7,5	1,1E-03	1,65
1000 (à retenir)	7,5	1,2E-04	0,18

Tableau 30 : Comparaison des concentrations moyennes calculées en Hg dans le stockage, à la sortie des barrières et dans la partie inférieure de la nappe dans le cas d'un épanchement par 2 puits

Pour comparer ce tableau 30 au tableau 29, il convient de garder à l'esprit que les concentrations ne sont pas calculées pour les mêmes puits (respectivement Else et Amélie 1). C'est pourquoi elles ne varient pas dans un rapport de 2,5 alors que le débit de fuite varie bien en moyenne dans ce rapport là.

Dans l'hypothèse d'une fuite immédiate des barrières après l'ennoyage, c'est-à-dire dans 300 ans, le seuil de potabilité serait dépassé avec 4 µg/L (à comparer au seuil de 1 µg/L).

Dans l'hypothèse d'une fuite à 500 ans la concentration calculée serait de 1,65 µg/L, ce qui dépasse également le seuil de potabilité.

En revanche, aucun dépassement n'est constaté si les barrières restent efficaces pendant 1000 ans ce qui constitue l'objectif recherché.

La concentration est alors de 0,18 µg/L et le seuil de potabilité n'est pas dépassé même en considérant l'incertitude sur la masse de déchets. Néanmoins, si l'on tient compte de cette incertitude de ± 50%, on obtient un faible dépassement de la valeur de l'environnement local témoin avec une concentration maximale de l'ordre de 0,27 µg/L dans la partie inférieure de la nappe et au voisinage immédiat du puits Else (3 mailles du modèle sont concernées au sein de la couche inférieure avec des concentrations comprises entre 0,21 et 0,27 µg/L à comparer aux 0,2 µg/L observés dans le suivi réel local dans la couche supérieure de la nappe).

3.2.3.4. Conclusion sur les concentrations en aval des puits de mine

L'évaluation de l'impact d'une remontée de polluants jusqu'à la nappe alluviale a été menée en considérant plusieurs paramètres :

- les concentrations du terme source (valeurs de référence) et les concentrations maximales associées tenant compte des incertitudes,
- l'hypothèse de base d'un épanchement par les 5 puits les puits proches de StocaMine et l'hypothèse moins favorable d'une sortie de polluants concentrée uniquement sur les puits Joseph et Else,
- l'hypothèse d'une sortie de saumure à 1000 ans environ en référence au projet de confinement du stockage mais également l'évolution préalable des concentrations (300 ans, 500 ans) permettant de quantifier également les concentrations en cas de défaillance des barrières.

Globalement, les concentrations initialement très élevées dans l'enceinte du stockage seront réduites dans la mine du fait des faibles débits pouvant être mobilisés par le phénomène de compaction, même à l'échelle de « seulement » 300 ans, durée au bout de laquelle la saumure de la mine pourrait atteindre la nappe.

Ainsi pour tous les contaminants, les concentrations calculées dans la nappe, même en cas de fuite des barrières dès la fin de l'ennoyage, sont inférieures aux critères de comparaison. Seuls le chrome et le mercure ressortent comme éléments critiques.

Si l'on tient compte des incertitudes liées à la masse de déchets et au nombre de puits concernés par la fuite de saumure contaminée en nappe d'Alsace (et avec les nombreuses hypothèses majorantes décrites tout au long de ce rapport), un dépassement des critères de qualité retenus serait constaté seulement pour le mercure dans le cas d'un épanchement de saumure polluée se produisant dans 500 ans et à plus forte raison à 300 ans (si les barrières n'étaient pas du tout efficaces).

Si les barrières gardent leur efficacité sur 1000 ans, même dans l'hypothèse majorante d'une masse de déchets de mercure augmentée de 50% et d'un épanchement de saumure polluée par seulement 2 puits, la concentration maximale en mercure est estimée à 0,27 µg/L, ce qui reste inférieur au critère de potabilité et dans l'ordre de grandeur des concentrations actuellement observées dans la nappe.

Enfin, sur la base d'un épanchement de contaminant par les 5 puits les plus proches de StocaMine, le seuil de potabilité et le seuil de bruit de fond local ne sont alors pas dépassés, même en considérant les valeurs initiales en mercure les plus élevées.

La mise en place de barrières de perméabilité suffisamment faible pour ne pas être traversées en moins de 1000 ans sous une pression de 6 MPa est donc une mesure de maîtrise des risques suffisante pour protéger le milieu eu égard aux facteurs de sécurité retenus à chaque étape du calcul.

Ce bilan est dressé pour l'impact au niveau des puits de mine, le paragraphe suivant traitera de la dispersion des contaminants plus en aval des puits, dans la nappe.

Notons que bien qu'affiné au droit de StocaMine, le maillage utilisé dans le modèle est constitué d'éléments de 125x125x10 m (maillage nettement plus fin que celui utilisé actuellement pour la surveillance de la nappe d'Alsace), c'est-à-dire de mailles d'environ 150 000 m³. De ce fait, les concentrations calculées par le modèle de la nappe d'Alsace, à la sortie des puits ne représentent pas la valeur maximale dans tout les premiers mètres entourant les puits mais **correspondent à des valeurs moyennes dans une zone relativement limitée d'environ 70 m autour des puits (rayon équivalent d'une maille carrée de 125 m de côté).**

3.2.4. Illustration des panaches de pollution liés au scénario de référence

Les concentrations présentées précédemment correspondent à l'environnement immédiat des puits (maille de 125 m x 125m). La dispersion des potentiels contaminants plus en aval dans la nappe a ensuite été modélisée et les panaches de concentration calculés dans le cadre du scénario de référence pour le mercure sont illustrés sur la figure 55. Ces cartes présentent les concentrations obtenues dans le cas d'un épanchement à 1000 ans à partir des 5 puits de la mine Amélie pour les 3 couches du modèle.

Ces cartes présentent les concentrations obtenues dans le cas d'un épanchement à 1000 ans à partir des 5 puits de la mine Amélie pour les 3 couches du modèle.

Il apparaît que sur l'ensemble de la zone d'étude, seule la concentration calculée en couche inférieure sur le puits Amélie 1 dépasserait légèrement 0,1 µg/L (en orange sur la figure, avec 0,104 µg/L).

Des profils de concentration (représentés en trait noir sur la figure 55 ci-dessus) ont été tracés afin d'étudier la décroissance des concentrations depuis la zone des puits jusqu'en aval lointain.

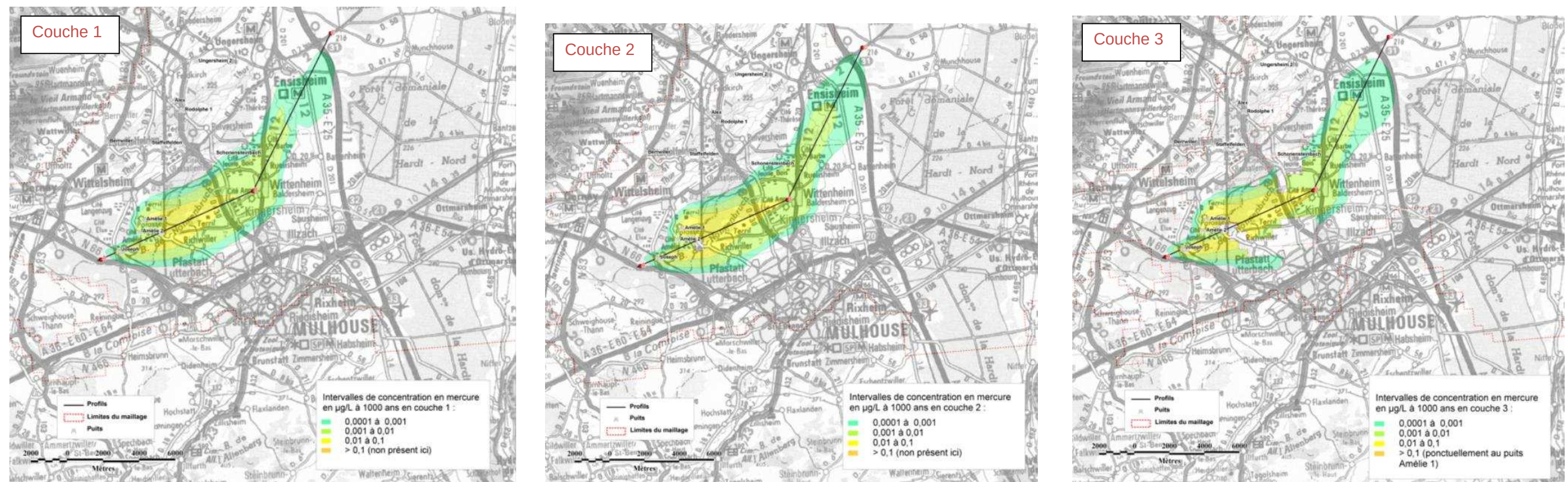


Figure 55 : Modélisation de la dispersion du mercure dans la nappe depuis les puits de mine

N.B. : Dans le secteur du puits Max la nappe alluviale n'est constituée que de deux couches.

Les trois profils (un par couche de la nappe alluviale) intègrent l'évolution des concentrations suivant l'axe d'écoulement principal issu des puits :

- pour ce qui concerne le mercure dans 1000 ans, date de sortie potentielle de saumure polluée (figure 56).
- et pour ce qui concerne l'ion chlorure dans 300 ans, date de la fin de l'ennoyage de la mine et de l'épanchement potentiel de saumure « saine » (figure 57).

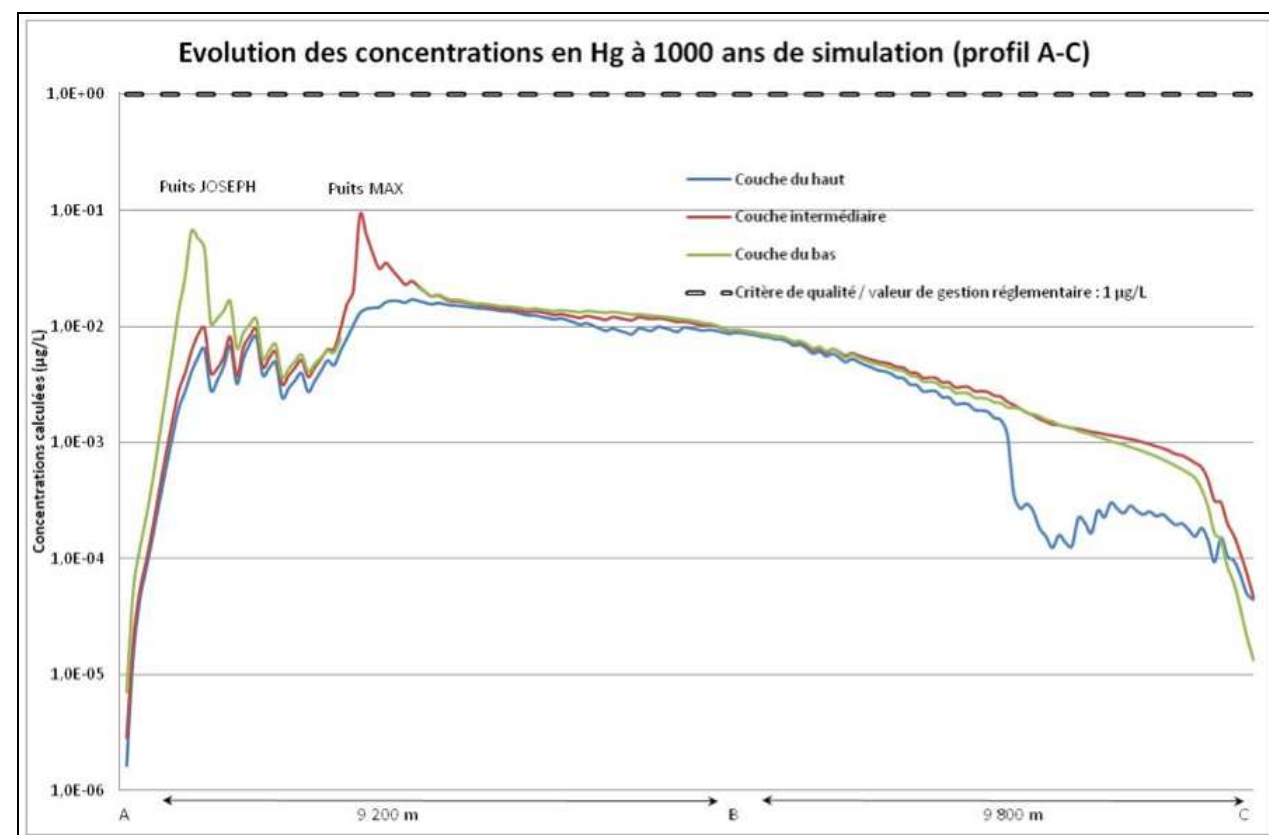


Figure 56 : Evolution des concentrations en Hg à 1000 ans de simulation le long d'un profil ouest / nord-est

(couche du haut = couche 1, couche intermédiaire = 2, couche du bas = 3)

Les profils superposés de la figure 56, passant par les puits Joseph (3 couches présentes) et Max (lacune de la couche inférieure) montrent :

- une décroissance des concentrations depuis le puits Joseph
- puis des valeurs plus importantes à hauteur du puits Max du fait de la combinaison de ces deux sources potentielles de sortie de saumure
- et enfin une diminution des teneurs vers l'aval, par dilution progressive (avec une baisse de concentration subite dans la couche du haut du fait de la modification de ses caractéristiques, notamment sa perméabilité à proximité d'un cours d'eau).

Le critère de qualité correspondant à l'eau potable est également représenté. Les concentrations en mercure restent en-dessous de cette valeur (avec un facteur 10 au niveau des puits puis un facteur 100 à hauteur du point B et un facteur 10 000 au point C).

La courbe d'évolution des chlorures (ci-dessous) montre que la concentration aux points d'épanchement, bien que proche de la valeur réglementaire pour l'alimentation en eau potable, ne la dépasse pas.

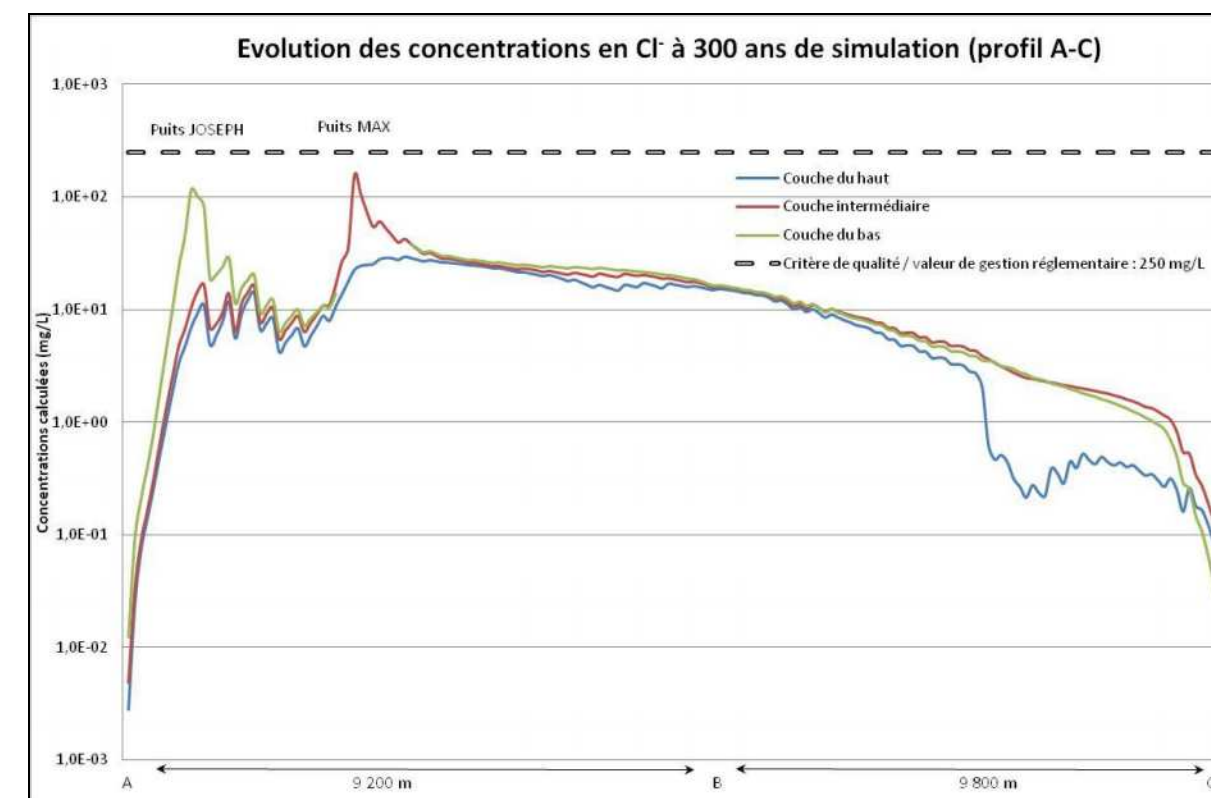


Figure 57 : Evolution des concentrations en Cl- à 300 ans de simulation le long d'un profil ouest/nord-est

(couche du haut = couche 1, couche intermédiaire = 2, couche du bas = 3)

Remarque : Concernant les panaches issus du calcul, il convient d'indiquer ici une observation du BRGM (page 41, [62]) quant à la validité des concentrations calculées en amont hydraulique de la zone d'injection (puits Amélie) :

« Un examen attentif des panaches de concentration représentés sur ces différentes figures montre qu'ils remontent légèrement en amont hydraulique des puits d'injection, ce qui semble paradoxal dans la mesure où l'on s'attendrait à ce que la pollution migre exclusivement vers l'aval hydraulique des points d'injection. En pratique, cependant, cette anomalie est systématique dans les simulations de transport hydrodispersif. Elle provient du fait que le phénomène de dispersion cinématique n'est pas représenté de façon totalement satisfaisante par les équations de transport de soluté. De Marsily (Hydrogéologie Quantitative, 1981, pp. 175-176) note en effet, « on peut mettre en doute, pour les forts coefficients de dispersion longitudinale, la validité de la théorie qui ne distingue pas le sens de circulation convective et le sens du gradient de concentration pour déterminer le flux dispersif ». En particulier, aux abords immédiats d'un point d'injection, pour les forts gradients de

concentration vers l'amont hydraulique, « la somme algébrique des flux convectifs et dispersifs peut devenir négative, ce qui signifie que les éléments transportés se mettent à remonter le courant et à cheminer vers l'amont : on voit mal, physiquement, comment la dispersion cinématique, qui est somme toute une hétérogénéité des vitesses réelles par rapport à la vitesse convective, pourrait propager des éléments vers l'amont : les vitesses réelles dans le milieu poreux sont vraisemblablement toujours plus orientées vers l'aval que vers l'amont ». ».

Les concentrations les plus élevées dans la nappe se localiseraient autour des puits de mine les plus proches de StocaMine (Joseph et Else, et sans doute Amélie 1, Amélie 2, Max).

Les éléments seront alors entraînés en aval par le flux de la nappe alluviale.

Les concentrations associées seront inférieures aux critères de qualité actuels même à faible distance des puits, d'où des facteurs de sécurité très importants en aval plus éloigné du fait de la dilution par les apports de la nappe.

3.2.5. Conclusion – Compatibilité avec le SDAGE

Les études préalables concernant l'évaluation de l'impact du stockage illimité des déchets du site de StocaMine sur la qualité de la nappe d'Alsace sans aucune mesure précoce de confinement avaient indiqué un possible dépassement des seuils réglementaires pour quelques éléments (antimoine, arsenic et mercure). Le projet de fermeture prévoyant toutefois des serremments ou barrières de fermeture, les études ont permis de confirmer que le stockage devait être confiné avec des barrières de faible perméabilité en précisant que le rôle de ces barrières était d'exploiter le fait que la compaction de la mine et des déchets de StocaMine diminuait avec le temps (d'où des débats associés devenant extrêmement faibles).

Conformément à l'étude hydrogéologique menée par l'INERIS, l'hypothèse de référence sur laquelle s'appuie cette modélisation prend en compte la mise en place de barrières avec un noyau de bentonite de très faible perméabilité dans l'ensemble des voies d'accès au stockage.

Il est considéré que la saumure contaminée pourrait sortir par les 5 puits de la mine Amélie (Joseph, Else, Amélie 1, Amélie 2 et Max). Toutefois, l'incidence de l'incertitude liée à une sortie éventuelle par les 2 puits les plus proches du stockage (Joseph et Else) a également été étudiée (hypothèse peu probable dans la mesure où la fermeture des puits Joseph et Else mettra à profit le progrès technique dans ce domaine par rapport aux puits comblés dans le passé).

Par ailleurs, l'INERIS a aussi pris en compte l'incertitude pesant sur les masses des déchets liée à la méthode d'estimation des quantités de déchets mises en œuvre par l'exploitant (de l'ordre de $\pm 50\%$ de la valeur moyenne).

Cette étude n'a pas tenu compte de l'impact du changement climatique sur la nappe d'Alsace par manque d'informations sur ce sujet et les seuils réglementaires pris en compte sont les seuils actuels sans préjuger de leur évolution éventuelle à long terme.

Les principales conclusions de cette modélisation sont les suivantes :

- Parmi les polluants étudiés (éléments trace métalliques et cyanures), le mercure est apparu comme l'élément présentant l'impact potentiel le plus élevé sur la qualité de la nappe d'Alsace et ceci bien que la masse de déchets de mercure ne soit pas la plus importante (par exemple par rapport à la masse de déchets arsénisés), d'après les données disponibles.
- Le débit d'épanchement étant plus élevé dans une hypothèse de sortie par 2 puits, les concentrations correspondantes à cette hypothèse sont plus importantes que dans l'hypothèse de référence d'une sortie par 5 puits.
- Les différentes hypothèses étudiées conduisent l'INERIS à préconiser la mise en place de barrières dimensionnées pour éviter toute sortie de saumure contaminée pendant au moins 1000 ans. Ces ouvrages seront conçus et dimensionnés par un bureau d'études spécialisé.
- Dans ce cas, même en majorant la masse de mercure (correspondant à 1,5 fois la masse moyenne calculée soit $1,5 \times 53 \text{ t} = 79,5 \text{ t}$), la concentration maximale calculée en mercure à la sortie des 5 puits resterait inférieure à $0,16 \mu\text{g/L}$ et se situerait dans la couche inférieure

de la nappe. Dans l'hypothèse a priori peu vraisemblable d'une sortie par 2 puits seulement (Joseph et Else), cette valeur maximale a été estimée à 0,27 µg/L (limite réglementaire actuelle 1 µg/L, teneur actuelle dans la nappe 0,2 µg/L).

Les résultats de cette étude se basent sur la dispersion de la saumure contaminée dans la nappe, mais l'étude réalisée ne porte pas sur l'impact éventuel du puits privé d'un particulier procédant à un pompage à proximité immédiate d'un des puits de la mine Amélie. Afin de prévenir tout usage d'une eau contaminée au droit d'un des 5 puits, l'INERIS recommande fortement le recours à des restrictions d'usage de l'eau souterraine autour des 5 puits de la mine Amélie.

En outre, même si son impact semble moins marquant que celui des éléments traces métalliques, il faut souligner, qu'en premier lieu, dès la fin de l'ennoyage, c'est-à-dire dans approximativement 300 ans, l'épanchement de saumure (non contaminée par son passage dans le stockage) en provenance des vides miniers, pourra être la cause d'une augmentation de la teneur en chlorures dans la zone des puits, en atteignant des valeurs proches mais inférieures au seuil réglementaire actuel de 250 mg/L (seuil de potabilité).

Avec les hypothèses retenues :

- dans le scénario de référence d'une sortie par 5 puits, la valeur relative à l'environnement local témoin ne sera pas dépassée ; un léger dépassement de ce critère serait localement envisageable dans l'hypothèse peu probable d'une fuite par les deux seuls puits Joseph et Else,
- dans les deux cas, les résultats de la modélisation restent très inférieurs aux critères de qualité d'origine réglementaire (= eau brute destinée à la production d'eau potable).

L'influence d'un certain nombre de facteurs conduisant à retarder ou à diminuer le transfert de saumure contaminée vers la nappe, tels que la capacité d'échange cationique des argiles le temps de remplissage des vides de StocaMine puis de retour de la saumure à travers les bouchons, etc., n'a pas été prise en compte. Ainsi, les résultats présentés doivent être considérés comme majorants, c'est-à-dire liés à une approche sécuritaire.

Les échéances citées dans le SDAGE (2015, 2021, 2027) sont sans commune mesure avec les échelles de temps présentées pour l'évaluation de l'impact du projet. **Toutefois on peut conclure que le projet est conforme aux ambitions du SDAGE (notamment l'orientations fondamentales T2) puisque :**

- le projet de fermeture du stockage, conçu avec des barrières de confinement, n'empêchera pas les masses d'eau superficielles d'atteindre un bon état aux horizons 2015 ou 2027 en raison de l'absence d'épanchement de saumure à ces échéances,
- à plus long terme, le projet n'entraînera pas de dégradation de la masse d'eau souterraine N°2001 et par conséquent des masses d'eaux superficielles proches (FRCR64, FRCR57, FRCR62, FRCR19, FRCR69, FRCR76, FRCR81, FRCR80),
- la mise en place de barrières ouvragées de très faible perméabilité contribuera à « prévenir et limiter l'introduction de polluants dans les eaux souterraines » (orientation fondamentale T2O2 du SDAGE).

3.3. Effets sur l'air

La libération de polluants dans l'air a déjà été évoquée dans le chapitre 3.1 (« terme source », INERIS [56]).

Comme pour l'étude de l'impact sur la nappe alluviale, l'étude de l'impact sur l'air doit prendre en compte l'évolution à moyen et long terme du système c'est-à-dire son passage d'un système actuellement sec à un système potentiellement baigné par de la saumure.

Pour ces deux étapes il faut préciser les concentrations en gaz en souterrain et les flux qui pourraient rejoindre l'atmosphère en surface. Il faut ensuite comparer les concentrations calculées dans l'air avec des valeurs de référence pour préciser l'impact de ces éventuels rejets gazeux.

Le risque de transfert de polluants sous forme gazeuse depuis le stockage jusqu'en surface a fait l'objet de l'étude de l'INERIS [71] intitulée « Impact potentiel du stockage sur la santé des populations (hors travailleurs) dans le cadre du scénario de stockage illimité, tenant compte des impacts potentiels sur la ressource en eau et le milieu air extérieur »

Cette étude est fournie comme pièce du dossier de demande d'autorisation. Ne sont repris ci-après que les étapes de calcul et les résultats associés. On se référera à l'étude complète pour plus de détails.

3.3.1. Données utilisées

3.3.1.1. Données sur les concentrations en gaz

On distingue les concentrations en gaz :

- dans les emballages des déchets,
- dans l'atmosphère du stockage,
- à sec puis en cas de contact avec de la saumure.

Des tests de dégazage ont été réalisés sur les déchets de classes B3 (déchets arséniés), B5 (déchets mercuriels) et A1 (Sels de trempe cyanurés) avant leur acceptation.

On dispose ainsi des résultats sur les concentrations en arsine (AsH₃), mercure métallique (Hg⁰) et acide cyanhydrique (HCN).

Les résultats de ces mesures étaient majoritairement inférieurs aux seuils de détection, mais les valeurs maximales mesurées ont été retenues comme référence dans l'air interstitiel à l'intérieur des emballages (tableau 30).

Substances	Concentration maximale (mg/m ³)	Commentaires
Arsine AsH ₃	0,06	1 valeur, 45 valeurs sur 46 valeurs ont des concentrations inférieures à la LQ de 0,03 mg/m ³
Mercure Hg ⁰	0,04	1 valeur, 19 valeurs sur 23 valeurs ont des concentrations inférieures à la LQ de 0,1 µg/m ³
Acide cyanhydrique gazeux HCNg	7 ⁵⁵	1 valeur, 12 valeurs sur 15 valeurs ont des concentrations inférieures à la LQ de 2 mg/m ³

Tableau 31 : Concentrations maximales (mg/m³) mesurées en acceptation de déchet en espace de tête de fût ([8]).

Dans le cadre de l'étude de l'exposition professionnelle du personnel à des agents chimiques, une campagne de prélèvements d'air a été menée dans le stockage par l'INERIS le 24 février 2010. Les résultats sont soit qualitatifs soit quantitatifs

Les deux points qui ont faits l'objet de ces mesures sont localisés sur la figure 58 :

- le Point M1 est au niveau du retour d'air du stockage 1 entre l'allée 1 et 2 du bloc 14,
- le Point M2 est au niveau retour d'air du stockage 2 au niveau de l'allée 3 du bloc 21

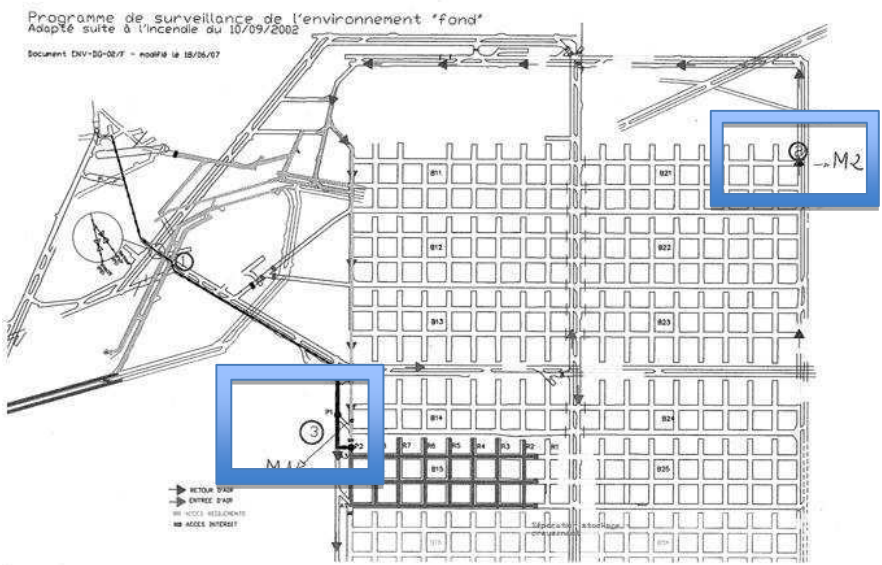


Figure 58 : Positionnement des points de mesure M1 et M2

Les résultats qualitatifs (détection ou non) sont présentés dans le tableau 32 et l'estimation quantitative associée est présentée dans le tableau 33.

Les éléments ayant fait l'objet de mesures quantitatives sont présentés dans le tableau 34.

⁵⁵ : Dans l'annexe 5.1 de l'étude d'évaluation du terme source (INERIS) est indiqué 6 ppm ou 6 mg/m³, or la conversion de 1 ppm est égale à 1,12 mg/m³.

Famille	Substances	Point M1	Point M2
Hydrocarbures halogénés	Trichloroéthylène	x	x
	Tétrachloroéthylène	x	x
	Dichlorobenzène	X	X
	Hexachloroéthane	X	-
Acides organiques	Acide acétique	X	X
Hydrocarbures	Paraffines saturées (isobutane, méthylbutane, pentane, méthylpentane, hexane, méthylhexane, isooctane, heptane, nC ₉ à nC ₁₄)	X	X
	Paraffines insaturées	X	X
	Cycloparaffines en C ₅ et C ₆	X	X
	Terpène (α pinène)	X	X
Hydrocarbures aromatiques monocycliques	Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes	X	X
	Alkylbenzènes en C ₃ et C ₄	X	X
Hydrocarbures aromatiques polycycliques - HAP	Naphtalène	traces	traces
Polychlorobiphényles - PCB	3 isomères du tétrachlorobiphényle	X	X
Légende : la taille des « X » relate une « échelle » des concentrations			

Tableau 32 : Résultats des analyses qualitatives des prélèvements d'air de la mine réalisés par l'INERIS en février 2010 aux points M1 et M2

Famille	Substances	Concentration en µg/m ³	
		Point M1	Point M2
Hydrocarbures halogénés	Trichloroéthylène	3,3E+00	6,7E+00
	Tétrachloroéthylène	3,3E+00	1,7E+00
	Dichlorobenzène	2,3E+01	2,3E+01
	Hexachloroéthane	6,7E+00	< 8,3E-01
Hydrocarbures	Pentane	2,2E+01	2,8E+01
	Hexane	6,7E+00	6,7E+00
	Heptane	1,2E+01	2,8E+01
	Benzène	5,0E+00	1,8E+01
	Toluène	6,5E+01	1,3E+02
	Ethylbenzène	3,2E+01	5,0E+01
	Xylènes	5,0E+01	8,3E+01
	Benzènes substitué en C3	4,5E+01	5,7E+01
	Benzène substitué en C4	2,0E+01	8,3E+00
Hydrocarbures aromatiques polycycliques - HAP	Naphtalène	3,3E+00	1,0E+00
Polychlorobiphényles - PCB	3 isomères du tétrachlorobiphényle	3,3E+00	< 8,3E-01
Légende : (*): les résultats sont des valeurs très approximatives, de même le seuil est un seuil estimé. Cela a conduit à présenter ici les concentrations arrondies à un chiffre significatif après la virgule.			

Tableau 33 : Concentrations « estimées » (µg/m³) issues des analyses qualitatives des prélèvements d'air de la mine réalisés par l'INERIS en février 2010 aux points M1 et M2

Substances	unités	Point M1	Point M2
Hydrocarbures C6-C12	mg/m ³	ND (<3)	ND (<2)
Acétone	mg/m ³	<0,1	0,1
Phénol	µg/m ³	0,5	0,5
Aldéhydes			
Formaldéhyde	µg/m ³	4	3
Acétaldéhyde	µg/m ³	8	8
Propionaldéhyde	µg/m ³	1	1
Butanal	µg/m ³	<1	<1
Pentanal	µg/m ³	1	1
Hexanal	µg/m ³	ND (<1)	ND (<1)
Heptanal	µg/m ³	ND (<1)	ND (<1)
Octanal	µg/m ³	ND (<1)	ND (<1)
Acides organiques			
Acide formique	mg/m ³	ND (<0,3)	ND (<0,3)
Acide acétique	mg/m ³	ND (<0,4)	ND (<0,4)
Acide propionique	mg/m ³	ND (<0,7)	ND (<0,8)
Acide butyrique	mg/m ³	ND (<0,5)	ND (<0,5)
Acide valérique	mg/m ³	ND (<1,2)	ND (<1,2)
Polychlorobiphényles PCB	µg/m ³	ND (<0,1)	ND (<0,1)
Pesticides organochlorés	µg/m ³	ND (<3)	ND (<2)
Pesticides azotés	µg/m ³	ND (<3)	ND (<2)
Composés azotés			
Ammoniac NH ₃	mg/m ³	0,5	0,06
Oxydes d'azote			
Monoxyde d'azote	ppb	188	85
Dioxyde d'azote	ppb	49	10
Composés soufrés			
Sulfure d'hydrogène	µg/m ³	ND (<7)	ND (<7)
Méthylmercaptan	µg/m ³	ND (<10)	ND (<10)
Diméthylsulfure	µg/m ³	ND (<14)	ND (<14)
TRS (composés soufrés réduit totaux)	ppb	ND (<1)	ND (<1)
Cyanure d'hydrogène - HCN	mg/m ³	0,4	0,2
Acide chlorhydrique	µg/m ³	ND (<4)	ND (<0,3)
Poussières			
Poussières alvéolaires	mg/m ³	0,03	ND (<0,03)
Métaux particuliers			
Mercure	µg/m ³	7	13
Arsenic	mg/m ³	<0,07	<0,07
Plomb	mg/m ³	<0,07	<0,07
Cadmium	mg/m ³	<0,07	<0,07
Chrome	mg/m ³	<0,07	<0,07
Chrome VI	µg/m ³	ND (<3)	ND (<3)
Mercure volatil	µg/m ³	0,8	0,8
Légende : ND : non détecté			

Tableau 34 : Concentrations dans les prélèvements d'air de la mine réalisés par l'INERIS en février 2010 aux points M1 et M2

Les résultats des analyses quantitatives du tableau 34 indiquent :

- l'absence de différences significatives entre les deux points de mesure à l'exception des concentrations mesurées en oxydes d'azote, en ammoniac, en mercure particulaire ;
- des concentrations inférieures aux limites de détection pour l'acide acétique, les hydrocarbures aliphatiques et aromatiques en C6-C12, le PCB ;
- également l'absence d'acides gras volatils (pas de fermentation), de composés soufrés dont H₂S (pas de réduction) ;
- la présence de phénol, de mercure volatil, d'acide cyanhydrique, et de certains aldéhydes (formaldéhyde, acétaldéhyde).

En conclusion, il apparaît que les substances trouvées en trace peuvent dans tous les cas provenir du dégazage de déchets ou d'une très légère activité chimique mais non d'une activité biologique.

Un léger dégazage des déchets ou une activité chimique faible est donc en cours.

Concernant la libération potentielle de gaz dans la phase de contact potentiel des déchets avec de la saumure, les résultats de la **modélisation géochimique** (étude « Terme source » [56]), sont rappelés dans le tableau ci-dessous, en intégrant la marge d'incertitude associée (±50% sur les masses initiales de chaque substance).

Substances	Concentration (mg/m ³), scénario avec barrières (7 000 m ³)
mercure élémentaire Hg ⁰	7,4 E-27
acide cyanhydrique gazeux HCN	2,8 E-06

Tableau 35 : Concentration (mg/m³) calculées en mercure élémentaire et acide cyanhydrique dans le stockage sous forme gazeuse suite à l'ennoyage de StocaMine en présence de barrières

Seuls le mercure élémentaire et l'acide cyanhydrique pourraient être produits au vu des conditions de stockage et du type de déchets stockés.

3.3.1.2. Voies de transfert retenues

Pour le milieu air, en première approche l'hypothèse retenue est de considérer que l'air potentiellement contaminé issu du stockage va suivre les mêmes chemins de migration que l'eau c'est-à-dire passer le long des puits une fois que ceux-ci auront été remblayés.

Rappelons ainsi que le transfert par des failles ou des forages n'est pas étudié car considéré comme peu probable et/ou avec des flux associés plus faibles que le long des puits.

Pour la problématique gaz, il faut par contre considérer qu'avant remblayage des puits, des gaz pourraient migrer jusqu'en surface par l'intermédiaire de la ventilation de la mine.

Dans tous les cas, les voies de transfert jusqu'en surface sont les puits de mine (ventilation, puis passage à l'extrados une fois les puits remblayés).

3.3.1.3. Identification des enjeux existants et futurs

Les enjeux liés à l'air ambiant extérieur sont en lien avec les populations humaines et les usages des sols.

Dans les environs du site de StocaMine ou à proximité sont présentes des zones tertiaires, des zones avec des habitats résidentiels et des jardins privés, parfois avec des potagers, des piscines, et des habitats collectifs, ainsi que des zones de loisirs avec des plans d'eau ou des étangs, comme le site le plus proche, le marais de Rothmoos immédiatement à l'est du carreau de StocaMine. Le secteur résidentiel le plus proche est donc la cité Joseph-Else, qui se situe à environ 100 m à l'ouest de StocaMine (cf. Partie 2, état initial).

Actuellement aucune parcelle fréquentée par des populations sensibles au regard de celles mentionnées dans la circulaire du 8 février 2007 relative à l'implantation sur des sols pollués d'établissements accueillant des populations sensibles, comme des crèches, des écoles, etc., n'est située à proximité immédiate d'un ancien puits d'exploitation.

Concernant la fermeture définitive des puits de mine, les MDPA ont jusqu'à présent posé, après remblayage des puits une dalle en béton armé (épaisseur minimale de 30 cm, face supérieure en surélévation par rapport au niveau du sol de façon à signaler d'une manière apparente, et pour une longue période, la position exacte du puits remblayé). Un accès au regard (pour surveillance) est maintenu par instauration de servitudes d'accès dans l'acte de vente. Il est préconisé de ne pas inclure les dalles à l'intérieur de constructions nouvelles.

Pour simplifier, on peut retenir que les puits de mine (qui sont les voies de transfert retenues) se trouvent dans un environnement présentant un potentiel de fréquentation assez fort (« nombreux usages actuels du sol et occupations par des populations humaines »), mais que les servitudes au niveau des dalles de fermeture empêcheront la construction de bâtiments sur les puits remblayés et fermés.

Par conséquent, il y a un **enjeu actuel et futur sur l'air extérieur**, mais il n'y a **pas d'enjeu à long terme sur l'air intérieur de bâtiments** (ce qui aurait été le cas si un bâtiment pouvait se construire sur les puits fermés⁵⁶).

3.3.1.4. Choix des critères de comparaison pour évaluer l'impact du stockage sur l'air extérieur

Les concentrations qui vont être calculées dans l'air extérieur vont être comparées à deux types de valeurs :

- les concentrations d'un environnement local témoin,
- les valeurs de gestion réglementaires, qui correspondent au niveau de risque accepté de nos jours par les pouvoirs publics pour l'ensemble de la population française.

Concernant les concentrations de l'environnement local témoin :

Celles-ci doivent correspondre au **milieu naturel avant installation du projet et/ou hors zone d'influence d'une contamination issue du projet**.

Dans le cas présent, les données utilisées seront celles mesurées lors de la campagne de l'état initial de 1998, mises en perspective avec celles du suivi réglementaire en rejet du puits Else et des concentrations communément observées dans la littérature pour des situations similaires (réseau de surveillance de la qualité de l'air local, ASPA).

Concernant les valeurs de gestion réglementaires :

Les valeurs réglementaires dans l'air ambiant extérieur sont issues de décrets codifiés dans le Code de l'Environnement (notamment dans l'article R 221-1 du Code l'Environnement modifié par le Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 – art. 1) qui fixent pour chaque substance les objectifs de qualité de l'air, les seuils d'alerte, les seuils de recommandation et d'information et les valeurs limites pour la surveillance de la qualité de l'air et les valeurs cibles⁵⁷.

Le tableau 36 reprend l'ensemble des valeurs disponibles, qui ne concernent que le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone, l'ozone, les particules (PM 10 et PM 2,5), le plomb, l'arsenic, le cadmium, le nickel, le benzo(a)pyrène, le benzène.

⁵⁶ : Le cas des travailleurs avant la mise en place des barrières n'est pas traité (les prescriptions hygiène et sécurité seront précisées pour chaque type de chantier par un organisme spécialisé).

⁵⁷ : Les définitions sont présentées en Annexe 1.

N.B. : Seule la qualité de l'air extérieur est identifiée comme un enjeu, toutefois à titre sécuritaire et informatif, les données disponibles sur l'air intérieur ont été également utilisées (Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI)⁵⁸ pour l'environnement non influencé, valeurs guides ou valeurs repères issues de divers organismes).

⁵⁸ : Le rapport indique également des concentrations dans l'air intérieur des habitations à titre informatif.

Substance	Type de valeur	Valeur en µg/m³	Remarques/ précisions	
Dioxyde d’azote (NO ₂)	Objectif de qualité	40	en moyenne annuelle	
	Valeur limite horaire pour la protection de la santé humaine	200 (1 ^{er} janvier 2010)	en moyenne horaire à ne pas dépasser plus 18 h/an.	
		40 (1 ^{er} janvier 2010)	en moyenne annuelle	
	VL pour la protection de la végétation	30	en moyenne annuelle d’oxydes d’azote (NO _x)	
	Seuil de recommandation et d’information	200	en moyenne horaire	
Dioxyde de soufre (SO ₂)	Seuils d’alerte	400 ⁽²⁾	en moyenne horaire sur 3 h consécutives	
	Objectif de qualité	50	en moyenne annuelle	
	Valeurs limites pour la Protection de la Santé Humaine	350	en moy. horaire à ne pas dépasser plus de 24 h/an	Centile 99,7
		125	en moy. journalière à ne pas dépasser plus de 3 j/an	Centile 99,2
	Niveau critique pour la protection de la végétation	20	en moyenne annuelle et en moyenne sur la période du 1 ^{er} octobre au 31 mars	
	Seuil de recommandation et d’information	300	en moyenne horaire	
Monoxyde de carbone	Seuils d’alerte	500	en moyenne horaire sur 3 heures consécutives	
	VL pour la protection de la santé humaine	10 000	pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures	
Ozone (O ₃)	Objectif de qualité pour la protection de la santé humaine	120	maximum journalier sur 8 heures, calculé sur une année civile ⁽⁵⁾	
	Objectif de qualité pour la protection de la végétation	6000	par heure en AOT40 ⁽⁶⁾ calculé à partir des valeurs enregistrées sur une heure de mai à juillet	
	Valeurs limites pour la Protection de la Santé Humaine	120	pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures ⁽⁷⁾ à ne pas dépasser plus de 25 jours par année civile en moyenne calculée sur 3 ans ⁽⁸⁾ ou à défaut d’une série complète et continue de données annuelles sur cette période, calculée sur des données valides relevées pendant un an.	
	Valeur limite pour la protection de la végétation	18000	par heure en AOT40, calculées à partir des valeurs sur 1 heure de mai à juillet en moyenne calculée sur 5 ans ⁽⁸⁾ ou à défaut d’une série complète et continue de données annuelles sur cette période, calculée sur des données valides relevées pendant trois ans.	
	Seuil de recommandation et d’information	180	en moyenne horaire.	
	Seuil d’alerte pour une protection sanitaire pour toute la	240	en moyenne horaire	
	Seuils d’alerte pour la mise en œuvre progressive des mesures d’urgence	1 ^{er} seuil	en moyenne horaire dépassé pendant trois heures consécutives.	
		2 ^e seuil	en moyenne horaire dépassé pendant trois heures consécutives.	
		3 ^e seuil	en moyenne horaire.	
Particules (PM10)	Objectif de qualité	30	en moyenne annuelle	
	Valeurs limites pour la Protection de la Santé Humaine	50 ⁽³⁾	en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 j/an	
		40	en moyenne annuelle	
	Seuil d’information et de recommandation	50	en moyenne journalière	Selon des modalités de déclenchement définies par arrêté du ministère chargé de l’environnement
Particules (PM2,5)	Objectif de réduction de l’exposition en pourcentage	(IEM ⁽¹⁰⁾ 2011 ≤ 8,5) 0%	En 2010 par rapport à l’indicateur d’exposition moyenne de 2011	
		(IEM 2011 > 8,5 - < 13)		
		(IEM 2011 = 13- < 18)		
		(IEM 2011 =18 - < 22)		
		(IEM 2011 ≥ 22) Toutes		
	Obligation en matière de concentration relative à l’exposition	20	à atteindre en 2015	
	Objectif de qualité	10	en moyenne annuelle	
	Valeur cible	20	en moyenne annuelle	
	Valeur limite	25	en moyenne annuelle, augmentés des marges de dépassement ci-dessous pour les années antérieures au 1 ^{er} janvier 2015	
	Marge de dépassement	4	2010	
		3	2011	
		2	2012	
		1	2013	
		1	2014	
Plomb (Pb)	Objectif de qualité	0,25	en moyenne annuelle	
	Valeur limite	0,5	en moyenne annuelle	
Benzène	Objectif de qualité	2	en moyenne annuelle	
	Valeur limite pour la protection de la santé humaine	5	en moyenne annuelle	
Métaux lourds et HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques)	Arsenic	0,006	Valeurs cibles à compter du 31 décembre 2012 Moyenne, calculée sur une année civile, du contenu total de la fraction PM10. Le volume d’échantillonnage se réfère aux conditions ambiantes. Les concentrations en arsenic, cadmium, nickel et benzo(a)pyrène correspondent à la teneur totale de ces éléments et composés dans la fraction "PM10". Cette fraction est constituée de particules qui passent dans un orifice d’entrée calibré tel que défini dans la norme NF EN 12341 avec un rendement de séparation de 50 % pour un diamètre aérodynamique de 10 microns m.	
	Cadmium	0,005		
	Nickel	0,020		
	Benzo(a)pyrène	0,001		

Tableau 36 : Valeurs réglementaires dans l’air ambiant extérieur (cf. annexe 1 de l’étude [71]).

Notes liées au tableau 36 :

Les valeurs de gestion sont régulièrement mises à jour par les instances en charge de leur élaboration. L'étude conduite tient compte des données disponibles actuellement (2012).

- **Les seuils d'alerte** : c'est un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement justifiant l'intervention de mesures d'urgence (R.221-1, C.env.) ;
- **Les valeurs limites** : c'est le niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère fixé sur la base des connaissances scientifiques à ne pas dépasser dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble (R.221-1, C.env.) ;
- **Les valeurs cibles** : un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble, à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné (R.221-1, C.env.) ;
- **Les objectifs de qualité** : il s'agit d'un un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère à atteindre à long terme, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble (R.221-1, C.env.) ;
- **Les seuils de recommandation et d'information** un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine des groupes particulièrement sensibles de la population rendant nécessaires des informations immédiates et adéquates (R.221-1, C.env.).

(1) Cette valeur limite est applicable jusqu'au 31/12/2009.

(2) La valeur est abaissée à 200 µg/m³ en moyenne horaire si la procédure d'information et de recommandation pour le dioxyde d'azote a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain.

(3) Ces valeurs ne s'appliquent qu'à la part des concentrations non liée à des événements naturels. On définit par " événements naturels " les événements suivants : éruptions volcaniques, activités sismiques, activités géothermiques, feux de terres non cultivées, vents violents ou remise en suspension atmosphérique ou transport de particules naturelles provenant de régions désertiques.

(4) Le ministre chargé de l'environnement fixe par arrêté la liste des sites pour lesquels la valeur limite de 0,5 µg/m³ en moyenne annuelle s'applique à compter du 01/01/2010.

(5) Le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures est sélectionné après examen des moyennes glissantes sur 8 heures, calculées à partir des données horaires et actualisées toutes les heures. Chaque moyenne sur 8 heures ainsi calculée est attribuée au jour où elle s'achève : la première période considérée pour le calcul sur un jour donné sera la période comprise entre 17 heures la veille et 1 heure le jour même et la dernière période considérée pour un jour donné sera la période comprise entre 16 heures et minuit le même jour.

(6) L'"AOT40", exprimé en micro g/m³ par heure, est égal à la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 micro g/m³ (soit 40 ppb) et 80 micro /m³ en utilisant uniquement les valeurs sur une heure mesurées quotidiennement entre 8 heures et 20 heures, durant une période donnée.

(7) Le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures est sélectionné après examen des moyennes glissantes sur 8 heures, calculées à partir des données horaires et actualisées toutes les heures. Chaque moyenne sur 8 heures ainsi calculée est attribuée au jour où elle s'achève, autrement dit, la première période considérée pour le calcul sur un jour donné sera la période comprise entre 17 heures la veille et 1 heure le jour même ; la dernière période considérée pour un jour donné sera la période comprise entre 16 heures et minuit le même jour.

(8) Si les moyennes sur 3 ou 5 ans ne peuvent pas être déterminées sur la base d'une série complète et continue de données annuelles, les données annuelles minimales requises pour juger de la conformité avec les valeurs cibles seront les suivantes :

- pour la protection de la santé humaine : des données valides relevées pendant 1 an ;
- pour la protection de la végétation : des données valides relevées pendant 3 ans.

La conformité avec les valeurs cibles sera évaluée à partir de cette date : 2010 sera la première année dont les données seront utilisées pour calculer la conformité sur les 3 ou 5 années suivantes, selon le cas.

3.3.2. Modélisation du transfert de polluants gazeux

Il s'agit ici de présenter les modèles retenus pour prévoir les concentrations en surface dans l'air extérieur, en fonction des concentrations attendues au sein du milieu air « souterrain ».

Rappelons que :

- le transfert de polluants gazeux, du fond vers la surface, se fera par l'intermédiaire des puits de mine proches de StocaMine,
- en surface, les secteurs à enjeux correspondent aux zones de promenade à proximité du puits Else et les périmètres en limite des zones de servitudes des anciens puits.

3.3.2.1. Evolution du système et hypothèses associées

Les modes de libération des gaz et les voies de transfert de ces émissions gazeuses vont évoluer avec le temps, du fait de l'arrêt programmé de l'aérage (=ventilation de la mine) et du contact potentiel déchets-saumure. Par conséquent, le calcul d'impact doit être réalisé à chaque étape. Ainsi 3 calculs d'impact ont été réalisés.

Dans l'étude INERIS, ces trois calculs sont appelés « scénarios », dans le présent document nous avons parlé jusqu'à présent de « scénarios » lorsque deux hypothèses pouvaient être formulées pour un même phénomène. Pour faciliter la compréhension nous retiendrons ici le terme d'étapes.

- **Etape 1 (Avant fermeture des puits = avec aérage)**

Les déchets stockés sont « solides » et « globalement » chimiquement inertes en l'absence d'eau. En considérant l'absence de corrosion significative des fûts, le dégazage correspond uniquement à l'établissement d'un équilibre thermodynamique entre les polluants contenus dans les déchets et l'air à l'intérieur du stockage.

Le principal vecteur de propagation d'une éventuelle contamination à partir du stockage souterrain est la ventilation du puits Else.

L'INERIS ne disposant pas du détail des travaux qui seront réalisés avant la mise en place des barrières ou pour la mise en place des barrières, les hypothèses retenues pour le calcul correspondent :

- au débit d'aérage actuel : 45 m³/s dans StocaMine (du même ordre de grandeurs que les mesures réalisées en 2010 lors de la campagne de l'INERIS) et 65 m³/s dans la mine, soit au total 110 m³/s en sortie du puits Else,
- aux teneurs récemment mesurées dans StocaMine, en retenant par sécurité les **concentrations maximales** mesurées le 24 février 2010 (cf. tableau 34 page 112).

- **Etape 2 (StocaMine confiné sans contact avec de la saumure)**

La deuxième étape concerne une période de temps qui débute après la mise en place des barrières, avec au maximum un ennoyage partiel de la zone de stockage des déchets.

Dans ce cas, aucune donnée du terme source en phase gazeuse n'a été modélisée par l'INERIS. Dans le cadre d'une approche conservatoire (qui aura tendance à majorer les concentrations), une dégradation significative des fûts a été prise en compte. **Les concentrations maximales mesurées lors des tests de dégazage (cf. tableau 31 page 111) ont été retenues comme représentatives de l'air au sein du stockage fermé.**

- **Etape 3 (StocaMine confiné saumure ayant envahi le stockage)**

Le troisième calcul concerne une période de temps après la mise en place des barrières et l'ennoyage total de la zone des déchets. Il y aura contact des déchets avec la saumure, cette phase correspond donc à la modélisation présentée dans l'étude « terme-source » (cf. paragraphe 3.1) :

- Les sels de trempe cyanurés sont susceptibles de former avec l'eau de l'acide cyanhydrique, gaz miscible avec l'eau. Un équilibre s'établissant entre l'eau et l'air à l'intérieur du stockage, une augmentation significative des concentrations d'acide cyanhydrique dans l'air du stockage est à envisager. Au vu de la modélisation on constate qu'un phénomène de complexation des cyanures par le mercure interviendra à ce moment dans le stockage, ce qui limitera la quantité d'acide cyanhydrique produit.
- Du mercure élémentaire peut également être libéré.
- La formation de phénol volatil ou d'arsine a été écartée compte tenu des caractéristiques chimiques de ces éléments et des conditions dans le stockage (température, pH, potentiel rédox, ...).

Les concentrations issues du modèle géochimiques contact déchets-saumure (tableau 35 page 113) sont donc attribuées à l'air pouvant passer dans la saumure.

L'ensemble des concentrations utilisées pour chaque étape de l'évolution du système minier est repris dans le tableau 37.

Concentrations des substances gazeuses étudiées au sein du terme source (= dans STOCAMINE)						
	Court terme (étape 1)		Moyen terme (étape 2)		Long terme (étape 3)	
	<u>Origine des valeurs retenues</u> : Valeur maximale mesurée dans l'air de StocaMine (campagne Février 2010, cf. état initial Air)		<u>Origine des valeurs retenues</u> : Valeur maximale mesurée au sein des emballages de déchets		<u>Origine des valeurs retenues</u> : Calcul des équilibres géochimiques en présence de saumure	
Substance	Valeur retenue * (mg/m ³)	Remarque	Valeur retenue (mg/m ³)	Remarque	Valeur retenue (mg/m ³)	Remarque
acétaldéhyde	8,0E-03	Points M1 et M2				
acide cyanhydrique	4,0E-01	Point M1 (M2 : 2,0E-01)	7,0E+00	(N.B. : 12 valeurs sur 15 < LQ** = 2 mg/m ³)	2,8E-06	
arsine			6,0E-02	(N.B. : 45 valeurs sur 46 < LQ = 0,03 mg/m ³)	0	Absence des conditions nécessaires à la formation d'arsine
<i>benzène</i>	<i>2E-02</i>	<i>Point M2 (M1 : 0,5E-02)</i>				
<i>éthylbenzène</i>	<i>5E-02</i>	<i>Point M2 (M1 : 3E-02)</i>				
formaldéhyde	4,0E-03	Point M1 (M2 : 3,0E-03)				
mercure élémentaire	8,0E-04 (mercure volatil)	Points M1 et M2	4,0E-02	(N.B. : 19 valeurs sur 23 < LQ = 0,1 µg/m ³)	7,4E-27	
<i>naphtalène</i>	<i>3E-03</i>	<i>Point M1 (M2 : 1,0E-03)</i>				
phénol	5,0E-04	Points M1 et M2			0	Absence des conditions nécessaires à la formation de phénol
<i>trichloroéthylène</i>	<i>7E-03</i>	<i>Point M2 (M1 : 3E-03)</i>				
<i>tétrachloroéthylène</i>	<i>3E-03</i>	<i>Point M2 (M1 : 2E-03)</i>				
<i>toluène</i>	<i>1E-01</i>	<i>Point M2 (M1 : 1E-01)</i>				
<i>xylènes</i>	<i>8E-02</i>	<i>Point M2 (M1 : 5E-02)</i>				

* en italique, les concentrations issues de l'analyse qualitative dont les résultats sont des ordres de grandeur, valeur arrondie

** LQ = Limite de quantification

Tableau 37 : Les 3 étapes (ou scénarios) étudiées pour les émissions gazeuses : concentrations dans StocaMine, étude [71].

3.3.2.2. Modèles utilisés pour le calcul des concentrations en contaminants en surface

Le transfert de substances gazeuses du stockage vers l'air atmosphérique au droit d'un ouvrage a été estimé par **le biais d'un raisonnement très conservatoire, c'est-à-dire en négligeant certains facteurs qui pourraient diminuer les concentrations calculées.**

Les hypothèses de calcul sont ainsi posées :

- Concernant le transfert depuis StocaMine jusqu'aux puits de mine :
 - dans l'étape 1, il n'a été pris en compte aucun facteur de dilution bien que l'aérage comprenne également de l'air issu de la mine (sans polluants potentiels),
 - pour les étapes 2 et 3, l'effet des barrières a été négligé : il a été considéré que la concentration dans l'air au pied des puits était identique à celle à l'intérieur de la zone « confinée » du stockage, le calcul a de plus été effectué « à flux constant » (alors que ce dernier aura tendance à diminuer avec le temps).
- Concernant la dispersion des gaz en surface, autour des puits :
 - pour l'étape 1, la dispersion atmosphérique a été calculée par une approche avec un modèle numérique de type gaussien⁵⁹ en tenant compte du débit expulsé par ventilation (110 m³/s au puits Else) et d'un enjeu un peu éloigné du puits (les populations séjournant dans des zones situées à plus de 100 m du puits Else),
 - pour les étapes 2 et 3 : la dispersion atmosphérique a été calculée par une approche communément appelée modèle « boîte ». Le débit d'air passant dans la saumure n'est pas connu, mais celui-ci sera lié au débit de saumure. Par sécurité, le débit de saumure maximum mobilisable (c'est-à-dire celui de la mine entière, 105 000 m³/an « en pointe ») a été considéré alors que la valeur réelle sera sans doute plus proche de celui du stockage souterrain seul (0,7 m³/an). De plus, ce débit a été attribué à chacun des puits alors qu'il se répartira sur 15 ouvrages. Pour ces scénarios, le modèle s'adapte à un calcul à proximité immédiate des puits puisque les populations pourront, au moment où ces scénarios interviendront, séjourner à proximiter immédiate des puits (servitudes entre 10 et 20 m autour du puits).

Paramètres	Etape 1 (court terme, puits ouverts, aérage)
Type de « source »	Source ponctuelle, de type cheminée, canalisée, au regard de l'émission gazeuse sortant du puits Else
Diamètre de la « source »	7 m. L'émission sortant au droit du puits Else, il a été pris en compte le diamètre du puits Else (4,5 m), tenant compte également de la section de l'ouvrage en hauteur (4 m et 5 m)
Hauteur de la « source »	23,4 m, correspondant à la hauteur du puits Else
Température des polluants à l'éjection	10°C, la température estimée en sortie du puits Else
Débit d'air	110 m ³ /s. Cette valeur est nécessaire pour le calcul de la vitesse d'éjection en sortie de « cheminée » et celui du débit massique lié à chacune des substances étudiées (tenant compte des concentrations du scénario 1 Tableau 37)
Rugosité	0,1 m, cette valeur est fonction de l'environnement du site, de l'occupation du sol, et correspond au cas « prairie » ⁶⁰
Classe « de situation » (prise en compte des paramètres météorologiques)	Un panel de situations a été étudié en l'absence de données météorologiques locales précises. La situation la plus contraignante en terme de concentration au regard de la distance retenue (300 m) a été retenue par sécurité (avec une seule direction de vent, les populations étant placées sous le vent considéré)
Hauteur de respiration de la population considérée	Par sécurité : 1 m (soit la hauteur d'un enfant)
Distance de la « source » aux populations concernées	300 m, correspondant à la distance entre le chevalement du puits Else et l'emplacement des zones fréquentées par la population (zones de promenades à l'est du puits Else, comme le marais de Rothmoos, zones en périphérie de la cité Joseph-Else située à l'ouest du site de StocaMine)

Tableau 38 : Paramètres pour l'étape avec aérage

Les paramètres pris en compte dans le modèle de dispersion ADMS appliqué à la première étape, avec aérage, sont détaillés dans le **tableau 38**. La justification de chaque paramètre n'est pas reprise ici mais est fournie dans l'étude [71], à partir de la page 35.

⁵⁹ : Logiciel utilisé : ADMS (Atmospheric dispersion Modelling System), pour plus de détails techniques, voir étude [71]. La limite de validité de ce modèle est comprise entre 100 m et 10 km il est donc adapté au scénario étudié avec un enjeu situé à plus de 100 m du puits Else (zones de promenade).

⁶⁰ : Ce paramètre permet de représenter l'effet de la nature du sol (site urbain, rural, présence de forêt), et influence directement les effets de turbulence mécanique et le profil de vent. L'occupation des sols aux environs de StocaMine (puits Else) est de type « prairie » à l'est et de type « banlieue dégagée avec parc à l'Ouest ». Dans le cadre de l'étude, suite à la réalisation de tests au regard de ces deux configurations, le cas « prairie » a été retenu, le plus contraignant en termes de concentrations dans l'air extérieur (et donc en termes de concentrations d'expositions et de risques sanitaires associés).

Le modèle appliqué aux étapes 2 et 3 est simplifié : le calcul se fait en considérant un volume parallélépipédique (d'où la notion de « boîte »), au-dessus d'une source de pollution passant à travers une surface donnée. Dans le cas présent la surface donnée correspond au sol autour des puits, avec un flux uniforme de polluant.

Les dimensions de ce volume sont à fixer pour chaque cas étudié :

- la hauteur de la « boîte » correspond à la hauteur de mélange, qui en pratique est retenue égale à la hauteur de respiration de la population considérée comme exposée,
- longueur et largeur sont fonction du périmètre au niveau duquel on veut calculer la concentrations dans l'air (= les limites de la boîte correspondent au secteur où la population pourrait être exposée).

Un flux d'air « pollué » est introduit par la base de la boîte, ce flux est mélangé au flux d'air non pollué porté par le vent. La concentration dans le volume considéré s'exprime donc par une relation simple liant le débit d'émission, la vitesse de vent (supposée uniforme) et des paramètres de longueur.

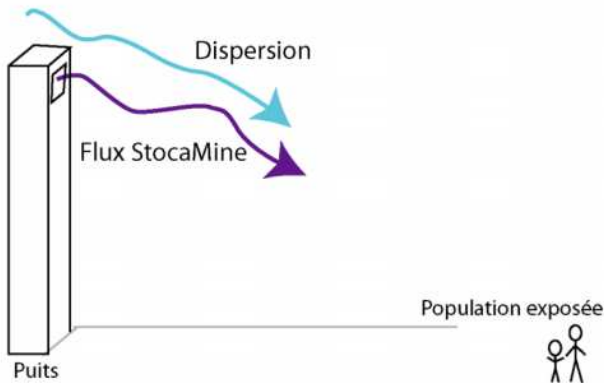
Ce modèle considère des conditions stationnaires, une conservation de la masse à l'intérieur du volume et la concentration est supposée homogène à l'intérieur du volume. Le résultat conduit à une information plutôt de nature qualitative, mais très conservatoire.

Les paramètres retenus sont présentés dans le tableau 39.

Paramètres	Etapes 2 et 3 (moyen et long terme)
Longueur et largeur	13 m : le périmètre lié aux servitudes autour des puits est fixé à un diamètre de 17 m, ce qui correspond à une section carrée de 13 m par 13 m
Hauteur	1 m, classiquement prise égale à la hauteur de respiration, et dans le cas présent, dans une approche conservatoire, celle de l'enfant (quelle que soit la personne fréquentant le lieu en limite de la zone de servitude mise en place au droit des anciens puits, un enfant ou un adulte)
Vitesse de vent	1 m/sec correspondant à choix de valeur conservatoire (la station Météo France la plus proche située à Hirtzbach sur la commune de Mulhouse montre des vents prédominants dans les directions nord-est et sud-ouest avec une vitesse moyenne comprise entre 7 et 14 km/h mais à 15 m de haut, hauteur non pertinente dans le cas présent)

Tableau 39 : Paramètres du modèle de type « boîte » pour les scénarios 2 et 3

Etape 1, ventilation :
modèle numérique (ADMS)



Etapes 2 et 3, puits de mine fermés :
modèle boîte, flux potentiellement issu du stockage passant par le sol

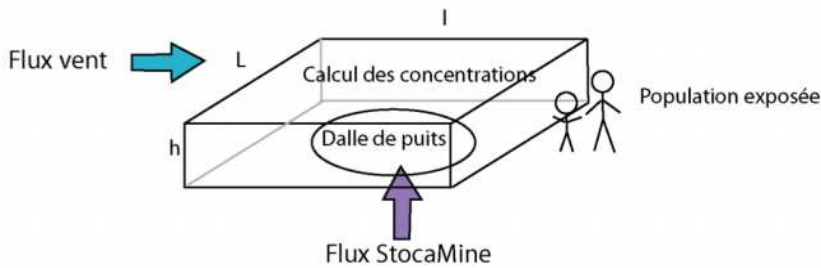


Figure 59 : Représentation schématique des modèles appliqués

3.3.2.3. Résultats : concentrations en surface, dans l'air

- Le tableau 40 présente les concentrations maximales calculées dans l'air extérieur :
- au droit des zones de promenade à proximité des installations de surface de StocaMine (puits Else) (avec aérage, court terme)
 - en limite des zones de servitudes des anciens puits (pour le moyen et long terme).

Ces concentrations sont calculées « à hauteur d'enfant ».

Concentrations modélisées dans l'air atmosphérique (mg/m³) (en italique : valeur arrondie calculée à partir d'analyses qualitatives dont les résultats sont des ordres de grandeur)			
Scénario	Etape 1 (avant la mise en place des barrières)	Etape 2 (après la mise en place des barrières, sans ennoyage total des déchets)	Etape 3 (après la mise en place des barrières, avec ennoyage total des déchets)
Secteur étudié (zone à enjeux)	Au droit des zones de promenades à proximité du site de StocaMine (puits Else)	En limite des zones de servitudes des anciens puits	En limite des zones de servitudes des anciens puits
Substance			
acétaldéhyde	3,2E-05		
acide cyanhydrique	1,6E-03	1,8E-03	7,1E-10
arsine		1,5E-05	
benzène	7,3E-05		
éthylbenzène	2,0E-04		
formaldéhyde	1,6E-05		
mercure élémentaire	3,2E-06	1,0E-05	4,5E-30
naphtalène	1,3E-05		
phénol	2,0E-06	1,3E-07	
trichloroéthylène	2,7E-05		
tétrachloroéthylène	1,3E-05		
toluène	5,3E-04		
xylènes	3,3E-04		

Tableau 40 : Concentrations (mg/m³) modélisées dans l'air extérieur au droit des zones de promenade à proximité du site de StocaMine (puits Else) et en limite des zones de servitudes des anciens puits [56]

3.3.3. Evaluation de l'impact sur le milieu air extérieur

3.3.3.1. Valeurs calculées et critères de comparaison

Les paragraphes précédents ont présenté :

- les données utilisées pour modéliser les concentrations dans l'air extérieur :
 - les concentrations en gaz au niveau du stockage souterrain (déchets dans l'air, puis au contact partiel de saumure et enfin dans la saumure)
 - les critères existants pour les substances pouvant être libérées par les déchets,
 - les scénarios de transfert retenus, correspondant à l'évolution du système au fil du temps (aérage, arrêt de l'aérage une fois les puits fermés),
 - les secteurs à enjeux au niveau desquels les concentrations en surface doivent être calculées,
 - les modèles de calcul pouvant être appliqués.
- les résultats quantitatifs des modélisations : concentrations calculées en surface.

L'évaluation de l'impact consiste ainsi à confronter les concentrations calculées aux critères de comparaison, ce qui est fait dans les tableau 41a et b. L'INERIS y a représenté toutes les données disponibles. Pour simplifier, des tableaux reprenant seulement les paramètres pour lesquels un calcul d'impact a été effectué sont présentés dans le commentaire suivant.

Tableau 41 a		Air extérieur												Air intérieur			
		Concentrations modélisées dans l'air atmosphérique (µg/m³)			Critères de comparaison												
					État initial					Autres données issues de la littérature			Valeurs réglementaires	<u>A titre informatif</u>			
Site StocaMine, état initial mars 24 au 28 mars 1998					ASPA (1) (µg/m³)	OQAI (2) Médiane (µg/m³)	OQAI (2) 95 ^{ème} percentile (µg/m³)	Norme française de qualité de l'air (3) (µg/m³)	OQAI (4) Médiane (µg/m³)	OQAI (4) 95 ^{ème} percentile (µg/m³)	Décret 2011-1727 du 2 décembre 2011	(5)					
Substances / familles	unités	Etape 1	Etape 2	Etape 3	point est	point sud	point ouest	point nord	puits Else (6)								
Composés Organiques Volatils COV	µg/m³				43.5	101.5	48.7	91.4	6989.7								
Hydrocarbures totaux (HCT) moyens	ppm éq. CH ₄				5.48	5.22	5.68	4.05	162								
Nbre mesure HCT					1045	1787	2188	1258	360								
	µg/m³				4100	3905	4234	3030									
Hydrocarbures aromatiques	µg/m³				18.6	39.6	24.4	52.7	4073.6								
Benzène	µg/m³	7,3E-02 (C)			4.5	5.7	3.9	4.2	13.5	1.3 (3.9)	<LQ (=1.1)	2.9 (2.5-3.4)	5 (VL en moyenne annuelle)	2.1 (1.9-2.2)	7.2 (6.3-9.4)	5 (A) 2 (B)	(E)
Toluène	µg/m³	5,3E-01 (C)			9.4	21.3	11.1	45.3	3253.1	2.8 (7.9)	3.5 (3.3- 3.8)	12.9 (10.8- 14.8)		12.2 (11.4-13.7)	82.9 (57.7-115.0)		
o-Xylène	µg/m³	3,3E-01 (D)			0.7	1.9	1.9	0.8	114.1	2.2 (4.8) (xylènes totaux)	1.1 (1.0- 1.2)	2.7 (2.4-3.2)		2.3 (2.1-2.5)	14.6 (10.5-19.5)		
p+m Xylènes	µg/m³	3,3E-01 (D)			1.1	2.6	2.6	1.1	112.9	2.2 (4.8) (xylènes totaux)	2.4 (2.3- 2.7)	7.1 (6.1-8.3)		5.6 (5.1-6)	39.7 (27.1-56.4)		
Ethylbenzène	µg/m³	2,0E-01 (C)			0.9	1.9	1.9	0.7	356.9	0.6 (1.3)	1.0 (1.0- 1.1)	2.6 (2.3-3.0)		2.3 (2.1-2.5)	15.0 (9.2-18.2)		
Hydrocarbures aliphatiques	µg/m³				6.8	14.7	7.7	7.8	1476.3								
méthane	ppm																
Hydrocarbures cycliques	µg/m³				1.8	4.7	1.1	1.1	1435.4								
Hydrocarbures C6- C12	mg/m³																
Composés polyaromatiques	µg/m³				0.3	0.9	0.5	0.3	3.4								
HAP																	
Benzo(a)pyrène	µg/m³									0.00026 (0.0022)			0.001 (F)				
Naphtalène	µg/m³	1,3E-02 (C)			0.1	0.6	0.3	0.2	3.01								
Composés halogénés	µg/m³				1.6	24.1	2.7	22.6	0.9								(Ga) : 10, (Gb) : 10
Trichloroéthylène	µg/m³	2,7E-02 (C)			0.29	4.2	1.6	3.5	0.12		<LQ (=1.0)	2.3 (1.8-2.8)		1.0 (<LQ-1.1)	7.3 (5.1-16.1)		20 (H)
Tétrachloroéthylène	µg/m³	1,3E-02 (C)			0.5	0.14	0.2	0.3	/		<LQ (=1.2)	3.9 (2.7-4.3)		1.4 (1.2-1.6)	7.3 (6.0-11.5)		HCSP : 250, (I) 250
Chloroforme (trichlorométhane)	µg/m³				0.09	6.9	n.d.	1.5	/								
tétrachlorométhane	µg/m³				0.15	0.5	0.4	0.2									
1,2 dichloroéthane	µg/m³				0.05	10.1	0.07	14.4									
1-3 dichlorobenzène	µg/m³				0.00 5	0.03	0.006	0.00 5	0.78								
1.4 dichlorobenzène	µg/m3										1.8 (1.6- 1.9)	4.3 (3.5-5.5)		4.2 (3.7-4.8)	150 (96.5-341.0)		
Cétones	µg/m³				4.9	7.8	5.4	2.6	0.0								
Acétone	µg/m³				4.7	5.5	3.0	2.1	0.0								

Tableau 41 b		Air extérieur												Air intérieur			
		Concentrations modélisées dans l'air atmosphérique (µg/m³)			Critères de comparaison												
					État initial					Autres données issues de la littérature			Valeurs réglementaires	<i>A titre informatif</i>			
										ASPA (1) (µg/m³)	OQAI (2) Médiane (µg/m³)	OQAI (2) 95 ^{ème} percentile (µg/m³)	Norme française de qualité de l'air (3) (µg/m³)	OQAI (4) Médiane (µg/m³)	OQAI (4) 95 ^{ème} percentile (µg/m³)	Décret 2011-1727 du 2 décembre 2011	(5)
Substances / familles	unités	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	point est	point sud	point ouest	point nord	puits Else (6)								
Aldéhydes	µg/m³				4.3	0.6	0.9	0.3	0.0								
Benzaldéhyde	µg/m³				2.5	0.04	0.3	0.2									
Furfural	µg/m³				0.3	0.4	0.3	0.2									
Formaldéhyde	µg/m³	1,6E-02									1.9 (1.8-2.0)	3.6 (3.4-4.2)		19.6 (18.4-21.0)0	46.6 (40.8-55.1)	30 (J) 10 (K)	10 (La) 30 (Lb) 10 (Lc)
acétaldéhyde	µg/m³	3,2E-02									1.3 (1.2-1.3)	3.0 (2.6-3.1)		11.6 (10.8-12.3)	30.0 (26.7-35.1)		
Autres	µg/m³																
Phénol	µg/m³	2,0E-03	1,3E-04		0.03	0.05	0.03										
Esters	µg/m³				2.7	3.3	4.1	0.6	0.0								
Acides organiques	µg/m³				0.8	2.8	0.0	0.6	0.0								
Composés azotés	µg/m³				0.4	0.8	0.3	0.6	0.0								
phtalates	µg/m3				0.4	1.1	0.3	1.6	0.0								
Composés furaniques	µg/m³				0.2	2.9	0.1	0.1	0.0								
Autres composés	µg/m³																
Ammoniac - NH ₃	µg/m³				10.3	<5.2	5.9	8.2	51.6								
Dioxyde d'azote NO2	µg/m³				190	<35.7	201	<35.71	49.5				40 (M)				
Monoxyde de carbone (CO)													10000 (N)				
Cyanure d'hydrogène – CN- (acide cyanhydrique – HCN)	µg/m³	1,6	1,8	7,1E-07	<0.98	<0.7	<0.87	<0.84	<0.84								
Composés soufrés	µg/m³				0.1	0.02	0.05	0.03	0.0								
Arsine	µg/m³	/	1,5E-02	/													
Poussières	µg/m³				<139	<123	<112	<112	7512								
Poussière inhalables (PM 10)	mg/m³												40 (M)	31.3 (28.2-34.4)	182.0 (119.0-214.0)		
Poussières alvéolaires (PM 2.5)	mg/m³												25 (Oa) 20 (Ob)	19.1 (17.2-20.7)	132.0 (88.3-174.0)		
Amiante	Fibre/l				<1.3	<0.6	<0.6	<0.3	(*)								
Métaux																	
Mercuré particulaire	µg/m³				<0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02								
Arsenic particulaire	µg/m³				<0.06	<0.05	<0.04	<0.04	<0.05				0,006 (F)				
Plomb particulaire	µg/m³				0.17	0.59	<0.4	0.12	0.05				0,5 (M)				
Zinc particulaire	µg/m³				0.44	1.33	0.22	<0.04	9.67								
Cuivre particulaire	µg/m³				0.67	0.25	0.13	<0.08	0.54								
Cadmium particulaire	µg/m³				<0.06	<0.05	<0.04	<0.04	<0.05				0,005 (F)				
Chrome particulaire	µg/m³				<0.28	<0.25	<0.22	<0.2	0.91								
Nickel particulaire	µg/m³				<0.22	<0.2	<0.18	<0.16	<0.18				0,020 (F)				
Mercuré volatil/élémentaire	µg/m³	3,2E-03	1,0E-02	4,5E-27													

Tableau 41 a et b : Concentrations dans l'air extérieur associées aux trois scénarios étudiés et critères de comparaison

Notes accompagnant les tableaux :

- (1) : station de Mulhouse nord moyenne annuelle (et max) en 2011
- (2) : [Kirchner et al. 2006] : air extérieur
- (3) : valeurs limites pour la protection de la santé humaine (VL) ou valeurs cibles si seules disponibles R221-1 C.env modifié par le Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 – art. 1
- (4) : [Kirchner et al., 2006] : air intérieur
- (5) : Valeurs sans statut réglementaire : Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos ouverts au public du HCSP Valeurs guides air intérieur-- VGAI long terme de l'AFSSET, devenue ANSES
- (6) : En sortie d'aération du puits Else
- (A) : pour une exposition de longue durée à compter du 1^{er} janvier 2013
- (B) : pour une exposition de longue durée à compter du 1er janvier 2016
- (C) : sur la base analyses qualitatives
- (D) : xylènes totaux (sur la base d'analyses qualitatives)
- (E) : Valeurs non mentionnées étant reprises dans le décret 2011-1727 du 2 décembre 2011
- (F) : Valeur cible ; Moyenne, calculée sur une année civile, du contenu total de la fraction PM10.
- (Ga) : HCSP :Valeur repère qualité
- (Gb) : AFSSET : VGAI long terme : Pour les effets non cancérogènes, pour une durée d'exposition supérieure à un an.
- (H) : AFSSET : VGAI long terme : Pour les effets cancérogènes, pour une durée d'exposition « vie entière » correspondant à un excès de risque de 10-5
- (I) : AFSSET :VGAI long terme : pour les effets non cancérogènes, pour une exposition supérieure à 1 an
- (J) : pour une exposition de longue durée à compter du 1er janvier 2015
- (K) : pour une exposition de longue durée à compter du 1er janvier 2023
- (La) : Valeurs mentionnées à titre indicatif étant reprises dans le décret 2011-1727 du 2 décembre 2011 :HCSP :comme valeur cible à atteindre en 2019.
- (Lb) : comme valeur repère de la qualité de l'air en dessous de laquelle aucune action corrective n'est préconisée
- (Lc) : AFSSET : VGAI long terme exposition chronique
- (M) : VL en moyenne annuelle
- (N) : pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures
- (Oa) : VL au 1 janvier 2015
- (Ob) : VL au 1 janvier 2020

Pour l'étape 1

En termes d'interprétation, il est important de rappeler que les concentrations initiales dans le terme source pour les BTEX, le naphtalène, le trichloroéthylène et le tétrachloroéthylène sont issues d'analyses qualitatives dont les résultats ne correspondent donc qu'à un ordre de grandeur, conduisant à la mention dans les sections suivantes de concentrations de « l'ordre de ».

Substance	Concentrations modélisées dans l'air atmosphérique (µg/m³) Etape 1	Valeur la plus contraignante des critères de comparaison	Origine de la valeur
acétaldéhyde	0,032	1,3	OQAI Médiane (µg/m³) [Kirchner et al. 2006] : air extérieur
acide cyanhydrique	1,6	<0,7	Etat initial air extérieur
arsine	0	Pas de critère de comparaison	
<i>benzène</i>	<i>0,073</i>	< 1,1	OQAI Médiane (µg/m³) [Kirchner et al. 2006] : air extérieur
<i>éthylbenzène</i>	<i>0,2</i>	0,6	station de Mulhouse nord moyenne annuelle en 2011
formaldéhyde	0,016	1,9	OQAI Médiane (µg/m³) [Kirchner et al. 2006] : air extérieur
mercure élémentaire	0,0032	Pas de critère de comparaison	
<i>naphtalène</i>	<i>0,013</i>	0,1	Etat initial air extérieur
phénol	0,002	0,03	Etat initial air extérieur
<i>trichloroéthylène</i>	<i>0,027</i>	0,12	Etat initial puits Else
<i>tétrachloroéthylène</i>	<i>0,013</i>	0,2	Etat initial air extérieur
<i>toluène</i>	<i>0,53</i>	2,8	station de Mulhouse nord moyenne annuelle en 2011
<i>xylènes</i>	<i>0,33</i>	0,7	Etat initial air extérieur

en italique : valeur arrondie calculée à partir d'analyses qualitatives dont les résultats sont des ordres de grandeur

Tableau 42 : Tableau simplifié, concentrations modélisées dans l'air et critère de comparaison (étape 1)

Pour l'acide cyanhydrique, la concentration de 1,6 µg/m³ est légèrement supérieure à celles de l'environnement local témoin qui sont inférieures à la limite de quantification de l'ordre de 0,9 µg/m³.

Pour le mercure élémentaire, aucune donnée n'est disponible dans l'environnement local témoin ni dans les données de l'OQAI pour permettre la comparaison de la concentration observée de 0,003 µg/m³.

Les concentrations calculées en situation actuelle et à court terme dans l'air autour du puits Else sont inférieures aux critères de comparaison (environnement témoin ou valeurs « réglementaires »). Seul l'acide cyanhydrique dépasse la valeur de l'environnement témoin (pas d'autres critères de comparaison). Pour le mercure élémentaire, la concentration n'a pu être comparée à aucun critère (pas de données disponibles).

Pour la deuxième étape (moyen terme, 300 à 1000 ans)

Rappelons que pour l'étape 2 seules 4 substances ont été identifiées comme mobilisables.

Substance	Concentrations modélisées dans l'air atmosphérique (µg/m³) Etape 2	Concentrations modélisées dans l'air atmosphérique (µg/m³) Etape 3	Valeur la plus contraignante des critères de comparaison	Origine de la valeur
acide cyanhydrique	1,8	7,1E-7	<0,7	Etat initial air extérieur
arsine	0,015	0	Pas de critère de comparaison	
mercure élémentaire	0,01	4,5E-27	Pas de critère de comparaison	
phénol	0,00013	0	0,03	Etat initial air extérieur

(en italique : valeur arrondie calculée à partir d'analyses qualitatives dont les résultats sont des ordres de grandeur)

Tableau 43 : Tableau simplifié, concentrations modélisées dans l'air et critères de comparaison (étapes 2 et 3)

Pour le phénol, la concentration est très faible et nettement inférieures à celles de l'environnement local témoin.

Pour l'acide cyanhydrique, la concentration de 1,8 µg/m³ est légèrement supérieure (facteur 2) à celles de l'environnement local témoin en soulignant que ces dernières sont inférieures aux limites de quantification de l'ordre de 0,9 µg/m³.

Pour l'interprétation de la concentration en arsine de 0,015 µg/m³, aucune donnée n'est disponible dans l'environnement local témoin, ni dans les données de l'OQAI.

Pour l'interprétation de la concentration en mercure élémentaire de 0,01 µg/m³, aucune donnée n'est disponible dans l'environnement local témoin ni dans les données de l'OQAI.

L'interprétation se heurte à l'absence de critères de comparaison pour le mercure élémentaire et l'arsine.

L'acide cyanhydrique dépasse la valeur de l'environnement témoin (pas d'autres critères de comparaison).

Pour le long terme (étape 3)

Rappelons que seules 2 substances ont été identifiées comme mobilisables pour cette étape.

Pour l'acide cyanhydrique, la concentration de 7,1E-07 µg/m³ est nettement inférieure à celles de l'environnement local témoin en soulignant que ces dernières sont inférieures aux limites de quantification de l'ordre de 0,9 µg/m³.

Pour le mercure élémentaire, avec une concentration extrêmement faible de 4,5E-27 µg/m³, aucune donnée n'est disponible dans l'environnement local témoin, ni dans les données de l'OQAI.

L'interprétation se heurte à l'absence de critères de comparaison pour le mercure élémentaire. L'acide cyanhydrique dépasse la valeur de l'environnement témoin (pas d'autres critères de comparaison).

Dans la mesure où certaines concentrations calculées sont supérieures à celles de l'état naturel du site (en référence à l'état initial ou de l'environnement autour du site) et puisqu'on ne dispose pas pour l'instant de valeurs de gestion au regard de l'usage étudié, une évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) est nécessaire pour apprécier l'impact sur la santé des populations. C'est elle qui apportera des éléments de jugement.

Cette EQRS a été menée par l'INERIS pour le projet de fermeture du stockage souterrain, elle est présentée dans le chapitre suivant concernant la santé publique.

N.B. : L'étude d'impact air menée par l'INERIS s'accompagne d'une discussion sur les incertitudes. Celle-ci sera présentée dans le chapitre suivant, car elle est nécessaire à l'interprétation de l'EQRS.

3.4. Santé publique

Le présent chapitre a pour objectif d'évaluer les effets potentiels du projet sur la santé humaine.

Cette partie a été individualisée dans l'étude d'impact, afin de faciliter la lecture du document. Elle reprend cependant bon nombre d'éléments déjà présentés dans les autres chapitres traitant notamment de l'air et l'eau.

3.4.1. Schéma conceptuel

Le schéma conceptuel est le fondement de la politique de gestion du risque selon l'usage suivi sur le plan national dans le cadre de la gestion des sites et sols pollués.

Il est une véritable représentation de l'état des lieux du site considéré et permet de mettre en évidence les relations entre :

- les sources de contamination identifiées (via l'identification de l'ensemble des substances dangereuses susceptibles d'être présentes, avec leurs caractéristiques physico-chimiques et toxicologiques) ;
- les différents compartiments environnementaux / milieux de transfert et leurs caractéristiques physiques afin de caractériser les vecteurs d'un transfert éventuel de ces substances chimiques ;
- les enjeux : les populations riveraines potentiellement exposées à ces substances chimiques, les usages des milieux et de l'environnement susceptibles d'induire une exposition de la population à ces substances chimiques, et les ressources naturelles, dans le cas présent, la ressource en eau.

Le but du schéma conceptuel est de représenter de façon synthétique tous les scénarii d'exposition directs ou indirects susceptibles d'être rencontrés. Il permet d'appréhender l'état de pollution des milieux et les modes de contamination potentiels selon les activités et les usages qui existent sur les zones investiguées.

La figure 60 présente le schéma conceptuel qui peut être établi pour le projet étudié, avec :

- la « **source ou terme-source** » qui désigne le milieu à partir duquel les substances non désirables s'accumulent ou initient le transfert vers d'autres milieux. Les sources de pollution identifiées et modélisées sont les déchets dont une partie des substances (métaux, métalloïdes, substances organiques volatiles) peut passer en solution dans la saumure ou dans l'air (phase gazeuse) ;
- les **vecteurs de transfert** *in fine* retenus : les anciens puits d'exploitation (avec passage préférentiel par l'extrados).
- les **voies d'exposition potentielles**, directes ou indirectes, à envisager pour les populations humaines :

- l'inhalation de vapeurs dans l'air ambiant extérieur à proximité immédiate des puits⁶¹
- l'ingestion d'eau issue de puits privés
- les expositions liées à d'autres usages domestiques de l'eau issue des puits privés : ingestion de végétaux potentiellement contaminés par l'arrosage du potager, ingestion de sol, ou inhalation de vapeur d'eau contaminée lors de ces activités d'arrosage, ingestion de denrées alimentaires susceptibles d'avoir accumulé des polluants (animaux d'élevage domestiques), etc. ;

Au regard des conclusions et recommandations des études relatives à « l'impact sur la ressource en eau » et « l'impact sur l'air extérieur », *in fine* **n'est retenue que l'exposition par inhalation de substances gazeuses dans l'air extérieur au droit des anciens ouvrages** (étude INERIS [71]).

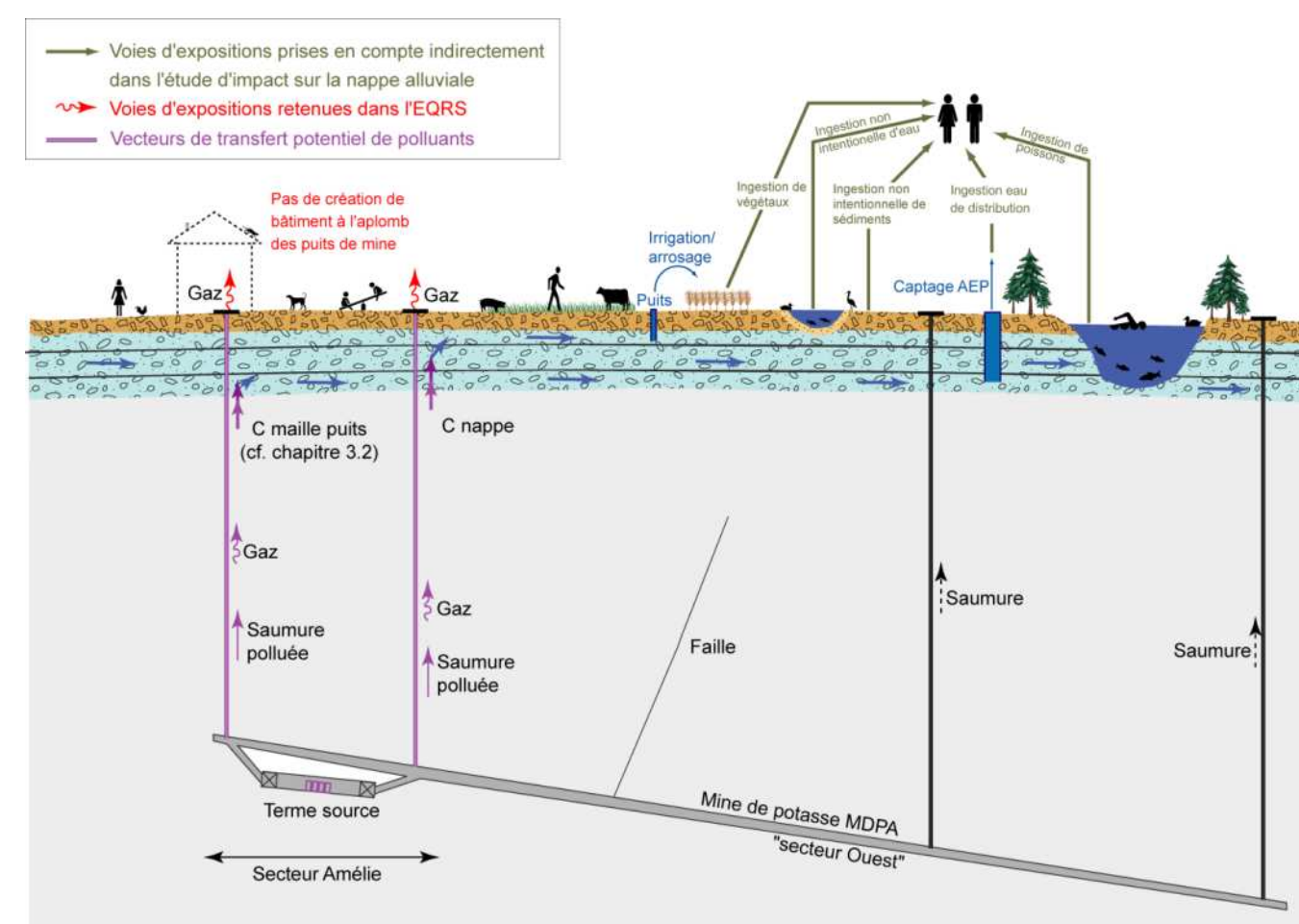


Figure 60 : Schéma conceptuel (étude sanitaire), INERIS complété

⁶¹ : Pas de transfert par les failles.

Les enjeux considérés sont les populations (adultes et enfants) riveraines du site et notamment fréquentant plus particulièrement les zones de promenade à proximité des installations de surface de StocaMine et séjournant en limite des futures zones de servitudes créées autour des anciens puits de mine.

Le tableau 44 récapitule les voies d'exposition et les enjeux retenus.

« Sources »	Milieux d'exposition	Voies d'exposition	Enjeux, populations concernées
Phase gazeuse des déchets	Air extérieur	Inhalation	Enfants et adultes

Tableau 44 : Bilan du schéma conceptuel

3.4.2. Évaluation quantitative des risques sanitaires

Sur la base de ce schéma conceptuel, une évaluation (quantitative) des risques sanitaire - E(Q)RS a été conduite [71]. Cette démarche comporte classiquement les étapes suivantes :

- l'évaluation de la toxicité avec l'identification des dangers (détermination des effets indésirables que les substances chimiques sont intrinsèquement capables de provoquer chez l'homme) et la définition des relations doses-effets et dose-réponses, ou valeur toxicologique de référence (VTR) (estimation du rapport entre le niveau ou la dose d'exposition et l'incidence et la gravité des effets) ;
- l'évaluation des expositions ;
- la quantification des risques ;
- l'analyse finale des incertitudes, les incertitudes étant relevées tout au long de la démarche.

- **Valeurs toxicologiques retenues :**

Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) ont été choisies conformément aux instructions du ministère en charge de la santé (cf. circulaire DGS/SD n°2006-234 de mai 2006 ⁶²), relatives entre autres aux modalités de sélection des VTR, comme repris dans la note aux Préfets du 8 février 2007 et ses annexes (MEDAD, 2007).

Le détail de ce choix est entièrement expliqué dans l'étude [71] et ses annexes.

Ne sont repris ci-après (tableau 45) que les valeurs retenues (synthèse issue de 6 organismes et agences reconnues, et classiquement consultées dans le cadre des EQRS).

Substances	VTR pour les effets à seuil (mg/m ³) et organisme élaborateur	VTR pour les effets sans seuil (mg/m ³) ⁻¹ et organisme élaborateur
acéaldéhyde	1,4E-01 (OEHHA)	2,2E-03 (US EPA)
acide cyanhydrique	8,0 E-04 (US EPA)	n.c.
arsine	5,0 E-05 (US EPA)	n.c.
benzène	9,8E-03 (ATSDR)	7,8E-03 (US EPA)
éthylbenzène	3,0E-01 (ATSDR)	2,5E-03 (OEHHA)
formaldéhyde	1,0E-02 (ATSDR)	1,3 E-02 (US EPA)
mercure élémentaire	3,0 E-05 (OEHHA)	n.c.
naphtalène	3,0E-03 (US EPA)	3,4E-02 (OEHHA)
phénol	2,0 E-01 (OEHHA)	n.c.
tétrachloroéthylène	2,0E-01 (OMS CICAD)	5,9E-03 (OEHHA)
toluène	5,0E+00 (US EPA)	n.c.
trichloroéthylène	6,0E-01 (OEHHA)	4,1E-03 (US EPA)
xylènes	8,7E-01 (RIVM)	n.c.
Nc : non concerné		

Tableau 45 : Synthèse des VTR sélectionnées dans le cadre de l'étude pour la voie inhalation

N.B. (définitions) :

Les effets à seuil de dose correspondent aux effets aigus et à certains effets chroniques non cancérogènes. Les effets ne surviennent que si une certaine dose est atteinte.

Les effets sans seuil de dose sont les effets cancérogènes (mutations génétiques) pour lesquels l'apparition dépend de la fréquence d'exposition, quelle que soit la dose appliquée.

- **Évaluation des expositions**

Rappelons que trois étapes sont distinguées dans le phénomène d'émissions gazeuses issues du stockage et remontant jusqu'en surface (cf. chapitre 2.3.) :

- court terme (période une dizaine d'année avec poursuite de la ventilation du site de stockage) : appellation « scénario 1 » de l'INERIS,
- moyen terme (après la mise en place des barrières, sans aérage, la saumure n'ayant pas atteint les déchets) : appellation « scénario 2 » de l'INERIS,
- long terme (saumure envahissant les déchets, épanchement de saumure par les puits de mine) : appellation « scénario 3 » de l'INERIS.

La définition des paramètres d'exposition consiste à quantifier le nombre d'heures et de jours par an où une personne pourrait être présente sur la zone d'étude.

⁶²La démarche de choix des VTR indiquée n'empêche pas une démarche approfondie conduite par des toxicologues.

En l'absence de connaissance précise de la fréquentation du site, ou de données de la littérature pour une situation similaire, les choix ont été conduits avec une approche raisonnablement conservatoire (c'est-à-dire en gardant des marges de sécurité). Il a été tenu compte de la présence de servitudes au droit des anciens ouvrages.

Pour l'étape 1 il a été considéré une fréquentation d'une heure des zones de promenades en périphérie de la zone de StocaMine (puits Else), et cela tous les jours de l'année, soit une fréquence annuelle 1 (365j/365j). En termes de nombre d'années d'exposition, l'hypothèse retenue est une fréquentation de cette zone durant 10 ans, période considérée avant la mise en place des barrières. Durant ces 10 ans, est considérée une période d'exposition de 6 ans pour l'enfant et de 4 ans pour l'adulte, une période de 10 ans d'exposition d'un adulte pouvant également être considérée.

Pour les étapes 2 et 3, couvrant les périodes postérieures à la mise en place des barrières, il a été considéré également une fréquentation d'une heure autour de la zone de servitude mise en place au droit des anciens puits, et cela tous les jours de l'année, soit une fréquence annuelle 1 (365j/365j). En terme de nombre d'années d'exposition, l'hypothèse retenue est une fréquentation de ces zones durant la vie entière, soit 6 ans d'exposition pour l'enfant et 64 ans pour l'adulte.

Le tableau 46 suivant présente les paramètres d'exposition retenus.

Paramètres d'exposition	Etape 1	Etapas 2 et 3
Ti : fraction du temps d'exposition à la concentration Ci pendant une journée [sans unité]	Une heure par jour, soit $Ti = (1/24) = 0.041$	Une heure par jour, soit $Ti = (1/24) = 0.041$
T : durée d'exposition [années]	10 (6 ans pour l'enfant et de 4 ans pour l'adulte)	70 (6 ans pour l'enfant et de 64 ans pour l'adulte)
F : fréquence d'exposition : nombre annuel de jours d'exposition ramené au nombre total annuel de jours [sans unité]	Tous les jours de l'année, soit $F = (365/365) = 1$	Tous les jours de l'année, soit $F = (365/365) = 1$
Tm : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée [années]	70 (effet à seuil : égale à la durée d'exposition) et 70 (effet sans seuil) ⁶³	70 (effet à seuil : égale à la durée d'exposition) et 70 (effet sans seuil) ⁶³

Tableau 46 : Paramètres d'exposition d'une personne

⁶³ : Pour une substance à effet à seuil $T = Tm$ et pour une substance à effet sans seuil, Tm est assimilé à la durée de la vie entière (prise conventionnellement égale à 70 ans)

• Quantification des risques

Pour chaque substance et voie d'exposition, le risque est quantifié respectivement pour les effets à seuil, sous la forme d'un quotient de danger (QD) et pour les effets sans seuil, sous la forme d'excès de risque individuel (ERI). L'expression de calcul pour la voie inhalation est rappelée ci-après.

- Pour les effets à seuil

$$QD = \frac{CI}{VTR (inhalation)}$$

- Pour les effets sans seuil

$$ERI = CI \times VTR (inhalation)$$

avec :

QD	quotient de danger ⁶⁴	-
ERI	excès de risque individuel	-
CI	concentration inhalée	M L ⁻³
VTR pour les effets à seuil	valeur toxicologique de référence (correspondant à une concentration dans le cas de la voie d'inhalation)	M L ⁻³
VTR pour les effets sans seuil	valeur toxicologique de référence (correspondant à l'inverse d'une concentration dans le cas de la voie d'inhalation)	(M L ⁻³) ⁻¹

Dans le cadre d'une évaluation quantitative des risques, les seuils à partir desquels les QD ou les ERI sont considérés comme potentiellement préoccupants sont ceux usuellement retenus au niveau international par les organismes en charge de la protection de la santé :

- pour les effets à seuils, le quotient de danger théorique doit être inférieur à 1 (l'apparition d'un effet toxique ne peut être exclue lorsque la valeur du QD est supérieure à 1) ;
- pour les effets sans seuils, l'excès de risque individuel théorique doit être inférieur à 10⁻⁵ (probabilité d'apparition d'un cas supplémentaire de cancer sur une population de 100 000 personnes exposées).

Les résultats ont déjà été présentés dans le chapitre 2.3 mais sont rappelés dans les tableaux ci-dessous (tableau 47 et tableau 48).

⁶⁴ : Egalement appelé indice de risque avant les textes du 8 février 2007 du MEDAD.

Quotient de danger (QD) – risque pour les effets à seuil			
Substance (*)	Atmosphère extérieure avant fermeture puits	Atmosphère extérieure après fermetures puits	Atmosphère extérieure après fermetures puits et ennoyage StocaMine
acétaldéhyde	9,5E-06		
acide cyanhydrique	8,3E-02	3,3E-02	2,2E-07
arsine		1,3E-02	0
<i>benzène</i>	3,1E-04		
<i>éthylbenzène</i>	2,8E-05		
formaldéhyde	6,7E-05		
mercure élémentaire	4,4E-03	1,4E-02	(3,71E-26, valeur indiquée uniquement à titre indicatif, au regard de la très faible concentration dans l'air extérieur de 4,5E-30 mg/m ³)
<i>naphtalène</i>	1,3E-04		
phénol	4,2E-07	2,7E-08	0
<i>trichloroéthylène</i>	1,9E-06		
<i>tétrachloroéthylène</i>	2,7E-06		
<i>toluène</i>	4,4E-06		
<i>xylènes</i>	1,6E-05		
Quotient de danger global	8,8E-02 soit 0,088	6,0E-02 soit 0,000006	2,2E-07 soit 0,00000022
Rappel du seuil préoccupant	1	1	1

(*) les substances en italique sont celles pour lesquelles les concentrations du terme source sont issues d'analyses qualitatives correspondant à un ordre de grandeur

Tableau 47 : Synthèses des risques (quotient de danger) pour les substances avec des effets à seuil liés à l'inhalation d'air extérieur

Excès de risque individuel (ERI) – risques pour les effets sans seuil			
Substance (*)	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
acétaldéhyde	4,2E-10		
<i>benzène</i>	3,4-09		
<i>éthylbenzène</i>	2,9E-09		
formaldéhyde	1,3E-09		
<i>naphtalène</i>	2,6E-09		
<i>trichloroéthylène</i>	6,5E-09		
<i>tétrachloroéthylène</i>	4,6E-09		
Excès de risque individuel global	1,8E-08 (0,000000018)		
Rappel du seuil préoccupant	1^E-05 (0,00005)		

(*) les substances en italique sont celles pour lesquelles les concentrations du terme source sont issues d'analyses qualitatives correspondant à un ordre de grandeur

Tableau 48 : Synthèses des risques (excès de risques individuel) pour les substances avec des effets sans seuil liés à l'inhalation d'air extérieur

- Analyse des incertitudes**

L'incertitude sur les concentrations sources a été prise en compte : les conclusions sur l'évaluation des risques pour les populations restent inchangées tant au regard de l'impact sur les eaux de surface et la nappe d'Alsace que sur le milieu air extérieur

L'incertitude sur la composition de l'air dans le stockage pourra être levée par la poursuite du suivi gaz dans le stockage.

Les valeurs toxicologiques retenues sont conformes aux connaissances scientifiques actuelles mais ne représentent que la connaissance disponible à un moment donné.

Les paramètres retenus pour calculer les risques sanitaires liés à la voie inhalation ont été choisis dans le cadre d'une démarche raisonnablement conservatoire.

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

3.4.3. Conclusion de l'évaluation des risques sanitaires

L'évaluation des risques pour la santé humaine des populations a été menée :

- pour les populations fréquentant les zones de promenade à proximité du puits de sortie d'air avec le stockage (puits Else) dans la dizaine des prochaines années (étape 1),
- pour les populations présentes en limite des zones de servitudes mises en œuvre au droit des puits de mine dans le futur à plus long terme après la mise en place des barrière et l'ennoyage total des déchets (étapes 2 et 3).

Les résultats montrent que les concentrations « estimées/modélisées » dans l'air extérieur n'engendrent pas de risques sanitaires en lien avec la voie inhalation de vapeur en extérieur. En effet :

- le quotient de danger global lié aux effets à seuil et l'excès de risque global lié aux effets sans seuil ne dépassant pas leur valeur seuil respective avec un facteur allant jusqu'à 3 ordres de grandeur,
- les concentrations attendues en phase dissoute dans la nappe et les eaux de surface en lien avec le stockage⁶⁵ n'engendrent pas de dégradation de la qualité de la ressource en eau au regard des critères actuellement disponibles.

⁶⁵ : En effet, comme présenté dans le chapitre 2.3 : « l'épanchement de saumure non contaminée par la mine pourra être la cause d'une dégradation de la qualité des eaux dans la zone des puits, liée à l'ion chlorure, dès le début de ce phénomène, c'est à dire dans approximativement 300 ans. »

3.5. Effets sur le sous-sol

Le stockage est une installation souterraine dont les galeries sont situées à 550 mètres de profondeur. Il n'y a pas de galeries à faible profondeur.

Les terrains encaissants sont des formations salifères et marneuses au comportement souple dans leur ensemble : l'exploitation de la potasse sur deux niveaux plus épais que la hauteur des galeries de de stockage de StocaMine a généré en surface des affaissements sans rupture.

Les effets du projet sur le sous-sol sont étudiés en terme de stabilité des terrains jusqu'en surface et en terme d'exploitation future d'une éventuelle ressource dans le sous-sol.

3.5.1. Stabilité des terrains

3.5.1.1. Le stockage dans son ensemble

Les éléments géotechniques du site en l'état actuel et de son évolution mécanique sont détaillés dans l'étude de sûreté (annexe 6 du dossier d'autorisation).

Les chambres de stockage des déchets ont une largeur de 5 m et une hauteur de 2,8 m et sont séparées par des piliers de sel en place de 20 m par 20 m.

Même si certaines de ces chambres présentent des dégradations (fissuration / fracturation de piliers des voies doubles, soufflage du mur des galeries, décollement du toit), qui sont susceptibles de s'intensifier dans les années à venir, pendant une période transitoire précédant la fermeture des ouvrages par le fluage du sel, **les instabilités signalées resteront locales et limitées dans l'espace.**

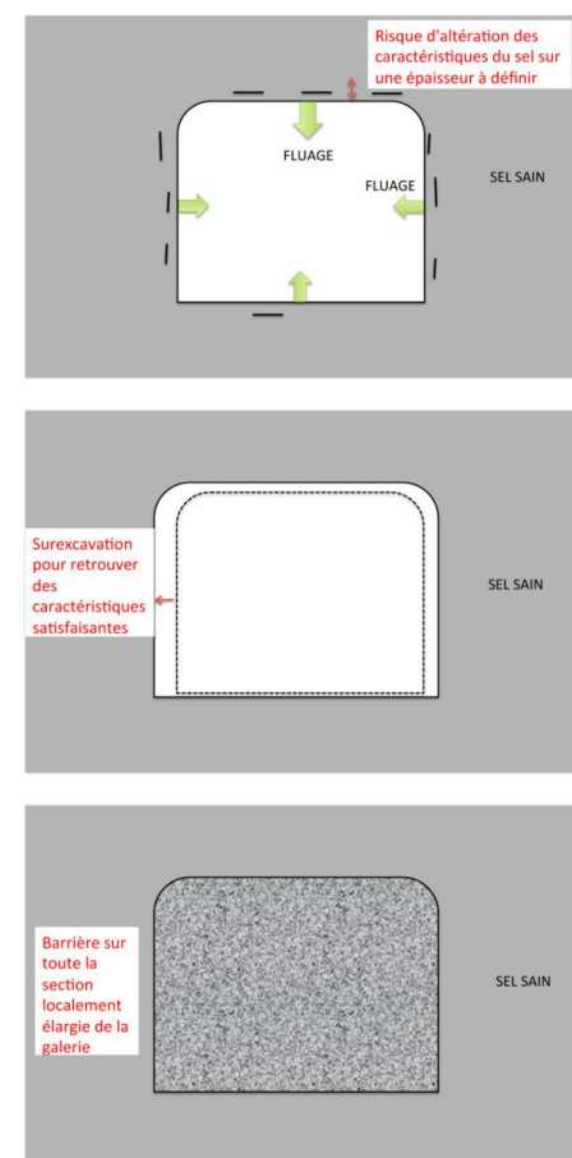
En effet, l'endoscopie du toit réalisée récemment par StocaMine montre que les décollements constatés se propagent dans le toit mais que la distance affectée par ces décollements dépend des dimensions des galeries et peut difficilement s'étendre jusqu'au niveau exploité situé 23 à 25 m au-dessus du stockage (soit 8 fois la hauteur des galeries). **Les distances de propagation de ces décollements ne peuvent pas s'étendre au-delà de quelques mètres dans le toit et ne peuvent donc pas conduire à un effondrement de la surface du sol (situé à plus de 550 m).**

De même, les résultats de la modélisation thermo-mécanique destinée à l'étude de l'endommagement du toit, induit par l'incendie du bloc 15, indiquent qu'il aurait fallu atteindre une température de 300 °C sur toutes les parois du bloc 15, et ceci pendant 3 mois consécutifs, pour que l'endommagement provoqué par l'incendie puisse s'étendre jusqu'au niveau de l'exploitation sus-jacente et que **même dans cette hypothèse, l'endommagement dans le toit serait resté négligeable au mur de l'exploitation.**

Le stockage souterrain est situé à 550 mètres de profondeur. Il présente des décollements et fissurations diverses qui affectent les blocs et les galeries du stockage mais ne s'étendent que sur quelques mètres en périphérie. Compte tenu de ses caractéristiques géométriques et de la lenteur des phénomènes de convergence, le site de stockage souterrain ne peut pas occasionner de dégâts d'affaissement en surface.

3.5.1.2. Phase travaux

Le projet prévoit des travaux en souterrain pour confectionner les barrières de confinement sur les galeries d'accès au stockage souterrain.



Des investigations sont en cours pour évaluer la nécessité de surexcauser localement les galeries dans les secteurs où les barrières seront implantées afin d'éliminer la frange « de surface » dont les caractéristiques, notamment de très faible perméabilité auraient pu s'altérer (cf. figure 61).

En cas de surexcavation nécessaire, les vides créés seront minimes en comparaison de ceux produits lors du creusement initial des galeries et immédiatement comblés par les matériaux de la barrière.

Les travaux nécessaires à la mise en place des barrières de confinement ne sont donc pas de nature à créer de nouvelles instabilités en surface.

Figure 61 : Représentation schématique surexcavation des galeries pour la mise en place des barrières

Parmi les mesures de maîtrises de risque en cours d'étude (sécurités supplémentaires pour retarder la possibilité de contact saumure-déchets) il est également envisagé de créer une galerie exutoire assurant un cheminement préférentiel de l'eau pendant la phase d'ennoyage pour éviter que de l'eau partiellement douce atteigne le secteur confiné.

Les dimensions associées resteront au maximum du même ordre de grandeur que celles des galeries existantes, dont la création n'a engendré aucun mouvement significatif en surface.

Les travaux en souterrain nécessaires à la réalisation du confinement du stockage et les mesures complémentaires envisagées (galerie de court-circuit hydraulique) ne sont pas de nature à remettre en cause la stabilité des terrains.

3.5.2. Ressources du sous-sol

Le stockage ne représente que 35 ha de surface, dans un gisement salifère de plus de 220 km² (en retenant l'emprise des anciennes concessions MDPA) soit moins de 0,2%.

Seul un périmètre comprenant le stockage et une distance de sécurité devra faire l'objet d'une restriction d'usage pour éviter qu'un forage futur ne recoupe la zone de stockage.

En cas de réelle nécessité, un forage pourrait toutefois être réalisé dans la mesure où toutes les précautions seraient prises pour éviter que ce dernier ne devienne une voie potentielle de migration des polluants.

Le projet ne remet pas en cause une exploitation future du sous-sol.

3.6. Effets sur les sols

Lors de la phase d'exploitation du site, l'ensemble des mesures nécessaires ont été prises pour éviter toute pollution du sol et de la nappe phréatique (dalles étanches dans les bâtiments de déchargement et de manutention des déchets, bassin de rétention étanche spécifique pour les eaux susceptibles d'être polluées).

Dans le cadre du programme de surveillance de « l'environnement jour », le sol a fait l'objet d'un suivi régulier (un point à l'intérieur du site) : aucune pollution n'a été détectée (voir partie état initial).

Dans le cadre du projet de fermeture, une remise en état du site est prévue. Notamment, un diagnostic complet de la qualité des sols restitués sera réalisé.

En cas de découverte d'une pollution du fait de l'activité de StocaMine (très improbable), une dépollution sera engagée.

A long terme, seuls les polluants solubles seraient susceptibles de sortir du système minier, à de très faibles concentrations, sous forme de saumure emportée par la nappe phréatique. Le projet ne générera pas de pollution des sols.

Après remise en état du site, le projet n'aura pas d'impact sur la qualité des sols.

3.7. Effets sur le milieu naturel

Les installations de stockage sont souterraines. Les installations de surface sont situées dans un environnement industriel, à proximité toutefois de zones naturelles d'intérêt.

Les travaux nécessaires à la mise en œuvre du projet se feront en souterrain mais nécessiteront des manipulations ou stockages temporaires en surface.

Une fois le site fermé, les polluants ne pourraient remonter en surface que par l'intermédiaire de la saumure (passant alors par les puits de mine) ; les concentrations associées dans la nappe ont toutefois été modélisées et seraient inférieures aux valeurs-seuils actuelles.

Les effets sur le milieu naturel sont étudiés ci-après en tenant compte des espaces naturels sensibles les plus proches des installations de surface et du milieu aquatique.

3.7.1. Incidence Natura 2000

Le site Natura 2000 le plus proche des installations de StocaMine est la vallée de la Doller, classée pour ses habitats (prairies, milieux alluviaux, milieux humides). Situé à plus de 3,5 km de ce Site d'Intérêt Communautaire, le projet ne modifiera en aucun cas l'état de conservation des habitats du site : aucune destruction directe d'habitat.

Les travaux de mise en place des bouchons qui fermeront les galeries de stockage se feront à plus de 500 mètres de profondeur. Les nuisances en surface seront donc très limitées (bruit, trafic) et ne seront pas de nature à occasionner un dérangement pour les espèces du site Natura 2000.

Enfin, si à long terme une sortie de saumure polluée se produisait :

- les calculs de flux ont montré qu'il n'y aura pas d'impact notable sur la nappe d'Alsace,
- cette saumure ne pourrait de toute façon en aucun cas atteindre le réseau hydrographique de la Doller, puisqu'il est situé au sud des puits de mine et donc en amont hydraulique.

Le projet n'aura aucune incidence significative sur les espèces ou les habitats d'intérêt communautaire.

3.7.2. Impacts sur le milieu naturel proche

- Il n'y a pas d'enjeu milieu naturel en souterrain.

- En surface, sur les parcelles du projet, il n'y a également aucun enjeu milieu naturel (gazon, bâtiments industriels, surfaces goudronnées). Par contre, à l'est des installations de StocaMine, le Marais de Rothmoos est classé en **Réserve Naturelle Régionale**.

Les enjeux associés à la protection de ce site⁶⁶ concernant principalement le maintien de l'alimentation en eau du marais et la préservation du calme du secteur, notamment en période de reproduction des oiseaux (avril à juillet).

Impact du projet sur l'alimentation en eau du marais :

La fermeture du stockage se traduira par le remblayage des puits Joseph et Else, donc l'arrêt de l'exhaure⁶⁷. Or l'eau d'exhaure participe indirectement à l'alimentation en eau du Marais de Rothmoos puisqu'il est dirigé (**après contrôle qualitatif**) vers les fossés de la zone d'activités qui s'écoulent vers l'est et alimentent le marais.

Cet apport d'eau salée est toutefois temporaire (évacuation seulement lorsque le bassin de stockage des eaux est plein, soit 2-3 fois/an) et ne représente que de l'ordre de 3000 m³/an.

Pour vérifier que l'arrêt de cet apport d'eau ne remet pas en cause le fonctionnement du marais, on propose de comparer le débit d'exhaure aux débits que peuvent apporter les terrains en périphérie du marais, en particulier la zone d'activités, soit au minimum 70 ha.

Sur la base d'une pluie efficace annuelle de 350 mm et en considérant que 80% des pluies efficaces ruissellent, un hectare collecté apporte un débit moyen de 2 800 m³/an.

La zone potentielle d'alimentation du marais apporte donc environ 196 000 m³/an au marais, l'exhaure ne représente que 1,5 % de ce débit. **L'arrêt de l'exhaure n'aura donc pas d'impact notable sur la zone du Marais de Rothmoos.**

Pendant la phase de travaux préalable à la fermeture du site (confinement et mesures complémentaires), le suivi qualitatif des eaux d'exhaure sera maintenu. Si une pollution était détectée, les eaux d'exhaure seront évacuées, comme le prévoit la procédure, vers une filière de traitement appropriée.

Concernant la collecte des eaux de surface des parcelles de StocaMine (toitures, ...), celle-ci sera maintenue comme en situation actuelle, les mêmes débits seront dirigés vers le Marais.

⁶⁶ : Le plan de gestion du site est en cours de rédaction.

⁶⁷ : Pompage des eaux atteignant la base des puits.

Impact des travaux sur le bruit et le trafic :

L'emprise de la zone classée est rappelé ci-dessous.

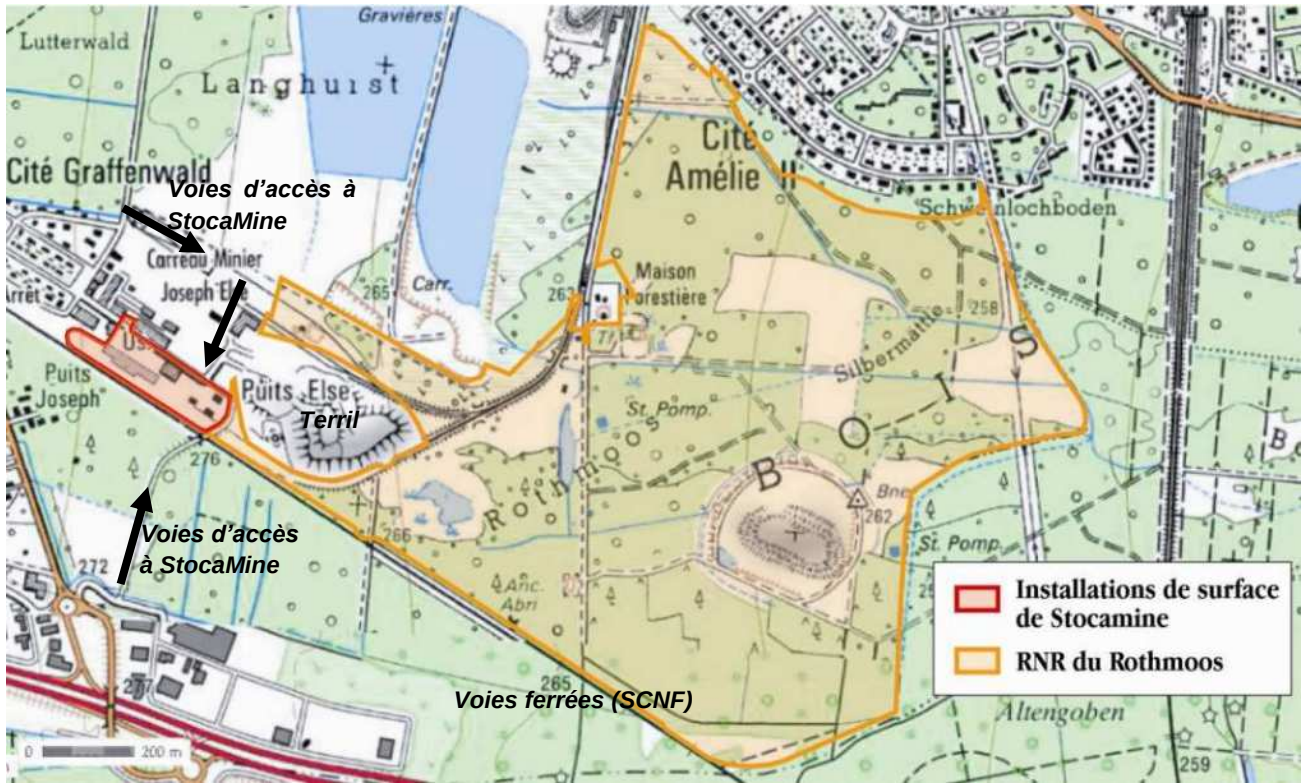


Figure 62 : Marais de Rothmoos et site StocaMine

L'accès aux parcelles de StocaMine se faisant à partir du sud ou de l'ouest, on en déduit que l'augmentation de trafic occasionnée par la mise en œuvre de travaux ne pourra avoir qu'un impact sonore négligeable sur la réserve naturelle.

De même le bruit lié aux engins ne sera que peu détectable au niveau du site classé (le teril Else jouant un rôle d'écran).

Le projet ne modifiera pas de façon notable le fonctionnement de la zone humide du Marais de Rothmoos.

- Milieu aquatique :
La nappe alluviale alimente les cours d'eau en période de basses eaux.
Les barrières mis en place pour confiner les déchets permettront de se prémunir d'un risque de pollution de cette nappe, et donc des cours d'eau.
En l'absence d'impact sur la qualité des cours d'eau, et puisque le projet ne modifie en aucune façon les débits ou la morphologie de ceux-ci, **le projet n'aura pas d'impact sur la vie piscicole et le milieu aquatique en général.**

Le projet n'aura pas d'impact sur le milieu aquatique.

3.8. Effets sur l'environnement humain

L'arrêt de l'activité de déchets a été anticipé par rapport aux délais envisagés à la création du site autorisation accordée en 1997 pour 30 ans.

Les travaux nécessaires à la fermeture engendreront en surface un trafic supplémentaire temporaire et des nuisances classiquement associées à un travail de chantier.

L'impact du site fermé sur la nappe alluviale et la santé a été étudié dans les chapitres 3.3 à 3.5.

Les effets sur l'environnement humain présentés ci-après concernent les aspects socio-économiques, le trafic, les nuisances sonores, la prise en compte des risques sur la commune ainsi que l'aspect patrimonial et paysager.

3.8.1. Environnement socio-économique

3.8.1.1. Population

Le projet n'est pas de nature à avoir un impact sur l'évolution de la population de Wittelsheim.

3.8.1.2. Activités économiques

a - PHASE TRAVAUX

Les caractéristiques du confinement du stockage souterrain de StocaMine sont aujourd'hui fixées en termes d'objectifs. Les modalités de réalisation des barrières de confinement seront toutefois à affiner ultérieurement par l'entreprise ou le groupement qui sera retenu au terme de la procédure d'appel d'offre. Il sera fait appel à des entreprises extérieures spécialisées.

Étant donné la spécificité des travaux prévus (bouchons complexes de plusieurs dizaines de mètres, travail en mine), on peut toutefois donner quelques ordres de grandeur de la charge de travail associé :

- personnel mine (StocaMine) : ≈ 4 personnes temps plein,
- personnel intervention extérieure : ≈ 20 à 30 personnes temps plein,
- durée des travaux : ≈ 3 à 6 ans.

L'activité administrative de StocaMine sera également maintenue durant cette phase de travaux.

De même, la réalisation des ouvrages de suivi de l'ennoyage nécessitera du personnel StocaMine en plus de l'intervention d'entreprises extérieures spécialisées.

L'activité du site sera maintenue pendant toute la phase études et travaux.

b - LIQUIDATION DE STOCAMINE

Une fois les ouvrages de surveillance créés et les bouchons mis en place, la fermeture du stockage souterrain et l'arrêt de l'activité de StocaMine entraînera la suppression progressive d'une vingtaine d'emplois. A l'échelle de StocaMine, des mesures d'accompagnement social seront mises en place pour assurer l'avenir des employés.

A l'échelle de la commune l'impact sera limité puisque ce chiffre représente moins de 0,1% des emplois à Wittelsheim.

c - ARRET DU FINANCEMENT DU GIP

Financièrement, l'arrêt de StocaMine se traduira par une dissolution du GIP (Groupement d'Intérêt Public, à vocation de développement, d'aménagements paysagers, obligatoire pour accompagner les stockages de déchets ...) qui apportait indirectement environ 300 000 €/an à la commune de Wittelsheim.

Dans la mesure où une nouvelle activité pourra s'implanter à terme en remplacement de StocaMine, l'arrêt du versement des taxes foncières (environ 57 000 € en 2012) et de la cotisation foncière des entreprises⁶⁸ (environ 3 000 € en 2012) n'aura qu'un impact temporaire sur le budget communal.

La fermeture du site StocaMine supprimera une vingtaine d'emplois locaux.

A l'échelle locale, le projet aura un impact économique limité. Toutefois la disparition du Groupement d'Intérêt Public entraînera une baisse indirecte de revenu pour la commune.

⁶⁸ : L'entreprise est soumise à la Contribution Economique Territoriale (qui remplace depuis 2011 la taxe professionnelle). Celle-ci est composée de la cotisation foncière des entreprises (CFE) et de la cotisation sur la valeur ajoutée des entreprises (CVAE), nulle ici car la valeur ajoutée de StocaMine est actuellement fortement négative (-2452 k€ en 2010).

3.8.1.3. Tourisme – loisirs

Le projet n'est pas de nature à avoir une influence sur les activités touristiques ou de loisirs.

3.8.1.4. Voisinage

Seule la phase travaux est susceptible de créer quelques nuisances qui seront détaillées dans les paragraphes trafic, bruit, air. Celles-ci resteront mineures et peu sensibles pour les habitations les plus proches, distantes de plus de 100 m par rapport au chantier.

3.8.2. Desserte – trafic

3.8.2.1. Trafic routier

a - PHASE TRAVAUX

Pendant la phase travaux, seule la desserte par le sud, ne traversant pas la cité minière, sera utilisée par les engins de chantier (camions, toupies, etc.).

Du fait de la complexité du chantier souterrain⁶⁹, le rythme d'amenée des matières premières nécessaires aux travaux sera relativement réduit.

La réalisation des barrières devrait s'étendre sur environ 3 ans et nécessitera un apport de matériaux de 10 000 m³ (bentonite, béton, , etc. suivant la solution technique retenue)⁷⁰. Cela représente un rythme d'environ 4 camions/semaine (sur la base une densité moyenne des matériaux de 1,5 et d'une charge de 25 tonnes/camion).

Pour le remblayage des blocs 15, 16, 25 et 26 et des galeries à l'intérieur de la zone confinée, les volumes de matériaux seront plus importants, estimés (d'après les pré-études ERSCOSPLAN) autour de 150 000 m³. La durée de travaux également de l'ordre de 3 ans, ce qui implique une circulation d'environ 55 camions/semaine.

Globalement les travaux de remblayage et de mise en œuvre des barrières impliquerait la circulation **d'une dizaine de camions par jour.**

Le trafic de la RN66 étant de l'ordre de 30 000 véhicules /j, les camions desservant StocaMine ne représenteront pas d'augmentation notable du trafic routier.

⁶⁹ : et de la limite de cadence imposée par la capacité de descente des installations des puits de mine.

⁷⁰ : La totalité du chantier sera un peu plus longue puisqu'elle inclut les installations et travaux préalables en mine, etc.

Dans la mesure où les engins de chantier ne traverseront pas la cité minière, il n'y aura pas d'impact significatif sur le voisinage.

Sur l'accès principal, la RN66, il n'y aura pas d'augmentation notable du trafic (10 camions/j pour un axe à 30 000 véhicules/j).

b - STOCAMINE FERME

Le trafic routier lié à l'activité de StocaMine ayant toujours été réduit, la fermeture du stockage n'entraînera aucune modification notable de la circulation.

3.8.2.2. Trafic ferroviaire

Si nécessaire, des matériaux de remplissage pourront être apportés par rail (réduisant d'autant le trafic de camions durant la phase travaux). Ceci ne représenterait que quelques wagons.

La desserte ferroviaire de la parcelle pourra être maintenue ou au contraire fermée suivant les besoins du futur acquéreur des parcelles.

Le trafic ferroviaire lié à l'activité de StocaMine ayant toujours été réduit, la fermeture du stockage n'entraînera aucune modification notable de la circulation.

3.8.3. Bruit

Seule la phase de travaux sera susceptible de générer une augmentation des sources de bruit par rapport à la situation actuelle. Celle-ci durera 3 à 5 ans.

Pendant les phases de remblayage des galeries et blocs de stockage puis de réalisation des bouchons fermant les galeries du stockage souterrain, les émissions sonores seront essentiellement générées en souterrain (injections, raclage, ...) et concerneront donc les travailleurs.

En surface, des installations de chantier seront mises en place temporairement : toupies, silos, etc. d'où un bruit de fond d'activité et de manutention, restant modéré (pas de matériel type marteau-piqueur, ...). Le fonctionnement des cages sera plus fréquent qu'actuellement pour descendre personnel et matériel en souterrain.

Les bruits produits seront temporaires. Si nécessaire, des mesures de protection pourront être prises en cas de gêne du voisinage (écrans, travail en intérieur, ..., dans le respect des consignes de sécurité).

Ce chantier ne devrait donc pas être une source de nuisance pour les habitants de Wittelsheim ou les entreprises voisines.

Les travaux augmenteront le niveau sonore du secteur, dans la limite de la réglementation et du respect du voisinage.

3.8.4. Risques

Le paragraphe ci-dessous concerne la prise en compte dans le projet des risques recensés sur la commune.

- Comme précisé dans l'état initial (chapitre 2.3.2), la localisation des installations de StocaMine à Wittelsheim (éloigné des cours d'eau, des usines SEVESO, du barrage, axes de circulation ...) fait que le site est peu soumis aux risques technologiques ou d'inondation.
- Par contre, comme tout le territoire de la commune, le site est soumis aux risques de séisme (sismicité modérée). Pour la phase travaux, ce risque sera porté à connaissance des entreprises intervenant pour StocaMine, afin de le prendre en compte notamment si des infrastructures verticales hautes étaient nécessaires (type silo).

Concernant la pérennité du stockage en souterrain, cette problématique est intégrée dans l'étude de sûreté de la matrice.

- Comme tout le territoire de la commune, les installations de surface sont également exposées au risque de mouvements de terrain ou de remontées de nappe. Les entreprises intervenant sur le site seront averties de la présence de la nappe à faible profondeur afin de prendre en compte ce paramètre par exemple si des fondations sont nécessaires pour les équipements de chantier, ...

Les entreprises intervenant pour le compte de StocaMine prendront en compte les risques recensés sur la commune, notamment séismes et remontée de nappe.

3.8.5. Patrimoine et paysage

- **Phase travaux :**

Comme ce secteur est dans le périmètre de protection du bâtiment des vestiaires Jospeh-Else classé Monument Historique, les aménagements temporaires liés aux travaux devront être effectués en concertation avec l'Architecte des bâtiments de France qui déterminera si des mesures d'intégration particulières sont nécessaires.

- **Remise en état – cession du site :**

La remise en état et sécurisation du site passeront par le démantèlement des infrastructures d'exploitation. Ceux-ci sont propriété des MDPA et ne font donc pas directement partie du dossier.

A titre informatif, on peut signaler qu'après la fermeture des puits, les chevalements seront certainement détruits (sauf si des repreneurs les prennent en charge). Un périmètre non constructible sera établi à l'aplomb des deux puits de mine. Leur implantation sera marquée par une dalle en béton (environ 4 m x 4 m) peu visible dans le paysage.

Les bâtiments et diverses infrastructures existantes (parkings, accès, ...), récents et en bon état pourront être revendus en l'état à une nouvelle entreprise, qui les adapteront en fonction de ses besoins.

Le projet n'aura pas d'impact permanent sur le paysage et le patrimoine.

4. EFFETS CUMULES AVEC D'AUTRES PROJETS

Le décret 2011-2019 du 29 décembre 2011 modifiant le contenu des études d'impact précise que ces dernières doivent intégrer une analyse des effets cumulés du projet avec d'autres projets connus.

Il est précisé que les autres projets à prendre en compte sont ceux qui, lors du dépôt de l'étude d'impact, ont fait l'objet d'un document d'incidence et d'une enquête publique ou ont fait l'objet d'une étude d'impact au titre du code de l'environnement.

Rappelons que le projet présenté ici consiste à fermer un site de stockage souterrain de déchets pour le transformer en stockage illimité. Autrement dit il s'agit de confiner en souterrain une masse de déchets qui a déjà été stockée.

Une fois le projet réalisé, la masse non soluble des déchets restera à 550 mètres de profondeur, dans le massif de sel.

Seule la partie soluble pourrait être entraînée par la saumure remplissant l'ancienne mine de potasse, avec laquelle le stockage souterrain est en liaison. Les contaminants solubles pourraient alors remonter jusqu'à la nappe d'Alsace par l'intermédiaire des puits de mine

4.1. Effets du projet en souterrain – autres projets connus

Les déchets seront laissés en place, ils seront à très long terme encapsulés dans le sel.

La présence de ces déchets pourrait gêner une exploitation souterraine éventuelle. Toutefois, les couches de potasse ont déjà été exploitées dans ce secteur (Mines de Potasse d'Alsace) et aucun projet d'exploitation souterraine n'est connu à ce jour sur la commune de Wittelsheim.

Il n'y a pas de projet de stockage souterrain autour de StocaMine.

Le projet ne va pas à l'encontre d'autres projets connus. Il n'y a pas d'effets cumulés avec d'autres projets en souterrain.

4.2. Effets du projet en surface – autres projets connus

- Concernant l'environnement humain, le projet conduit à l'arrêt d'une activité sur la commune. Il n'y a pas d'autres projets de cessation d'activités connus.
- La fermeture du stockage entraîne une modification mineur des débits d'alimentation du marais de Rothmoos. Il n'y a pas de projet de réaménagement de la gravière Michel ou de la zone d'activité Joseph-Else qui conduiraient à prendre en compte un effet cumulé avec d'autres projets.
- Effets sur la nappe alluviale :**

L'évolution prévisible du système minier conduit à prendre en compte un risque de dispersion de contaminants dans la nappe d'Alsace en cas de remontée de saumure le long des anciens puits de mine Amélie 1, Amélie 2, Max, Joseph et Else. Parmi les éléments qui seraient ainsi libérés, seul le mercure atteindrait des valeurs proches (mais inférieures) aux valeurs-seuils de référence et ce dans le périmètre immédiat des puits.

En cas de diffusion simultanée, au même endroit (les puits), par d'autres sites (industries, décharges, stations d'épuration,...), des dépassements de valeurs seuils pourraient avoir lieu. Aucun projet de ce type n'est connu sur ces secteurs, par contre il faut rappeler que **la saumure qui aura rempli la mine de potasse sortira également par ces puits** (si les phénomènes de compaction résiduelle sont encore suffisamment puissants pour entraîner cette remontée de saumure jusqu'à la nappe). La composition de la saumure sera fixée par le contexte géologique, avec principalement des teneurs élevées en chlorures, potassium, sodium, mais également potentiellement des métaux ou semi-métaux.

N.B. : Les langues salées constatées dans la nappe du fait de la dissolution des terrils vont s'estomper au fil du temps car les terrils auront été traités. Il n'y aura pas d'effet cumulé avec ces terrils.

Aucun « projet connu » n'aurait d'impact cumulé en surface avec les effets attendus de l'évolution du site de StocaMine. L'ensemble des anciens puits de mine de potasse sont susceptibles d'engendrer des épanchements de saumure (sans contaminants de StocaMine mais fonction du contexte géologique), à échéance ≈ 300 ans pour le secteur Ouest.

4.3. Phase travaux, effets du projet – autres projets connus

Les travaux nécessaires au confinement du site de stockage engendreront une augmentation modérée du trafic dans la zone d'activité Sécoïa et une augmentation temporaire du bruit de fond.

Si d'autres chantiers étaient prévus dans le même secteur, une gêne temporaire pourrait être occasionnée (bruit, difficulté de circulation), toutefois aucun nouvel aménagement notable (nécessitant étude d'incidence ou d'impact) n'est en projet dans le secteur à ce jour (mai 2013).

5. RAISONS POUR LESQUELLES LE PROJET A ETE RETENU

L'autorisation d'exploiter accordée en 1997 à StocaMine avait été fixée pour une durée de 30 ans.

A cette échéance, deux possibilités étaient prévues :

- le maintien des déchets au fond après confinement (stockage définitif)
- le retrait des déchets (exercice de la réversibilité).

Dans le cas d'un retrait des déchets stockés dans les blocs souterrains de StocaMine, il faut trouver un nouveau site de stockage acceptant ces déchets et assurer le transfert des déchets depuis StocaMine jusqu'au site retenu. Le devenir des déchets dans le site retenu doit être pris en considération.

Les déchets en place au moment de la réalisation du dossier sont considérés comme ultimes, ce qui signifie qu'il n'y a pas de possibilité de retraitement dans des conditions technico-économiques raisonnables et qu'ils devraient, par conséquent, être transportés dans d'autres sites de stockage⁷¹. Ces déchets sont répartis en deux grandes classes :

- 23 000 t de déchets (déchets amiantés et résidus d'incinération), représentant 27 000 colis ; ces déchets devraient être éliminés vers des installations de stockage de déchets dangereux (il existe 14 sites en France) ;
- 19 000 t de déchets (pour les autres catégories de déchets), représentant 37 200 colis, qui devraient obligatoirement être éliminés en centre de stockage souterrain du même type que celui de StocaMine (après vérification des critères d'acceptabilité du stockage). Comme il n'existe pas de tel centre en France (hormis StocaMine), les déchets devraient être transportés vers les centres situés en Allemagne (les plus proches).

Plusieurs études ont été menées pour préciser comment un déstockage pouvait s'organiser. L'INERIS a ensuite comparé la solution du stockage définitif dans les blocs de StocaMine et la solution du re-stockage sur d'autres sites.

Cette étude comparative a principalement porté sur l'évaluation de l'impact sanitaire et environnemental des deux solutions.

Conformément au décret 2006-283 relatif à la prolongation pour une durée illimitée de l'autorisation de stockage souterrain, l'étude est présentée en totalité dans l'annexe 5 du dossier d'autorisation (« Exposé des solutions alternatives au maintien du stockage avec leurs conséquences respectives et indiquant les motifs pour lesquels le projet a été retenu »). Il s'agit de l'étude [68] citée en bibliographie, intitulée « Comparaison des scénarios de devenir du stockage de StocaMine » (INERIS-DRS-12-108130, J-C PINTE, Janvier 2012) et dont les principaux résultats sont repris ci-après.

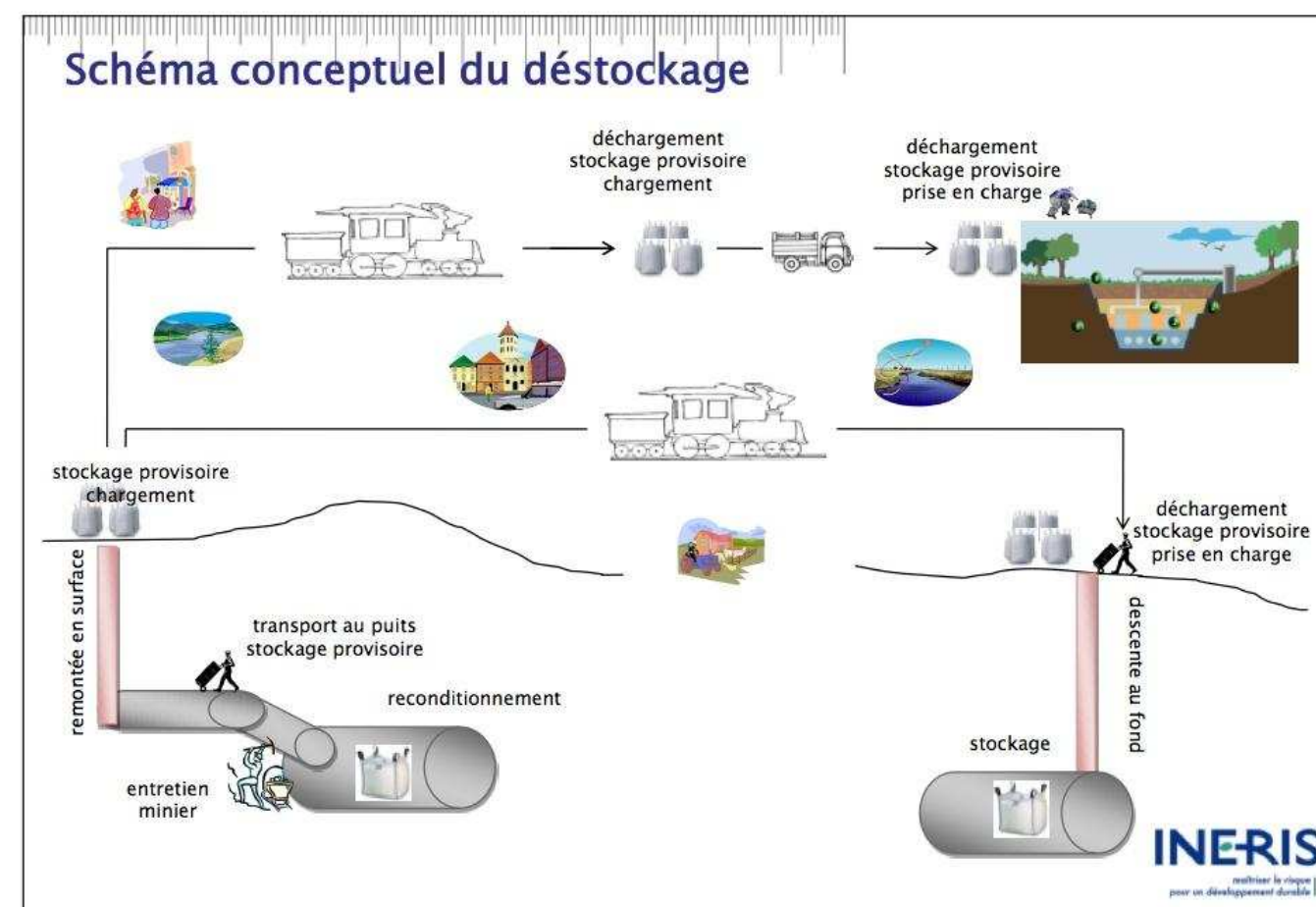


Figure 63 : Schéma conceptuel du déstockage pris en compte dans la comparaison des solutions [68].

⁷¹ : En France, la législation « stockage de déchets » distingue 3 types d'installations en fonction des types de déchets qu'elles peuvent accueillir : déchets inertes, déchets non dangereux ou déchets dangereux. Il s'agit d'installations de surface. Les stockages de déchets souterrains constituent une catégorie à part, qui peuvent accueillir des déchets dangereux qui ne seraient pas admis en surface. StocaMine était le seul stockage de déchets souterrain en France.

5.1. Approche retenue pour comparer les solutions

A la demande de StocaMine, l'INERIS a recherché et mis en œuvre une méthodologie permettant d'agréger ou d'additionner des impacts sanitaires et environnementaux en autorisant le rapprochement d'informations de natures différentes :

- risques sanitaires aigus et chroniques (population générale et travailleurs) ;
- risques accidentels ;
- risques pour l'environnement ;
- risques à court et long termes.

Dans cette approche, les impacts sur le changement climatique, les ressources naturelles et les coûts n'ont pas été pris en compte. De même, la méthodologie utilisée n'est pas destinée à prendre en compte les aspects réglementaires, sanitaires ou environnementaux contraints par des valeurs limites, guides ou autorisées. Elle est fondée sur le fait qu'une masse de substance dispersée dans l'environnement produit des effets sanitaires ou environnementaux qui peuvent être traduits en indicateurs globaux de risques.

De plus, la méthodologie retenue permet d'évaluer de manière homogène et simple la valeur des indicateurs globaux de risque pour chacun des scénarios examinés, donc de les situer les uns par rapport aux autres et de bien identifier celui qui présente les risques cumulés les plus faibles. Une fois cette démarche réalisée, le scénario choisi est examiné en prenant en compte, cette fois, les contraintes réglementaires, sanitaires et environnementales en cherchant à minimiser les risques au travers de la mise en place de Moyens de Maîtrise du Risque (MMR, cf. [72]).

La démarche mise en œuvre s'est inspirée des méthode d'Analyse du Cycle de Vie (ACV) et donc des normes NF-EN-ISO-14040 et 14044 d'octobre 2006. Ces méthodes d'évaluation du risque existent en mode opérationnel et sont publiées dans la littérature scientifique internationale. Elles permettent, après simplification et homogénéisation des données et informations, parfois hétérogènes en qualité et quantité ou de natures différentes, de les traiter et de les collationner. Enfin, la méthodologie facilite la comparaison des scénarios par l'utilisation d'indicateurs globaux de risque.

Les indicateurs globaux employés sont ceux adoptés par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) tant sur la plan sanitaire qu'environnemental; ce sont :

- la DALY (Disabled-Adjusted-Life-Year) pour l'impact sur la santé humaine. Cet indicateur se traduit par « Année de vie corrigée de l'incapacité » (on trouve aussi « années de vie ajustées aux handicaps »). Il cumule les décès et incapacité, temporaire ou permanente, que l'origine en soit accidentelle ou non ;
- le PDF.m².an (Potentially Disappeared Fraction traduit par fraction d'espèces affectée et/ou disparue) qui représente, pour l'impact sur la biodiversité, la fraction d'espèces potentiellement disparue sur une surface de 1 m² pendant 1 an.

5.2. Les 8 scénarios étudiés

La méthodologie de comparaison adoptée et les indicateurs globaux de risque fixés, les différents scénarios ont été développés. La démarche adoptée a consisté en une analyse des scénarios extrêmes (stockage illimité et déstockage total), avec plusieurs variantes correspondant notamment aux différentes solutions de re-stockage.

Huit scénarios ont ainsi été retenus et comparés :

- pour le stockage illimité dans les blocs souterrains de StocaMine ; il s'agit de deux variantes, sans et avec mise en place de barrières ouvragées (scénarios A et B) ;
- pour le déstockage total, les sites de destination étudiés ont été les **sites souterrains allemands d'Heilbronn** (scénario C) **et de Herfa-Neurode** (scénario E), anciennes mines de sel autorisées à recevoir les déchets actuellement stockés dans le site souterrain de StocaMine ;
- variantes des précédents : déstockage total et restockage en sites allemands pour les déchets ultimes ainsi que sur le **site de surface de Drambon** pour les déchets dangereux (scénarios D et F) ;
- autres variantes enfin, pour le déstockage total et le restockage en sites allemands, à l'exception des déchets du bloc 15 laissés en place (scénarios Cbis et Ebis).

Les données utilisées pour analyser ces 8 scénarios sont issues des études réalisées préalablement à l'intervention de l'INERIS mais complétées pour que l'analyse soit aussi exhaustive que possible (comportement minier, comportement hydrogéologique, terme source, transport...).

La figure 64 présente la localisation des sites de stockage cités.

5.3. Éléments pris en compte pour la comparaison

Les étapes majeures identifiées dans ces scénarios ont rassemblé plusieurs tâches unitaires qui présentent des impacts ou risques pouvant être analysés de manière homogène comme :

- l'entretien minier ;
- les travaux d'édification des barrages et travaux connexes ;
- le reconditionnement et le transport jusqu'en surface ;
- le transport vers le lieu de stockage identifié ;
- le restockage dans le nouveau site.

Les types de risques associés à ces tâches sont :

- le risque minier, spécifique au contexte dans lequel le stockage se situe ;
- le risque mécanique (risque de dommage corporel sur les travailleurs), quelle que soit l'étape considérée (travaux de réalisation de barrières, déstockage, transport, restockage) ;
- le risque physico-chimique, consécutif à l'exposition des travailleurs aux substances chimiques contenues dans les déchets, également quelle que soit l'étape ;
- le risque de pollution accidentelle apparaissant lors des manipulations dans la mine (air extérieur) ou lors du transport d'un site à l'autre (air, cours d'eau, nappe, sol) ;
- le risque de remobilisation et transfert de polluants vers la nappe, l'air, les eaux de surface et ses implications (irrigation, consommation, contact).

A partir de tous ces éléments, les indicateurs globaux de risque ont été calculés pour chacun des scénarios examinés grâce à :

- une phase d'inventaire de toutes les étapes du scénario considéré ;
- dans chacune de ces étapes, une identification et une quantification des impacts potentiels ;
- et, pour chacun de ces impacts, l'évaluation du (ou des) valeur(s) des parts des indicateurs qui en découlent. A noter que certains impacts peuvent s'adresser à plusieurs catégories ; par exemple, une substance peut être toxique pour l'homme et donc contribuer à l'indicateur en DALY et également impacter la biodiversité et alors contribuer à l'indicateur en PDF.m².an.

Ces indicateurs ont été évalués, selon la nature et le type des données, par l'une des deux méthodes suivantes :

- soit sur la base de statistiques d'accidentologie (CdF, BTP, CRAM...) et de durées d'exposition (en personnes.an pour les travaux, par modélisation en cas d'accident routier...) ;
- soit par modélisation globale des effets des substances en utilisant un modèle intégrateur dit « de compartiment » (aquatique et terrestre) à l'échelle spatiale européenne sans notion de temps (modèle IMPACT 2002+ développé par l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne). S'agissant du risque sanitaire, ce modèle intègre les effets sur toutes les personnes exposées, travailleurs comme population générale.

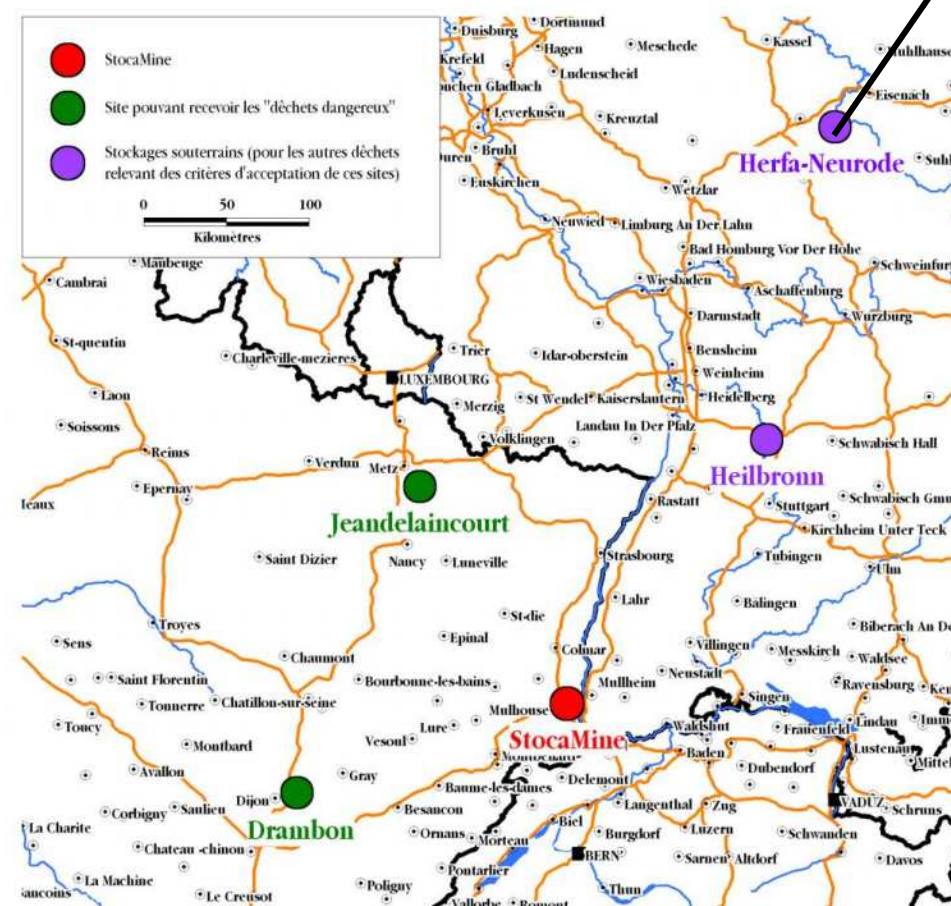


Figure 64 : Option de réversibilité, sites où re-stocker les déchets.

5.4. Résultats

Il faut rappeler que cette méthode de comparaison de scénarios ne prend pas en compte les aspects réglementaires, sanitaires ou environnementaux telles les valeurs limites, valeurs guides ou valeurs autorisées. Elle part simplement du fait qu'une masse de substance dans l'environnement produit un effet et que ces effets peuvent être traduits en indicateurs globaux de risques.

Elle permet toutefois **d'évaluer de manière homogène et simple la valeur de l'indicateur global de risque pour les scénarios examinés et donc des les situer les uns par rapport aux autres et de cibler celui qui présentera des risques cumulés les plus faibles parmi ceux étudiés.**

La comparaison des scénarios montre que l'impact environnemental ne constitue donc pas un élément discriminant du choix car il est similaire quel que soit le scénario considéré.

Par contre, des écarts notables apparaissent dans les impacts sanitaires, c'est donc ceux-ci qui vont orienter vers une solution présentant des risques moindres.

Concernant l'option d'un déstockage :

- Les polluants qui s'avèrent des facteurs déterminants pour l'impact sanitaire et environnemental global à long terme, relèvent des déchets qui doivent être nécessairement stockés en sous-sol (mine d'Heilbronn ou de Herfa Neurode). Les variantes (restockage des déchets de la catégorie déchets dangereux acceptables en surface, à Drambon ; déstockage hors bloc 15) ne changent pas de manière significative l'indicateur global.
- Les scénarios de déstockage/restockage dans la mine de Heilbronn sont l'objet d'une incertitude forte : l'exploitant du site postule que la mine de sel d'Heilbronn restera un environnement sec et ne subira pas d'ennoyage. Dans cette hypothèse, l'impact à long terme du stockage de déchets serait nul. Toutefois, la présence d'eau souterraine à proximité de la mine (nappe salée et aquifères d'eau douce) est avérée, et la mine communique avec une ancienne mine proche (1,5 km) qui a déjà fait, dans le passé, l'objet d'un envahissement accidentel par l'eau. Par conséquent, l'INERIS avance l'hypothèse qu'un ennoyage à long terme du site est probable comme pour le stockage souterrain de StocaMine (d'où des impacts potentiels similaires à ceux calculés pour le cas de StocaMine sans barrières).
- Le site d'Herfa-Neurode présente des caractéristiques plus favorables que celui de StocaMine ; les chambres de stockage pleines sont isolées par un mur de briques maçonnées ou séparées des autres par des barrières de sel ; chaque chambre est remplie quasiment jusqu'au toit, limitant les vides résiduels ; en cas d'ennoyage, le volume d'eau en contact avec les déchets sera donc faible. Il en résulte que l'impact obtenu est, parmi les scénarios étudiés, l'un des plus faibles, en termes d'effets sanitaires des déchets proprement dits, identique à celui du site souterrain de StocaMine avec barrières. Mais les phases d'intervention, manutention, reconditionnement et surtout de transport liés au déstockage ont un impact sanitaire non négligeable qui s'ajoute au précédent. Ce facteur est d'autant plus important dans le cas d'Herfa-Neurode qu'il s'agit du site le plus éloigné de StocaMine (au regard du site d'Heilbronn).

L'impact des opérations de déstockage-transport-restockage est aussi important que les effets à long terme, une fois les déchets re-stockés.

Concernant les deux options de confinement :

- Le scénario de stockage illimité en laissant le site en l'état est un scénario de base, qui n'était guère envisagé (la mise en place d'un confinement a toujours été envisagée voire préconisée [13]) Son impact sanitaire serait le plus marqué par rapport à tous les autres scénarios.
- Le scénario de stockage illimité avec barrières sur le site de StocaMine présente un indicateur de risque similaire à celui du stockage à Herfa-Neurode, si l'on ne considère que les effets à long terme du stockage. En revanche, les étapes de stabilisation de la mine et d'intervention pour mettre en œuvre des barrières et préparer la fermeture de la mine sont négligeables en termes d'impacts à court terme, comparativement aux opérations de déstockage-transports-restockage d'Herfa-Neurode.

L'option du déstockage des déchets nécessiterait la reprise, le réemballage, la sortie puis le transport des déchets stockés. Ces derniers devraient être re-stockés, pour partie en surface (déchets dangereux, stockage possible en France⁷²) mais également en souterrain (déchets spécifiques ne pouvant être stockés qu'en souterrain c'est-à-dire au plus proche en Allemagne).

La comparaison des deux solutions de devenir des déchets : maintien en place avec confinement ou stockage sur d'autres sites a été menée en considérant différents sites de restockages. La méthode retenue a pris en compte les risques environnementaux et sanitaires.

Par cette analyse, il est ressorti que le maintien en place des déchets AVEC CONFINEMENT PAR BARRIERES était celui présentant les impacts totaux, à court et long termes, les plus faibles.

⁷² : Les décharges sont classées

5.5. Comparaison complémentaire de déstockage

L'étude de comparaison des solutions de fermeture du site menée par l'INERIS a abordé les aspects de santé publique et d'environnement.

L'Etat a souhaité disposer par ailleurs d'un chiffrage de plusieurs scénarios de fermeture du site. **Quatre scénarios ont ainsi été choisis et estimés sur le plan financier.**

Les quatre scénarios étudiés se déclinent du confinement illimité sur place au déstockage complet, à l'exception du bloc 15 pour lequel il est admis de laisser les déchets en place, en passant par deux scénarios intermédiaires jugés pertinents dans la mesure où ils permettraient de retirer des proportions très significatives de mercure, le mercure étant apparu comme le polluant majeur lors de l'étude approfondie du stockage complet illimité réalisée par l'INERIS.

Ces estimations reposent principalement sur l'expérience encore présente au sein de StocaMine et des MDPA. Elles résultent aussi de nombreux échanges avec des sociétés ou des organismes compétents, afin de s'assurer de la prise en compte des contraintes de chaque scénario. Des devis ont été demandés en complément, ainsi une mise à jour de l'estimation des coûts a été réalisée récemment (juin 2013). La consultation d'entreprises spécialisées a permis également de mettre en exergue les questions de faisabilité technique, le cas étant unique en France.

Dans tous les cas, le **confinement** passe par la réalisation de barrières très performantes. Le confinement du site nécessite aussi de s'assurer qu'aucun autre cheminement ne peut permettre à l'eau polluée de sortir par d'autres voies à l'extérieur du stockage (traitement de l'ancien sondage de reconnaissance retrouvé dans le bloc 25, investigations complémentaires pour mesurer la perméabilité des terrains au-dessus du stockage et au niveau des barrages, injections éventuelles d'anciens trous de dégazage, creusement d'une galerie exutoire, remblayage de la zone confinée). Il s'agit là **d'opérations limitées, entrant dans les compétences d'entreprises connues, et maîtrisables.**

Le **déstockage** de tout ou partie des déchets du stockage nécessite de confiner les blocs concernés et de les maintenir en dépression avec une ventilation filtrante adaptée afin d'éviter de répandre des substances toxiques dans toute la mine et même à l'extérieur au cas - quasi certain - où des emballages viendraient à céder. Les opérateurs déstockant les colis devraient se protéger en permanence à l'aide de masques ventilés et de combinaisons étanches.

Les travaux à réaliser ne consisteront cependant pas seulement à extraire les colis de déchets mais aussi à :

- reconditionner au fur et à mesure les colis car les big bags ne sont plus à l'état neuf, nombreux seront ceux qui vont se déchirer et certains fûts sont corrodés,
- sortir au jour et expédier après contrôles et conditionnements adaptés les déchets vers un centre de stockage (de surface ou souterrain suivant les déchets),
- assurer la sécurité des opérateurs sur le plan minier au fur et à mesure qu'ils s'engageront dans les galeries et permettre aux engins de manutention de pouvoir intervenir. Le boulonnage des galeries suivant le déstockage et l'aplanissement simultané du sol seront requis.

Le maintien des déchets en place, sans déstockage, correspond ici au scénario 1.

Le déstockage a été envisagé à trois échelles :

- Scénario 2 : déstockage partiel avec retrait d'environ 56% du mercure

Il s'agit en pratique de déstocker la majorité des déchets classés mercuriels et arséniés contenus dans les blocs 21 et 22 en déplaçant un minimum de déchets amiantés.

L'option retenue propose de restocker dans les galeries ainsi vidées la majorité des autres déchets déplacés pour le besoin de l'opération mais ne contenant pas de mercure car il serait beaucoup plus cher de les sortir pour aller les stocker ailleurs (et leur impact environnemental potentiel est beaucoup plus faible).

- Scénario 3 : déstockage partiel avec retrait d'environ 90% du mercure

En sus de ce qui vient d'être évoqué précédemment, l'essentiel des déchets arséniés et mercuriels de la fin du bloc 22 et des blocs 23 et 12 seraient déstockés, la majorité des autres déchets serait laissés sur place.

*A partir du moment où un **risque de présence de fibres d'amiante dans l'air ambiant** est avéré, il faut alors passer par des mesures collectives et individuelles plus draconiennes car on rejoint les conditions d'un chantier de désamiantage : bloc en cours de déstockage entièrement sassy avec trois compartiments pour le matériel et cinq compartiments pour les personnels, protections individuelles avec combinaisons étanches et masques ventilés à apport d'air par tuyau. Cela conduit à des réductions de temps de présence au chantier pour les opérateurs et à une productivité encore diminuée, donc à des **rythmes de déstockage plus faibles**.*

Seules des entreprises spécialisées dans le domaine de l'amiante seraient habilitées à réaliser ces travaux qui constitueraient véritablement une première.

- Scénario 4 : déstockage complet (hors bloc 15)

*Ce scénario conduit à tout déstocker à l'exception du bloc 15, soit 8 blocs au lieu de 4 précédemment et à sortir tous les colis de déchets. Il s'agirait d'une **opération de très longue haleine** qui risquerait fortement de ne pas aboutir et de se terminer par le confinement prévu précédemment. Cet avis est aussi partagé par la majorité du Copil (Comité d'experts extérieurs qui a suivi l'avancement des différentes études menées pour le compte de StocaMine). En théorie, elle devrait néanmoins permettre **d'alléger considérablement les dispositifs de fermeture**, car le bloc 15 contient très peu de mercure, et des barrages plus simples et moins nombreux devraient permettre d'empêcher l'eau venant de la mine de traverser le bloc 15. Par contre, une nouvelle étude chimique serait à réaliser pour confirmer l'intérêt du stade final visé par ce scénario, en matière d'impact potentiel sur la nappe.*

En termes de faisabilité, le déstockage partiel est possible, d'ailleurs un retrait de colis du stockage avait déjà été effectué en 2001. Toutefois, le déstockage serait réalisé dans un chantier qui a bien souffert, au sein de galeries qui se sont en partie refermées sur les colis, avec des contraintes et des exigences de sécurité qui ont évolué. Le déstockage partiel est techniquement envisageable.

L'incertitude porte sur la durée du chantier du fait des contraintes de sécurité et donc les coûts d'entretien minier associés. Or plus la durée des travaux s'allongera plus le risque d'instabilité augmentera et donc les coûts de mise en sécurité et confortements. Ainsi, des doutes existent sur la faisabilité d'un déstockage important et a fortiori du déstockage total (+ incertitudes fortes sur la durée).

N.B. : La société K+S Entsorgung (principal stockeur mondial de déchets ultimes) qui gère le site d'Herfa-Neurode et qui a déjà réalisé des récupérations partielles, a clairement indiqué à StocaMine qu'elle ne pourrait pas réaliser une telle opération ici.

Le tableau 49 présente l'estimation financière des quatre scénarios. **Les estimations ci-dessous n'ont pas la prétention d'une grande précision mais permettent des comparaisons les plus cohérentes possibles.**

L'estimation financière des travaux associés à différents scénarios de fermeture considère que le déstockage partiel est une mesure prise pour renforcer la sûreté du confinement illimité et qu'il ne permet pas de s'affranchir d'un confinement poussé du site (pour le bloc 15 et les blocs éventuellement non déstockés).

Les longues durées de travaux induisent des surcoûts en termes de fonctionnement et entretien pour maîtriser l'augmentation des risques en souterrain pour le personnel intervenant.

Le projet retenu consiste à confiner le site. Toutefois, les travaux de déstockage d'une partie du mercure auront été préalablement réalisés, ce qui correspond au final au scénario 2 décrit ici.

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Déstockage	NON	Partiel (56% du mercure)	Partiel (90% du mercure)	Total hors bloc 15
Confinement	OUI	OUI	OUI	OUI mais dispositifs plus allégés
Postes principaux de dépense				
Déstockage - restockage	-	6 M€	25 M€	80 M€ (forte incertitude ± 21 M€)
Edification des barrières avec mise en œuvre en préalable d'un pilote et le remplissage des galeries et blocs vides	47 M€	47 M€	47 M€	11 M€
Entretien minier, frais généraux et frais d'études	37 M€	37 M€	39 M€	57 M€ (forte incertitude ± 15 M€)
Activités StocaMine	10 M€	10 M€	10 M€	12 M€
TOTAL	94 M€	100 M€	121 M€	160 M€
Durée travaux depuis dépôt du dossier	7 à 8 ans	7 à 8 ans	8 ans	9 à 14 ans
Faisabilité	Connue	Probable	Incertaine	Très incertaine

Tableau 49 : Comparaison financière de 4 scénarios de fermeture (source : MDPa / StocaMine)

6. MESURES ENVISAGEES POUR SUPPRIMER, LIMITER, ET SI POSSIBLE COMPENSER LES INCONVENIENTS DU PROJET – MESURES DE SURVEILLANCE

6.1. Maîtrise des risques

Le projet est déposé en incluant la mise en place de barrières de confinement sur l'ensemble des galeries d'accès au stockage souterrain, qui sont les liaisons entre la mine de potasse (dont on a vu qu'elle serait remplie progressivement de saumure) et la zone de stockage des déchets.

Ces ouvrages constituent la principale mesure de maîtrise du risque associée au projet. Comme on l'a déjà indiqué dans le présent dossier, l'INERIS a permis de préciser le rôle de ces barrières : mettre à profit le ralentissement du fluage dans le temps et limiter ainsi les débits potentiellement mobilisables de saumure polluée.

Les paragraphes ci-dessous présentent les mesures qui devront être prises pour s'assurer de leur efficacité future.

En complément des barrières, les études menées ont mis en évidence :

- la nécessité de traiter les éventuels trous de sondages traversant le site de stockage (un seul ouvrage correspond à ce critère),
- l'intérêt de remblayer les galeries de StocaMine,
- l'intérêt de favoriser un chemin extérieur au stockage pour l'écoulement des venues d'eau de la phase d'ennoyage.

Tous ces éléments ont pour objectif le **confinement** du site pour sa transformation en stockage de durée illimitée.

Alors que la solution d'un déstockage complet des déchets n'a pas été retenue suite à l'étude sur les alternatives au projet, la possibilité de retirer une partie des déchets contenant du mercure a été spécifiquement étudiée dans la mesure où le mercure apparaissait comme l'élément le plus critique en cas de remontée de contaminant. A la demande de l'état cette mesure sera réalisée. Au moment où ce dossier est déposé, le tonnage qu'il sera possible d'extraire n'est pas connu, c'est pourquoi les calculs d'impact ont été faits en considérant que la totalité des déchets étaient présents.

6.1.1. Mesure préalable : sortie partielle des déchets contenant du mercure

6.1.1.1. Principe étudié

Tous les déchets descendus dans les blocs de stockage de StocaMine ont été analysés, classés par catégorie et des plans précis de leur localisation ont été dressés. Il est donc possible de connaître l'emplacement des différents colis et leur contenu. Notons également que la sortie de certains déchets du bloc 11 avait été réalisée en 2001. Ce type de manipulation a donc déjà été réalisé, toutefois il faut rappeler l'existence de deux contraintes majeures :

- la mauvaise tenue du toit de certains blocs de stockage,
- la présence d'amiante dans certains déchets, or l'amiante a un caractère volatile qui rend dangereux la manipulation de ce genre de déchets, si les emballages ne sont pas totalement étanches.

Des mesures de consolidation des galeries de stockage dans lesquelles des interventions sont prévues devront donc être engagées. La manipulation de colis amiantés devra être le plus possible évitée.

Ces deux contraintes étant posées, et suite à l'étude menée par les MDPA (coûts, durées, difficultés des différentes options de déstockage) une étude précise des modalités envisageables pour le retrait de la majorité des déchets riches en mercure a été réalisée par BMG [74].

Le mercure est essentiellement présent dans les déchets de catégorie B3 et B5 (déchets arséniés et déchets mercuriels) et ceux-ci sont inégalement répartis dans le stockage. Ceci est un paramètre intéressant qui permet d'indiquer que l'essentiel de la masse de mercure stockée est située dans le bloc 22 (estimation $\approx 56\%$ de la masse total de mercure) et dans les blocs 21 et 23 ($\approx 14\%$ dans chacun d'eux). Les blocs 11, 12, 13, 14, 15 et 24 en contiendraient moins ($\approx 16\%$ de la masse de mercure répartis dans ces 6 blocs).

Plusieurs variantes ont été proposées, les différences concernant le nombre de blocs à déstocker (tous, tous sauf le bloc 15, seulement les blocs 21 et 22). Ces variantes ont été analysées en termes de tonnage extrait, manipulation de colis amiantés, compatibilité avec l'aréage, organisation logistique.

Le déstockage des déchets mercuriels et arséniés des seuls blocs 21 et 22 apparaît comme la solution avec le meilleur rapport entre efficacité et risques.

Il est ainsi prévu de déplacer les déchets ne contenant pas de mercure pour accéder aux déchets avec mercure, seuls ces derniers seront sortis du stockage (après reconditionnement). Au total, il est envisagé de déstocker plus de 4000 colis et pour ce faire d'en déplacer 4500 autres. Ainsi, si le déstockage prévu est mené à bien, environ 56% du mercure serait extrait du stockage.

Au fond, après équipement de la zone à traiter (avec notamment aérage spécifique en aspiration, avec filtration) les déchets seront déplacés et réemballés. Ces manipulations nécessitent que le personnel d'intervention soit muni d'équipements de protection individuelle renforcés (EPI). Les colis à déstocker seront transportés par camions jusqu'à la base du puits Jospeh. Ils seront ensuite remontés par le puits.

Au jour, les déchets remontés seront stockés temporairement puis transportés vers les sites de stockage acceptant ce type de déchets.

Ces travaux nécessiteraient un effectif d'une trentaine de personnes. Hors études et travaux préalables, l'étude réalisée envisage le déstockage partiel des blocs 21 et 22 en environ un an et demi.

6.1.1.2. Intérêt d'une sortie partielle des déchets riches en mercure – demande de l'Etat

Les modélisations sur les concentrations en polluants pouvant atteindre la nappe alluviale d'Alsace ont mis en évidence que le mercure ressortait comme un élément très défavorable pour lequel on calculait des teneurs inférieures aux valeurs-seuils, mais relativement proches du bruit de fond actuel.

Ayant constaté qu'une grande partie des déchets riches en mercure étaient localisés dans les blocs 21 et 22 et qu'une manipulation réduite des colis amiantés était possible, l'hypothèse d'un retrait d'une moitié du tonnage du mercure a été étudiée en terme de variation de l'impact potentiel sur la nappe d'Alsace.

Le terme-source a été réévalué en conséquence [75]. En retenant l'hypothèse d'un retrait d'environ 45% de la masse de mercure (la dernière estimation, plus fine, conduit à un potentiel de 56% du mercure) l'étude géochimique conclut que les concentrations en mercure à l'équilibre dans la saumure avec le massif de déchets seraient diminuées d'un facteur 2. Un facteur de sécurité supplémentaire pour éviter tout dépassement des valeurs de référence pour le mercure apparaît donc avec le retrait partiel du mercure. Il a été vérifié que cette modification des masses restant stockées n'augmenterait pas l'impact potentiel des autres contaminants⁷³.

Ce résultat ayant été présenté aux services de l'Etat, ainsi que la comparaison MDPA de plusieurs scénarios de fermeture (cf. chapitre 5.5), l'Etat a demandé à StocaMine de mettre en œuvre le second scénario c'est-à-dire d'organiser le déstockage de la majorité des déchets mercuriels et arséniés contenus dans les blocs de stockage 21 et 22 (courrier du 14 Décembre 2012). L'administration (DREAL) a été informée de cette décision qui, pour être réalisée, ne nécessite qu'une modification de l'arrêté préfectoral initial portant sur les durées d'entreposage des colis, à la base du puits et dans le hangar de StocaMine (source : StocaMine, pas d'étude d'impact spécifique à fournir).

⁷³ Cette étude montre que, par contre, un retrait plus important du mercure changerait les équilibres chimiques dans la saumure au contact des déchets. L'intérêt de la réduction des concentrations en mercure serait contrebalancé par une augmentation des teneurs en Cd, Co et Ni.

6.1.2. Mesures de confinement pour la fermeture du stockage

6.1.2.1. Mise en place de barrières ouvragées sur les galeries d'accès au stockage

a - DESCRIPTION ET MISE EN PLACE

Lors de la création de StocaMine, la fermeture des quartiers de stockage était prévue en mettant en place des serements (deux murs maçonnés distants de 5 à 6 mètres, l'espace entre ces deux murs étant ensuite rempli de béton). Ce principe est décrit dans le Dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter (DDAE, [1]).

Dans la tierce-expertise de l'INERIS [13] lors de l'examen du DDAE d'origine en 1996, il est précisé que la fermeture des galeries devait s'envisager en plaçant des barrages au plus près de la zone de stockage de manière à créer une zone confinée sans entraver la circulation de la saumure qui monte au sein des vides miniers.

Les études récentes réalisées par l'INERIS ont bien précisé que l'objet de ces barrages ne peut être d'empêcher tout passage à long terme de la saumure (ce qui serait difficile de garantir) mais de **retarder autant que possible l'envoyage de la zone de stockage et de réduire le débit de la saumure polluée sortant du stockage.**

Pour assurer cela, la solution de barrages à l'instar de ce qui est étudié dans les sites de stockage en mines de sel d'autres pays européens est actuellement examinée.

Position des ouvrages et travaux préalables :

Il est prévu de mettre en place des « barrages » ou « barrières » sur l'ensemble des accès au stockage (cf. chapitre 1 et figure 65).

Ces accès sont constitués de galeries simples ou deux galeries côte à côte reliées entre elles (= « galeries doubles »). On dénombre ainsi 11 points d'accès, représentant un total de 19 galeries. Un des points d'accès est constitué d'une galerie « double » et d'une galerie simple, très proche.

Sur les galeries doubles, du fait de la proximité des deux galeries, il est prévu un seul barrage, de la largeur des deux galeries. Ainsi il est prévu 12 barrages (cf. figure 65).

La position précise des ouvrages sera à affiner en fonction de leurs longueurs et des caractéristiques des galeries.

En effet il sera nécessaire de vérifier l'état du toit et des parements de la zone de stockage et des galeries d'accès pour optimiser la position des barrages, la sécurité des travailleurs et éliminer le risque potentiel d'un transport de polluants à travers la zone dégradée entourant les galeries.

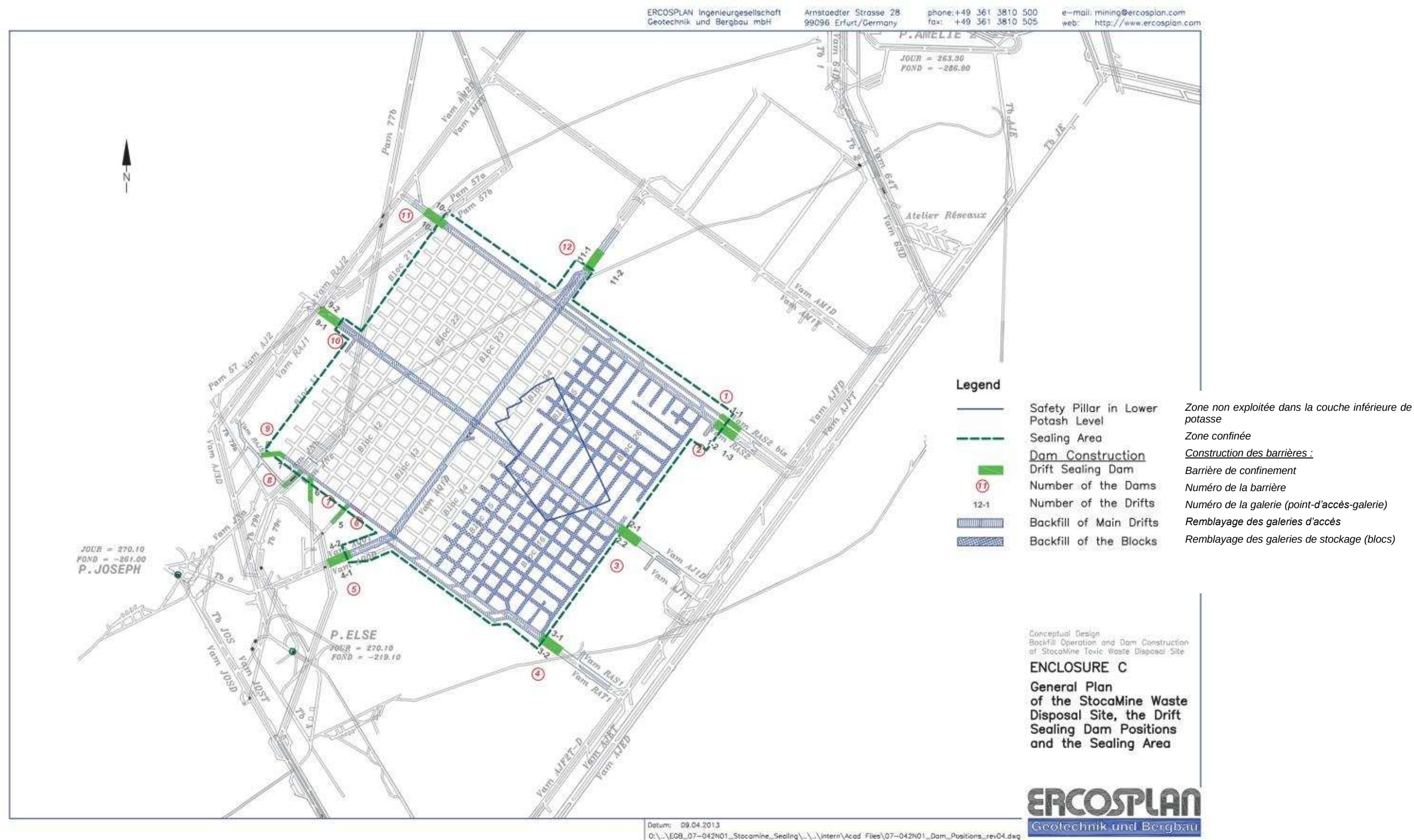


Figure 65 : Projet de confinement du site de stockage (source : Ercosplan, étude en cours).

L'endoscopie (au maximum jusqu'à la couche de marne) vérifiera que l'extension du décollement du toit du stockage n'atteint pas le niveau de l'exploitation sus-jacente et laisse bien une distance de garde suffisante sans aucune possibilité de communication hydraulique. Dans le cas contraire, la barrière ouvragée sera déplacée, la zone endommagée supprimée par sur-excavation ou des moyens de traitement in situ mis en œuvre. L'objectif est de s'assurer que la perméabilité de la roche autour des barrages ne dépasse pas celle des barrages eux-mêmes (typiquement 1.10^{-18} à 1.10^{-19} m², soit 1.10^{-11} à 1.10^{-12} m/s).

Soulignons que la performance de ces barrages devra permettre de retarder d'environ 1000 ans la sortie de saumure depuis le stockage. Ainsi, cette sortie réduite de polluant sera diluée dans un premier temps dans les vides miniers par la saumure contenue dans la mine puis dans la nappe d'Alsace, conduisant alors à une concentration des substances dans l'aquifère bien inférieures aux critères de qualité d'origine réglementaire (c'est-à-dire demeurant à un niveau comparable au bruit de fond actuel).

La conception des barrages sera confiée à un bureau d'ingénierie spécialisée et le contrôle de leur réalisation à un bureau de contrôle indépendant.

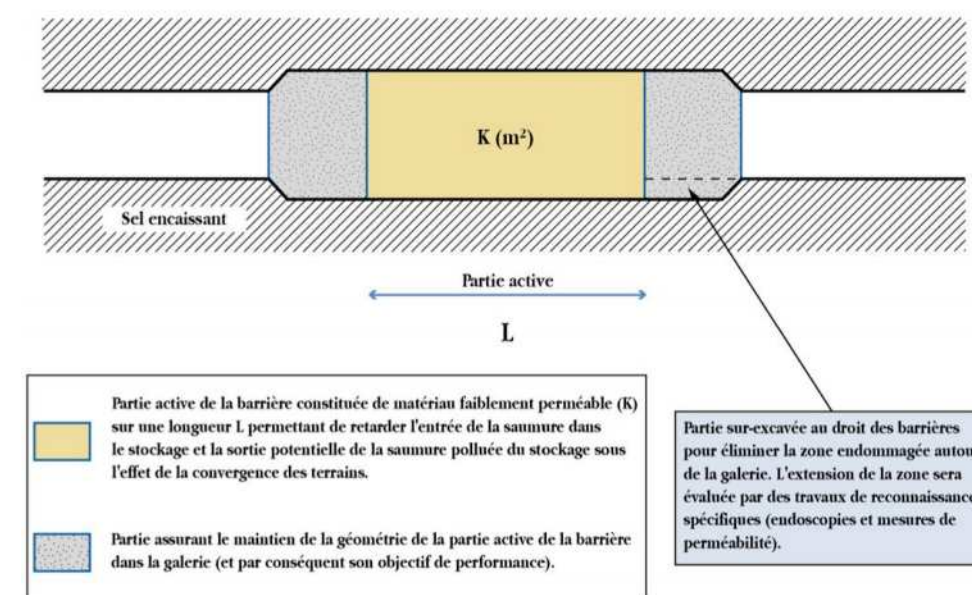


Figure 66 : Schéma de principe des barrières de confinement (cf. prescriptions INERIS).

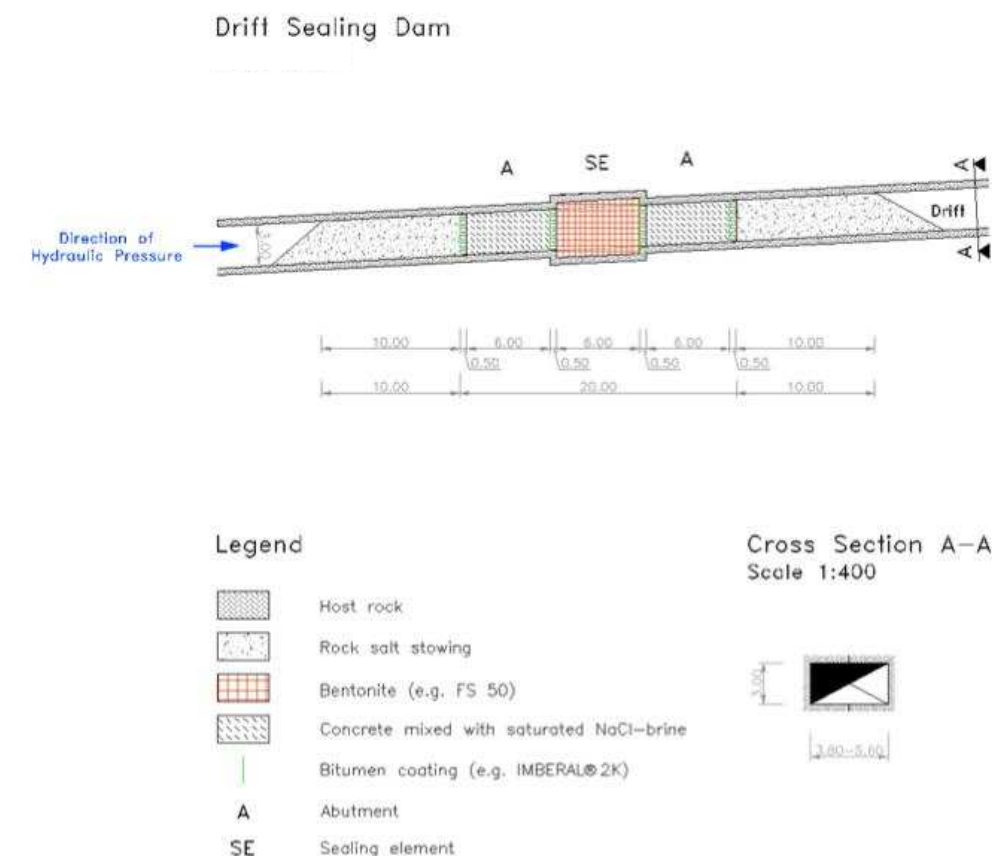


Figure 67 : Exemple de barrière de confinement (études d'avant-projet Ercosplan, [77]).

b - POINTS D'ATTENTION ET FACTEURS FAVORABLES

Points d'attention :

Pour la réalisation des barrages, une attention particulière devra être apportée aux points suivants :

- Des mesures in situ réalisées aux Etats Unis et en Allemagne ont montré que la présence d'une zone endommagée autour des galeries d'accès au stockage peut conduire à une augmentation significative de la perméabilité du sel et permettre le passage préférentiel de la saumure polluée. Il est donc nécessaire d'interrompre cette zone par une sur-excavation (voir 3.5.1.2) sans créer de nouvelles fissurations et/ou instabilités mécaniques ;
- En cas d'utilisation de bentonite⁷⁴, il est connu que ses propriétés sont moins performantes en présence de saumure qu'en présence d'eau, tout en restant satisfaisantes et très peu perméables ; l'influence du fluide d'hydratation sur divers bentonites devra être examinée avant de choisir celle qui sera mise en œuvre ;
- Le nombre des voies d'accès au stockage est élevé et un nombre important de barrages devra être construits dans des voies simples, doubles ; compte tenu du caractère délicat de cette opération, des moyens importants devront donc être engagés, des précautions organisationnelles seront prises et l'attention et le contrôle devront être soutenus.

Facteurs favorables

Dans le cas de barrières ouvragées à base de bentonite, principe largement étudié dans le contexte du stockage de déchets (déchets radioactifs ou déchets du même type que ceux stockés ici, dans des mines de sel d'autres pays européens), il faut noter que cette dernière présente plusieurs propriétés favorables :

- une très faible perméabilité, typiquement $10^{-18} / 10^{-20} \text{ m}^2$ ($10^{-11} / 10^{-13} \text{ m/s}$) ;
- une aptitude au gonflement lors de son hydratation contribuant au confinement de la paroi des galeries et donc à la diminution de la perméabilité du milieu ;
- une succion (pression capillaire) très importante pouvant atteindre plusieurs dizaines de MPa (du fait de la très petite taille de pores, micrométrique à nanométrique). Ainsi l'hydratation de la bentonite est difficile et très lente ;
- une capacité d'adsorption et d'échanges cationiques permettant la rétention de certains éléments polluants (facteur de sécurité difficile à quantifier et donc non pris en compte dans les calculs en dépit de son effet bénéfique) ;
- enfin, l'augmentation de la densité de la bentonite par le fluage des parements du stockage conduisant à une réduction de la perméabilité des barrages dans le temps.

A cela s'ajoutent les propriétés favorables du sel :

- la cicatrisation (healing) des fissures sous contrainte, notamment en présence de saumure, conduisant à une diminution progressive de la perméabilité de la zone endommagée, en particulier sous confinement ;
- la possibilité d'une fermeture des galeries devenant étanches qui pourrait conduire au piégeage d'une partie de la saumure.

Notons enfin que les déchets n'ayant pas nécessairement un comportement de fluide visqueux comme le sel, le fluage du stockage peut être ralenti, voire arrêté, dans le temps ce qui constituerait un facteur très favorable pour la sûreté du stockage et emprisonnerait dans la porosité résiduelle des déchets une part de la saumure polluée.

⁷⁴ : Dénomination commerciale des argiles gonflantes dont les plus performantes sont les smectites ; argiles possédant une très faible perméabilité et une aptitude au gonflement lors de leur hydratation.

6.1.2.2. Maîtrise des risques liés aux sondages

Sondages de reconnaissance :

La couche de sel située au-dessus du stockage est un horizon naturellement imperméable. Néanmoins, elle a été traversée par plusieurs sondages anciens réalisés depuis la surface pour la reconnaissance du gisement de potasse. Parmi ces sondages, un seul ouvrage apparaissait comme pouvant recouper la zone de stockage : le sondage WIII. Il a été réalisé en 1905 et rebouché à l'époque par injection d'argile dans la boue de forage

Une étude spécifique réalisée par l'INERIS fin 2011 a pris en compte deux hypothèses : un remblayage du sondage sur toute sa colonne (et donc également dans le secteur du stockage) avec un matériau solidifié ou un remblayage ne constituant pas une barrière efficace à l'écoulement (boue).

Dans le premier cas (sondage remblayé jusqu'au stockage et matériau solidifié), l'étude montre que ce sondage ne constituerait pas une voie de transfert de saumure polluée, car le débit de saumure polluée pouvant s'y infiltrer depuis le stockage et migrer vers des horizons supérieurs de travaux miniers anciens serait négligeable comparé au débit de sortie à travers les barrages.

Dans le deuxième cas en revanche, l'étude indique que le sondage pourrait constituer une voie de transfert de la saumure polluée entre le stockage et l'ancienne exploitation sus-jacente, du fait du fluage, pour peu que l'écoulement puisse se faire du stockage vers le sondage.

Ce sondage n'étant pas visible au sein du site de stockage il devait être recherché pour l'étudier plus précisément.

Des dispositions ont été prises pour localiser le sondage WIII et vérifier l'état de son matériau de remplissage (avril 2013). Ce sondage a effectivement été retrouvé au toit d'une recoupe. Il est totalement sec mais n'est que partiellement remblayé entre l'horizon de stockage et celui de la couche inférieure de potasse sus-jacente exploitée. **Des mesures seront donc prises pour assurer son étanchéité (injection).**

Trous de « dégazage » :

Des trous de sondages dits « trous de dégazage de grisou » étaient réalisés au fond, dans le toit des galeries des MDPA, y compris dans les chambres de stockage de déchets au moment de leur réalisation, dans le but de faire baisser la pression de gaz dans les terrains.

Ces ouvrages ne font que quelques mètres de longueur et sont de diamètre réduit toutefois les résultats de l'étude réalisée par l'INERIS [67] indiquent que la fermeture complète (par fluage) des trous de dégazage n'interviendra que dans 5 à 6 siècles ; ils ne seront donc pas entièrement fermés lorsque le niveau d'ennoyage atteindra le toit du stockage, selon les hypothèses actuelles.

Deux points doivent donc être examinés :

- la possibilité d'un transfert vertical de fluide depuis le stockage vers l'ancienne exploitation minière sus-jacente par l'intermédiaire de ces sondages ;
- un transfert horizontal de sondage à sondage de part et d'autre d'une barrière de confinement par le biais du décollement des bancs et des fissures.

Concernant le premier point, on peut préciser que les trous de dégazage ont été forés au maximum jusqu'à la base de la couche de marne située à une dizaine de mètres au-dessus du toit du stockage et **une distance de garde persiste donc entre les trous et l'exploitation minière sus-jacente.** Les matériaux constituant cette distance de garde (marnes et sel non exploité) ne sont pas de nature à permettre une communication hydraulique, dans le sens vertical, entre le stockage et les vides miniers de l'exploitation.

Par contre, la possibilité de transfert horizontal (en cas de décollements ou de fissures) demeure une hypothèse possible (si les fissures en question sont aussi longues que les barrières), c'est pourquoi il est prévu de traiter les trous de sondages qui seraient situés de part et d'autre des barrières en les injectant de coulis adapté.

6.1.2.3. Limitation de la sollicitation des barrages en phase d'ennoyage

Pendant la phase d'ennoyage, du fait de la proximité des puits Joseph et Else, de l'eau encore partiellement douce provenant de ces puits pourrait atteindre les barrières délimitant le stockage sur son flanc ouest. L'eau aurait tendance à s'accumuler : un risque de dissolution partielle du sel apparaît donc sur les secteurs accessibles gravitairement par l'eau. Cette dissolution pourrait altérer l'ancrage des barrières.

Afin d'éviter la sollicitation des barrages pendant la phase d'ennoyage, il est possible de favoriser la circulation de la saumure depuis les puits jusqu'à la mine en creusant une galerie qui permettrait une évacuation gravitaire depuis les puits vers les galeries existantes sans passer par les accès au stockage (cf. Figure 68).

Le positionnement de cette « galerie exutoire » a été déterminé après étude du trajet potentiel de l'eau depuis les puits Joseph et Else, en fonction des cotes des différentes galeries, il est représenté sur la figure 68.

Creusement d'une galerie d'exutoire

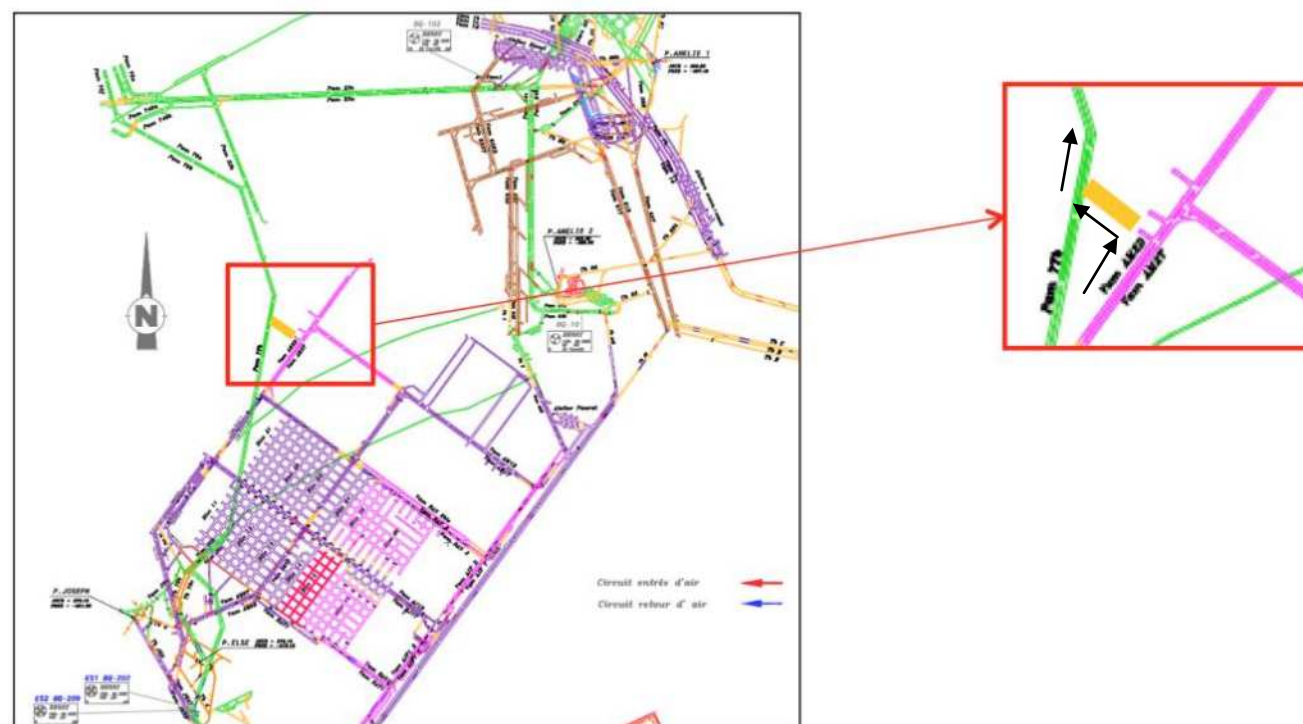


Figure 68 : Galerie favorisant un court-circuit hydraulique (source : StocaMine).

6.1.2.4. Remblayage du stockage

Les zones à remblayer sont représentées sur la figure 65.

Le remblayage permettra de limiter les instabilités du toit du stockage, risques qui apparaissent notamment pour les blocs situés à 25 m sous la couche de potasse (blocs 15, 16, 25 et 26).

Il aura également pour rôle d'assurer, par la porosité des matériaux, un effet retard supplémentaire dans la progression de la saumure, dû à un volume plus important de vides à remplir (estimé à environ 20 000 m³).

De plus, comme le mercure est supposé se dissoudre totalement, la concentration en mercure dans l'enceinte du stockage sera réduite par rapport au scénario de référence avec seulement 3 000 m³ de saumure constituant le « terme source »⁷⁵.

Rôle sur la stabilité :

Les blocs 15, 16, 25 et 26 présentent un toit instable très affecté par le décollement des bancs, pouvant donc donner lieu, à terme, à une descente importante du toit sur toute la hauteur du bloc (2,8 m). Ces instabilités résultent d'un approfondissement des traçages de 2 m environ qui positionne le toit des galeries dans un niveau de sel instable (alors que 2 mètres plus haut un banc salifère massif et rigide assure la stabilité du toit). Les observations in situ montrent que la zone instable se limite à cette tranche de 2 mètres. Toutefois, ces blocs n'étant pas comblés par des déchets (ou partiellement pour le bloc 15), afin de limiter la possibilité de la progression de ce décollement, dans le temps et dans l'espace, vers le niveau d'exploitation sus-jacent, l'INERIS préconise par précaution un remblayage de ces blocs non remplis de déchets à l'aide d'un matériau inerte. Les endoscopies réalisées dans les galeries les plus larges des galeries d'infrastructure du stockage montrent aussi que le toit y présente aussi des décollements.

Ce matériau de remblayage aura pour vocation de limiter la descente du toit. Cette disposition, ayant pour objectif de préserver l'intégrité de la partie supérieure du toit du stockage qui n'est pas encore affecté par un décollement, l'INERIS précise que cette recommandation pourra être modulée en tenant compte des investigations complémentaires prévues.

L'exploitant MDPA préconise donc, pour la même raison, de combler les galeries d'infrastructures internes du stockage.

⁷⁵ : concentration = masse / volume, pour la même masse de mercure, la concentration est divisée par 3 pour un volume 3 fois plus important.

Maintien d'une porosité retardant la progression de la saumure dans le stockage :

Dans le cadre des études de conception des barrières de confinement, les modélisations géomécaniques d'ITASCA [76] ont montré l'intérêt d'un remblayage des blocs non stockés et des galeries d'accès à la zone de stockage dans le but de limiter les risques d'instabilité mais aussi de maintenir une porosité dans l'environnement et au sein du stockage.

Le remblayage des blocs aurait un intérêt essentiellement lorsque la saumure aura réussi à traverser les barrières, c'est-à-dire au bout de plusieurs siècles, en considérant que les matériaux de remblayage auront gardé une certaine porosité malgré le fluage du sel. Ainsi, le temps pour que la saumure envahisse cette porosité (d'abord pour atteindre les déchets puis dans le sens contraire) permettra de retarder la sortie potentielle de saumure polluée.

Cette mesure, assurant une sécurité supplémentaire par rapport aux calculs réalisés par l'INERIS⁷⁶, est envisagée par StocaMine.

Les travaux associés sont conséquents, le volume de matériau étant estimé à environ 55 000 m³ pour le remplissage des galeries et autour de 90 000 m³ pour les parties non stockées des blocs (estimation Ercosplan).

Le choix des matériaux n'est pas encore arrêté. Ceux-ci devront être adaptés au contexte géologique : encaissant salifère et contact à long terme avec une saumure saturée.

6.1.2.5. Fermeture des deux derniers puits

Seuls deux puits (Joseph et Else) sont encore ouverts sur l'ensemble des 15 puits d'accès au secteur ouest des MDP. La qualité de traitement et l'étanchéité de ces derniers puits ne sont pas de nature à modifier sensiblement l'impact du stockage sur la nappe d'Alsace : en effet, si l'étanchéité de ces puits était assurée, la saumure emprunterait le chemin à plus faible résistance hydraulique offert par les trois autres puits proches du stockage et déjà remblayés (Amélie I, Amélie II et Max). Toutefois, les progrès techniques en matière de comblement des puits seront mis à profit pour limiter les possibilités de venues d'eau douce par les puits Joseph et Else.

En effet, pendant la phase d'ennoyage, toutes les solutions permettant d'éviter que de l'eau douce n'atteigne les barrières de confinement du stockage sont intéressantes pour éviter des phénomènes de dissolution partielle du massif d'ancrage des barrages.

Les techniques actuellement envisagées consisteraient notamment à faire une couronne d'injection à la base de la zone cuvelée et éventuellement de remplir la totalité des puits au-dessus des bouchons de tête des recettes fond au moyen d'un coulis cendre/ciment (cf. figure 69).

Malgré le fait que les études réalisées n'aient montré, en présence de tous les déchets, qu'un très faible risque de dépassement des valeurs du bruit de fond de la nappe d'Alsace dans l'hypothèse d'un confinement du site de stockage par des barrières de très faible perméabilité, des mesures de protections complémentaires vont être mises en œuvre :

- retrait d'une partie des déchets contenant du mercure (si possible 56%),
- remblayage des blocs restés vides et des galeries d'infrastructure du stockage ,
- creusement d'une galerie exutoire entre les puits Joseph et Else et la mine,
- couronne d'injection à la base du cuvelage de ces puits pour limiter le débit d'infiltration pendant la phase d'ennoyage.

(Ces deux dernières actions visant à limiter le contact entre une eau non saturée en sel et les barrières de confinement du stockage souterrain).

⁷⁶ : Le volume de vide des matériaux de remblayage ne remet pas en cause le calcul du terme-source car les concentrations calculées sont essentiellement des concentrations de saturation. Pour le mercure, la concentration serait plus faible dans l'hypothèse d'un volume de vide plus élevé (mercure : dissolution complète dans le volume de saumure dans le stockage).

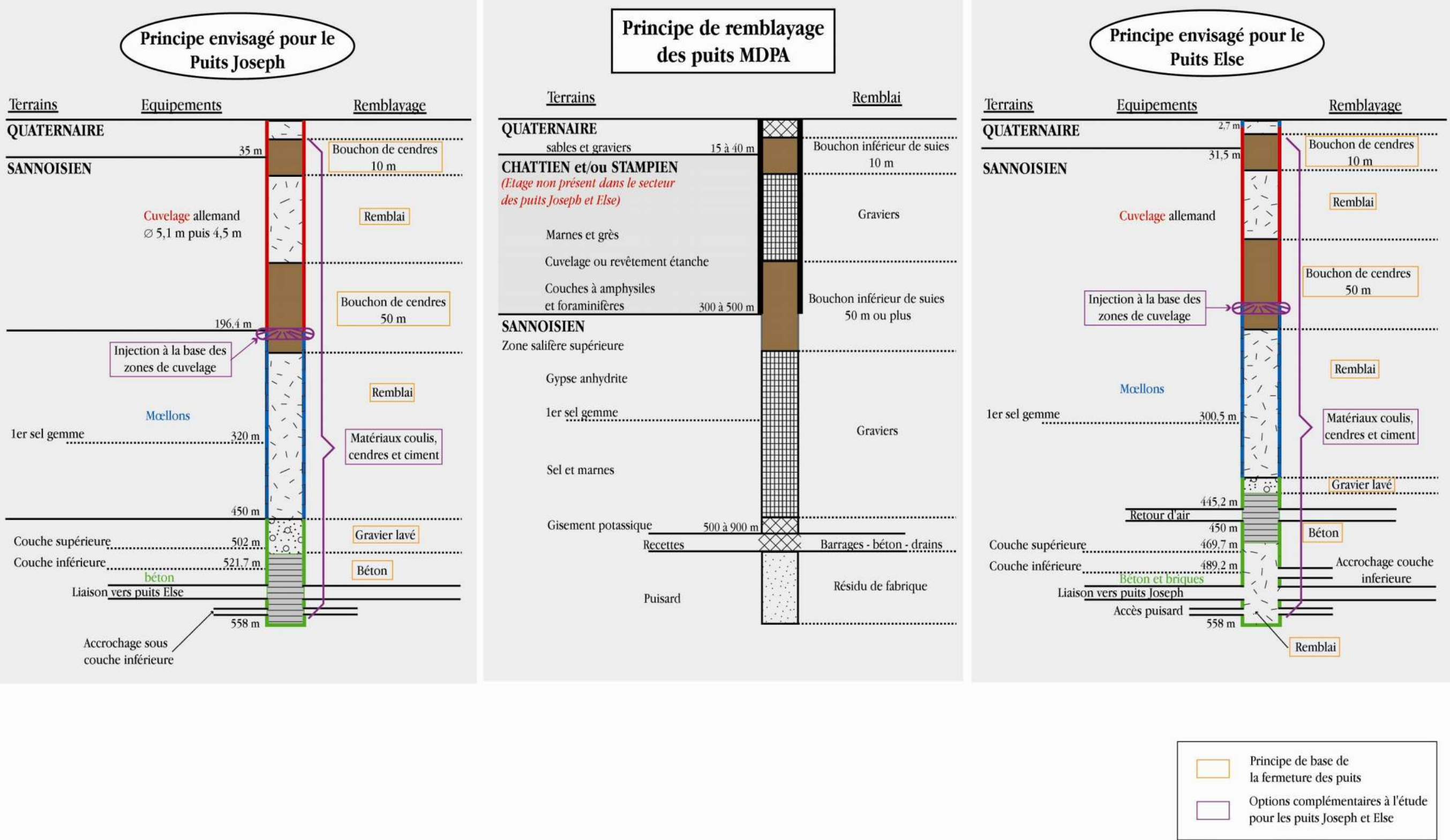


Figure 69 : Schéma de principe, fermeture des puits Joseph et Else.

6.2. Dispositions relatives au suivi et moyens d'intervention

Toutes les dispositions qui sont données dans ce chapitre sont évidemment fondées sur les connaissances et technologies disponibles au moment de la rédaction. Etant donné les études prévues et les phénomènes attendus à moyen ou long terme, il sera nécessaire d'actualiser ces dispositions et données, dans l'avenir, en fonction de l'évolution des connaissances et technologies.

Les études entreprises, les compléments qui seront réalisés d'ici la mise en œuvre des barrages et la mise en œuvre des barrages eux-mêmes ne dispensent pas de vérifier que le comportement prévu est au moins conforme à ce qui est attendu. La surveillance de l'ennoyage, à mettre en place au plus vite, en fait naturellement partie.

6.2.1. Suivi de l'ennoyage

L'ennoyage du secteur ouest des MDPAs hébergeant le stockage a vraisemblablement commencé depuis les années 1950, à l'occasion de la fermeture des premiers puits. Toutefois, le niveau et la vitesse de l'ennoyage ne peuvent pas être actuellement précisés faute de dispositif de mesure. Ce point a d'ailleurs été soulevé par le COPIL durant les échanges et dans son rapport. Il est donc prévu de mettre en place un système de surveillance piézométrique à long terme. Cela demandera la réalisation de forages traversant les secteurs susceptibles d'être ennoyés et non encore entièrement fermés. Ils seraient équipés en piézomètres et devraient être entretenus pendant plusieurs siècles, au moins jusqu'à la fin de l'ennoyage. A court terme, les données recueillies permettraient d'ajuster les modèles prédictifs et d'affiner la prévision de l'impact du stockage sur la longue durée.

Plusieurs positions pour l'implantation d'un premier forage destiné à mesurer le niveau d'ennoyage au sein de la mine ont été examinées par MDPA fin 2011 [70]. En résumé, le secteur ouest de l'exploitation est composé de 7 blocs différents en cours d'ennoyage, reliés entre-eux à certains niveaux ; le stockage se situe dans le bloc de la mine Amélie.

Trois critères proposés par ce rapport ont prédisposé au choix de la position du forage :

- être suffisamment profond pour pouvoir suivre d'abord la montée des eaux de son propre bassin, puis celles des autres bassins de remplissage latéraux par des communications profondes ;
- être, si possible, en eau dès la mise en service afin de lever le doute sur la communicabilité entre bassins et la fermeture naturelle de la taille ;
- se situer dans une zone non urbanisée limitant ainsi les nuisances au tiers et permettant l'instauration de servitudes d'accès moins contraignantes pour l'existant.

Au vu de ces critères, le secteur minier visé (validation à obtenir auprès des administrations concernées) est représenté sur la figure 70.

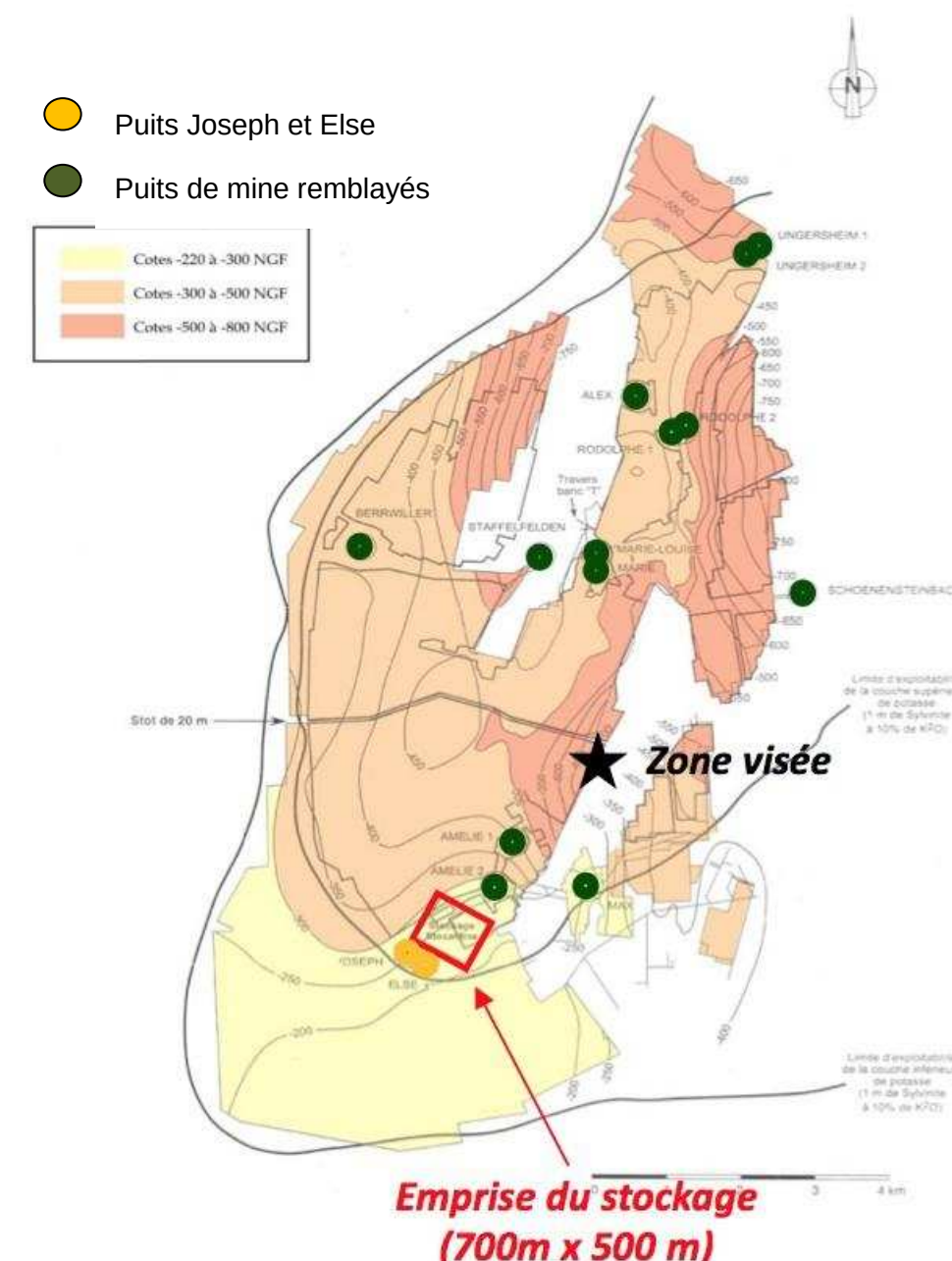


Figure 70 : Forage de surveillance de l'ennoyage (source : MDPA)

Le forage atteindra la profondeur de 930 mètres. Il sera réalisé en plusieurs phases permettant la mise en place de tubages cimentés assurant son étanchéité. Seuls les 80 derniers mètres seront crépinés. Le fluide de forage sera adapté au contexte géologique (boue bentonitique jusqu'au toit du sel puis boue salée saturée).

On peut préciser que le site retenu est éloigné de toute habitation, accessible par un chemin communal existant (figure 71). L'emprise nécessaire à la plate-forme de forage (stockage du matériel de forage, engins et bungalow pour l'équipe de forage) ne représentera qu'une surface d'environ 1600 m². Il n'engendrera donc pas de gêne en surface.

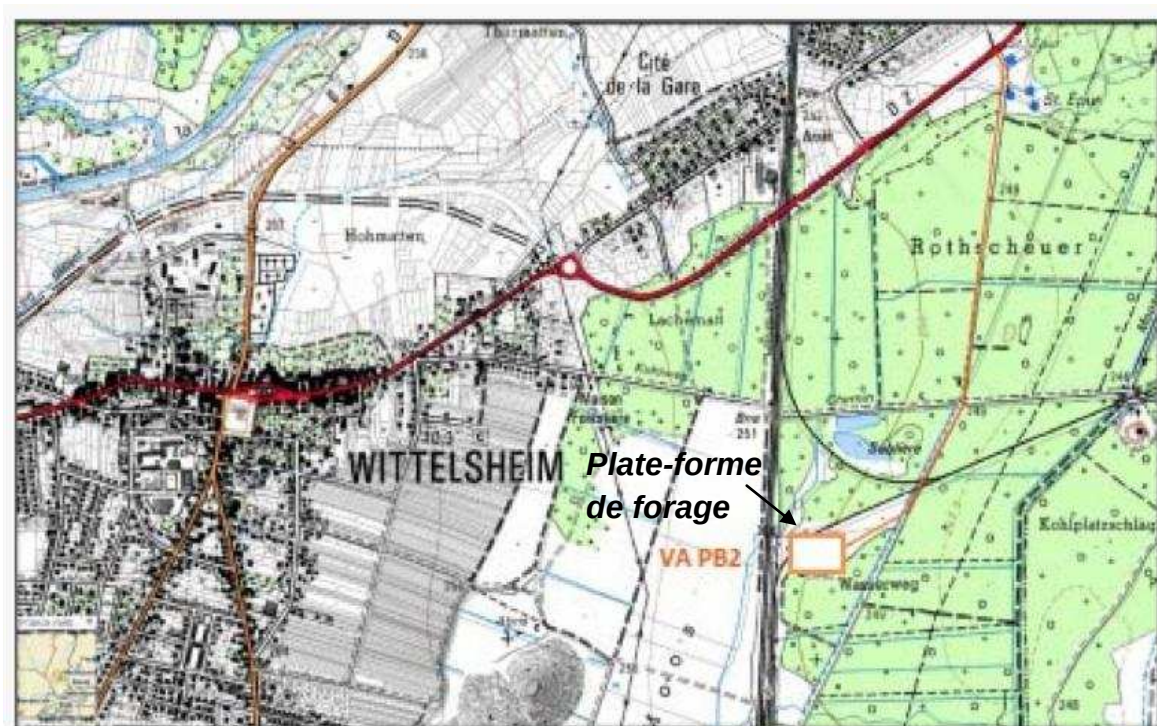


Figure 71 : Implantation prévue du forage de surveillance de l'ennoyage (source : MDPa).

Au vu des résultats de ce premier forage, la réalisation d'un second forage se fera si nécessaire. Sa position sera adaptée en fonction des informations acquises par le premier. Il serait préférentiellement implanté au sud du premier forage et du stockage (soit à l'aval hydraulique, pris dans le sens de l'ennoyage) de manière à permettre le suivi de la qualité de la saumure potentiellement polluée entre la sortie éventuelle du stockage et les puits Joseph et Else, les plus proches.

6.2.2. Suivi après travaux

Il est prévu de mettre en place, en sus du réseau piézométrique de surveillance existant dans la nappe d'Alsace, une surveillance à proximité immédiate des points d'épanchement de saumure. Pour cela, des piézomètres devront être implantés à l'aval immédiat des 5 puits de la mine Amélie, par lesquels la saumure polluée risque de sortir.

La réalisation de ces piézomètres ainsi que le point de départ du suivi qualité seront déterminés en fonction du résultat du suivi de l'ennoyage. Il n'est donc pas nécessaire de les mettre en place dès maintenant eu égard à la dégradation que les ouvrages pourraient subir dans le temps.

Néanmoins cette disposition nécessite dès à présent la **mise en place de servitudes de manière à s'assurer que ce suivi soit bien mis en œuvre dans l'avenir.**

Après la fermeture du stockage et des puits de mine, **des mesures de surveillance de l'environnement à long terme** pourront être mises en place. Au vu des impacts potentiels attendus il peut être envisagé :

- la surveillance de l'atmosphère gazeuse sous les dalles des puits Joseph et Else, a minima, acide cyanhydrique et mercure élémentaire ;
- des analyses périodiques de contrôle de la qualité de la nappe :
 - en amont et en aval des puits Joseph et Else (surveillance prévue dans le cadre de l'arrêté)
 - en amont et en aval des puits Max et Amélie 1 et 2.

Les paramètres à analyser seront les métaux prioritaires présents dans les déchets (As, Cd, Cr, Hg, Pb) et les cyanures (CN).

Des mesures seront prises pour **garder la mémoire du stockage**, elles consisteront en :

- l'indication du périmètre des puits et de l'emprise au jour du stockage sur les documents d'urbanisme ;
- la mise en place de servitudes autour de tous les puits miniers pour en permettre la surveillance et y interdire les activités sensibles. Le rayon de cette zone devra être précisé ultérieurement,
- la mise en place de servitudes à l'aplomb du stockage pour y interdire tout forage de plus de 300 m de profondeur (sauf dans l'objectif spécifique d'atteindre la zone de stockage).

Ces mesures ne feront en fait que renforcer les surveillances déjà en cours par les services gérant l'après-mine pour le compte de l'Etat (les points de sortie potentielle – les puits de mine – faisant de toute façon l'objet d'un suivi).

6.2.3. Moyens d'intervention

Si, au cours du suivi qualité, une dégradation était enregistrée dans la qualité de l'aquifère, une **solution d'isolement du puits où cette pollution serait constatée pourra être mise en œuvre. Cette solution consisterait à réaliser une enceinte à très faible perméabilité autour du ou des puits concernés sur toute la hauteur de la nappe alluviale et à mettre en œuvre un pompage pour capter cette pollution qui serait alors à traiter.**

Aujourd'hui les techniques les plus courantes pour la réalisation d'enceintes de ce type sont à base de boue bentonitique qui, outre le fait d'offrir une perméabilité très faible, peuvent également concourir à fixer certaines substances, notamment les métaux lourds. Même si ce genre de dispositions est d'usage courant à court et moyen termes, le dispositif devra être détaillé avant travaux.

Un autre dispositif consistant à pomper directement dans l'enceinte minière pourrait également être mis en œuvre. Il pourrait utiliser les forages de suivi de l'ennoyage ou être réalisé à partir d'un forage spécifique.

6.3. Servitudes et restrictions d'usage

Des servitudes devront être instituées pour permettre, à la fois, l'implantation, la réalisation et le suivi de la surveillance à proximité des 5 puits de la mine Amélie ainsi que d'éventuels travaux si des interventions sont nécessaires.

Une mesure de sécurité supplémentaire consiste à prévoir, en surface, des servitudes et restrictions d'usage (interdisant notamment tout pompage de l'eau, voire l'utilisation du sol) autour de tous les ouvrages susceptibles de diffuser de la saumure polluée dans la nappe d'Alsace. Il s'agit des 5 puits de la mine Amélie et des piézomètres destinés à la surveillance. En effet, même si les concentrations prévisibles en polluants de la nappe d'Alsace sont bien inférieures aux limites de qualité, du fait de la dilution très significative qui se créera dans la mine et au débouché dans la nappe, elles pourraient en toute rigueur être plus importantes dans l'éventualité d'un pompage localisé trop près des points de sortie par effet d'« aspiration ». Le détail de ces servitudes fera l'objet d'un examen point par point en fonction de chaque situation..

Enfin, pour éviter qu'un forage ne recoupe le stockage souterrain, des servitudes devront être mises en place à l'aplomb du stockage (report au sol de l'emprise de ce dernier augmentée d'une marge de sécurité) pour interdire les forages de plus de 300 mètres.

6.4. Analyse comparative des données du projet et des mesures envisagées par rapport à l'étude d'impact réalisée au moment de la délivrance de l'autorisation initiale

Le projet de transformation du centre de stockage souterrain en stockage à durée illimitée prévoyait initialement ([1] Dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter de Février 1996, pages 29, 63) :

- le remblayage des puits et la destruction des installations d'extraction (participation financière de StocaMine),
- l'emmurement des produits : serrements (4 prévus page 29), chaque serrement comprenant deux murs en maçonneries séparés de 5 à 6 m, l'espace entre les deux murs étant ensuite totalement rempli de béton,
- la mise en place d'un piézomètre de contrôle dans chacun des 5 puits de la mine Amélie.

D'après StocaMine, aucun élément complémentaire d'étude ne permet de démontrer que ces mesures initialement prévues ne sont pas suffisantes. Toutefois, aujourd'hui, l'approche développée et proposée va bien plus loin que celle qui avait été énoncée lors du dépôt de dossier en 1996 (tableau 50). Les techniques, tant d'étude que de réalisation se sont améliorées, l'expérience d'autres sites de confinement est venue éclairer le sujet et des analyses plus approfondies ont complété et amélioré la connaissance du comportement de la matrice encaissante et des déchets au contact de la saumure. De nombreuses études complémentaires ont été menées en prenant systématiquement des hypothèses **sécuritaires** en matière d'impact sur la nappe afin de définir les moyens qui évitent tout impact sur la nappe. Cela conduit à un **renforcement des mesures de confinement**.

	Dossier d'autorisation initiale, option de stockage illimité	Projet actuel
Fermeture des puits de mine	• Remblayage MDPA matériaux fins peu perméables	• Remblayage MDPA matériaux fins peu perméables et couronnes d'injections
Confinement des déchets	• 4 serrements de 5-6 m de long, maçonneries et béton	• Remblayage des galeries vides • Traitement du sondage W3 • 12 barrières (dont 7 sur doubles galeries), fermant toutes les galeries d'accès, conception en cours (mur de stabilité + noyau de bentonite grande longueur, très faible perméabilité)
Suivi	• 5 piézomètres (5 puits de la mine Amélie)	• 10 piézomètres : amont/aval de chacun des puits de la mine Amélie • Surveillance gaz au niveau des puits de la mine Amélie
Restrictions d'usage		• Interdiction des pompages en aval immédiat des 5 puits de la mine Amélie • Interdiction de forage profond à l'aplomb du stockage de déchets
Mémoire		• Inscription aux documents d'urbanisme : puits, emprise en surface du stockage en souterrain

Tableau 50 : Comparaison projet initial, projet actuel

6.5. Estimation des coûts associés

La majorité des travaux prévus dans le cadre du projet de fermeture du stockage sont soit à adapter aux contraintes locales au fur et à mesure de l'avancement du projet, soit des travaux rarement effectués (le cas étant unique en France).

L'estimation des coûts est donc rendue très délicate et des appels d'offres sont en cours pour établir des devis les plus ajustés possibles tout en respectant les exigences de performance demandées.

Le présent chapitre propose donc plutôt un récapitulatif de l'ensemble des études et travaux pour lesquels une enveloppe financière a été estimée.

Travaux préparatoires :

- traitement du sondage W3,
- recalibrage et remise en état des voies d'accès,
- auscultations des parois,
- injections (trous de dégazages, ...).

Destockage partiel (déchets contenant du mercure) :

- déstockage et reconditionnement,
- transport,
- stockage dans un autre site.

Pilotes de chantier / tests préalables :

- barrage pilote pour tests des modalités de mise en place des matériaux et performance.

Travaux de fermeture :

- remblayages des galeries et blocs vides du stockage,
- creusement de la galerie exutoire,
- réalisation des barrières de confinement,
- déséquipement de la mine et désarmement des deux puits,
- remblayage des deux puits,
- démantèlement des chevalements et des machines d'extraction.

Maintenance des installations / maîtrise d'œuvre / dossiers et marchés :

- suivi des procédures, dossiers divers
- entretien des infrastructures,
- maîtrise d'œuvre interne,
- maîtrise d'œuvre externe et suivi qualité-sécurité.

Mesures d'accompagnement et de suivi :

- forages profonds (MDPA)
- piézomètres de surveillance de la qualité de la nappe et analyses
- analyses gaz.

L'estimation des coûts réalisée par StocaMine a été associée à l'élaboration d'un planning prévisionnel, révélateur de l'ampleur des travaux qui seront engagés.

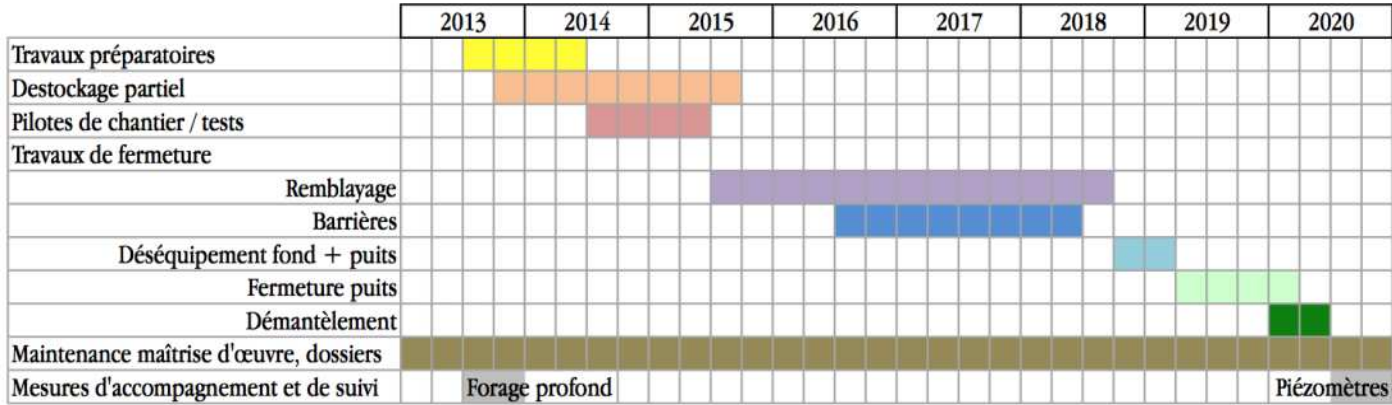


Figure 72 : Planning prévisionnel (données : StocaMine, mai 2013).

L'optimisation des délais passera par la coordination de plusieurs chantiers en même temps en souterrain (tests / déstockage, remblayagee / barrières, ...). Les travaux de fermeture ne pourront être engagés qu'au terme de la procédure d'instruction du dossier et après délais d'appel d'offres.

Globalement, le projet devrait se dérouler sur 7 ou 8 ans.

L'ensemble des coûts pour mener à bien le projet (confinement, avec retrait partiel des déchets riches en mercure) est de l'ordre de la centaine de millions d'euros (chiffrage qui sera précisé, nombreux devis en cours).

7. COMPATIBILITE DU PROJET AVEC L'AFFECTATION DES SOLS

7.1. Propriété foncière – Situation juridique

A l'origine du projet, le stockage de déchets impliquait deux opérateurs aux responsabilités distinctes :

- **l'opérateur minier, les Mines de Potasses d'Alsace**, en charge du **creusement des cavités** de stockage, de l'extraction du sel, de l'**exploitation des puits**, machine d'extraction et des galeries principales et du **remblayage des puits en fin d'activité**.

L'activité des MDPA est soumise au code minier.

- **l'opérateur stockeur, responsable des opérations de stockage** : étude d'admission, descente et mise en place des déchets, contrôle du comportement des produits, entretien des accès aux cavités. StocaMine est également responsable du devenir des déchets (confinement ou réversibilité) et de la remise en état du site après exploitation.

La cohérence de l'activité des MDPA et de celle de StocaMine est assurée par deux **conventions bipartites** MDPA-StocaMine relatives pour la première aux modalités de mise à disposition des cavités et pour la seconde aux conditions d'utilisation des parties communes.

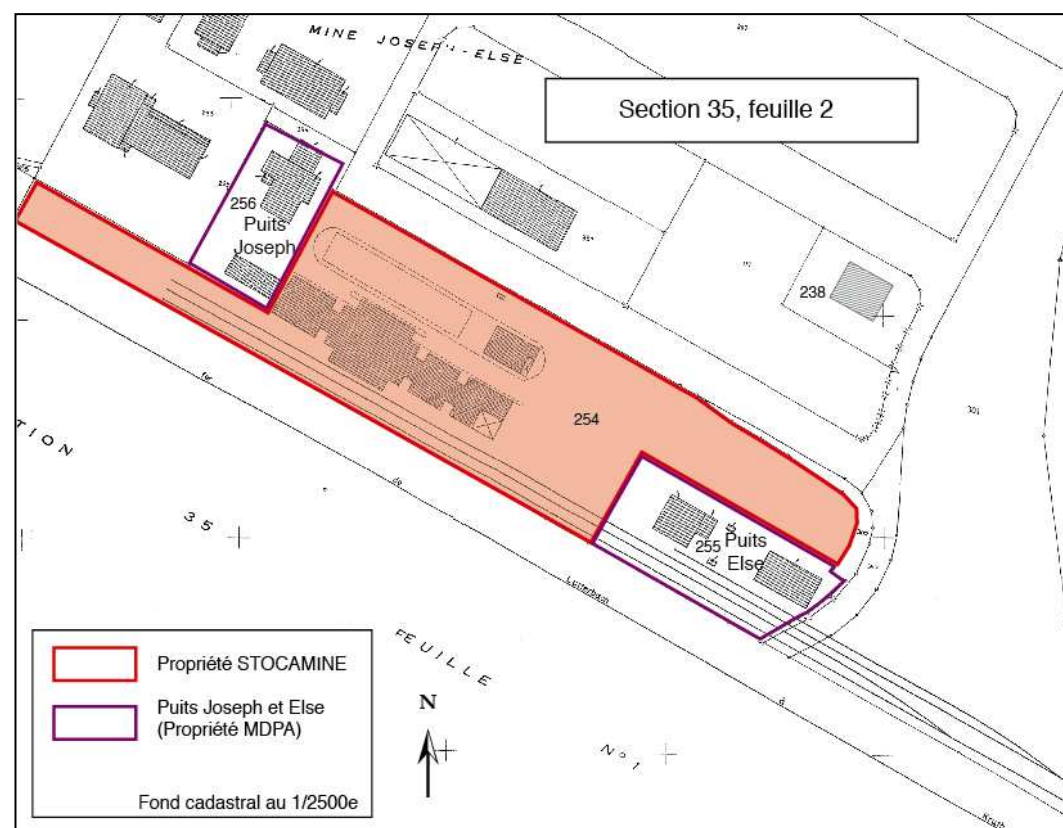


Figure 73 : Distinction propriété StocaMine / MDPA (les puits), section 35 feuille 2 commune de Wittelsheim (68)

Les installations du fond sont situées dans les concessions minières Amélie, Max, Joseph et Else propriétés des MDPA. A ce titre, les MDPA restent donc propriétaires de l'emprise en surface des puits Joseph et Else, c'est-à-dire des parcelles n°255 et 256, section 35.

Les installations de surface nécessaires à la mise en œuvre du stockage (hors puits de mine) sont propriété de StocaMine : parcelle n° 254 section 35 (cf. figure 73).

7.2. Plan Local d'Urbanisme (P.L.U.)

La commune de Wittelsheim dispose d'un Plan Local d'Urbanisme (P.L.U.), approuvé le 4 Octobre 2004 et modifié le 21 Novembre 2005.

La **zone d'activités Joseph-Else** est classée en zone **UEc** du PLU (figure 74) : zone réservée aux **activités industrielles, artisanales et commerciales** - zone d'activités Joseph-Else / Heiden.

Les **infrastructures de surface de StocaMine** sont implantées dans le **sous-secteur UEc4** (c'est donc la réglementation de cette zone qui s'applique).

Autour de la zone d'activité UEc, les terrains sont à vocation :

- d'habitations à l'ouest (cités minières, zone Uca et zones résidentielles récentes, UC),
- naturelles au nord et à l'est (zone N, forêt de Graffenwald et zone humide, avec certains secteurs définis en espaces boisés classés, zone Na sur l'emprise de la gravière Michel),

Le terriil Else est spécifiquement classé en zone **UEe** (stockage et traitement des résidus miniers).

7.3. Servitudes d'utilité publique

Les parcelles appartenant à StocaMine sont concernées par deux servitudes inscrites au PLU (cf. figure 75) :

- servitude AC1 relative à la protection des monuments historiques,

Le périmètre de protection englobe un rayon de 500 m autour de chaque du bâtiment. Dans ce secteur, **tout projet est soumis à l'approbation de l'Architecte des Bâtiments de France**.

Cette servitude concerne le **bâtiment** et le **vestiaire du puits Joseph-Else**, inscrit à l'Inventaire supplémentaire des Monuments Historiques (voir également chapitre Patrimoine).

- servitude T1 en limite sud du site,

Cette servitude est liée à la présence de la zone ferroviaire (en bordure de laquelle peuvent s'appliquer les servitudes relatives au chemin de fer). La SNCF doit être consultée pour les projets situés dans ce secteur.

Le projet proprement dit n'aura pas d'impact significatif sur le foncier et l'urbanisme. Des servitudes d'accès sur les ouvrages de suivi devront être instaurées.

N.B. : L'administration pourra émettre de nouvelles prescriptions susceptibles de se transformer en servitudes.

7.4. Compatibilité du projet

Parcelle 254 section 35, propriété StocaMine :

Après démantèlement des infrastructures d'extraction, les bâtiments et divers équipements de StocaMine pourront être vendus. Les parcelles de StocaMine pourront être destinées à un usage industriel, artisanal ou commercial, comme prévu pour ce secteur dans le PLU (zone UEc).

L'absence de modification des installations de surface implique l'absence d'impact sur les servitudes existantes actuelles (AC1 : protection des monuments historiques, T1 : servitude liée à la présence de voies ferrovières).

Ouvrages de suivi :

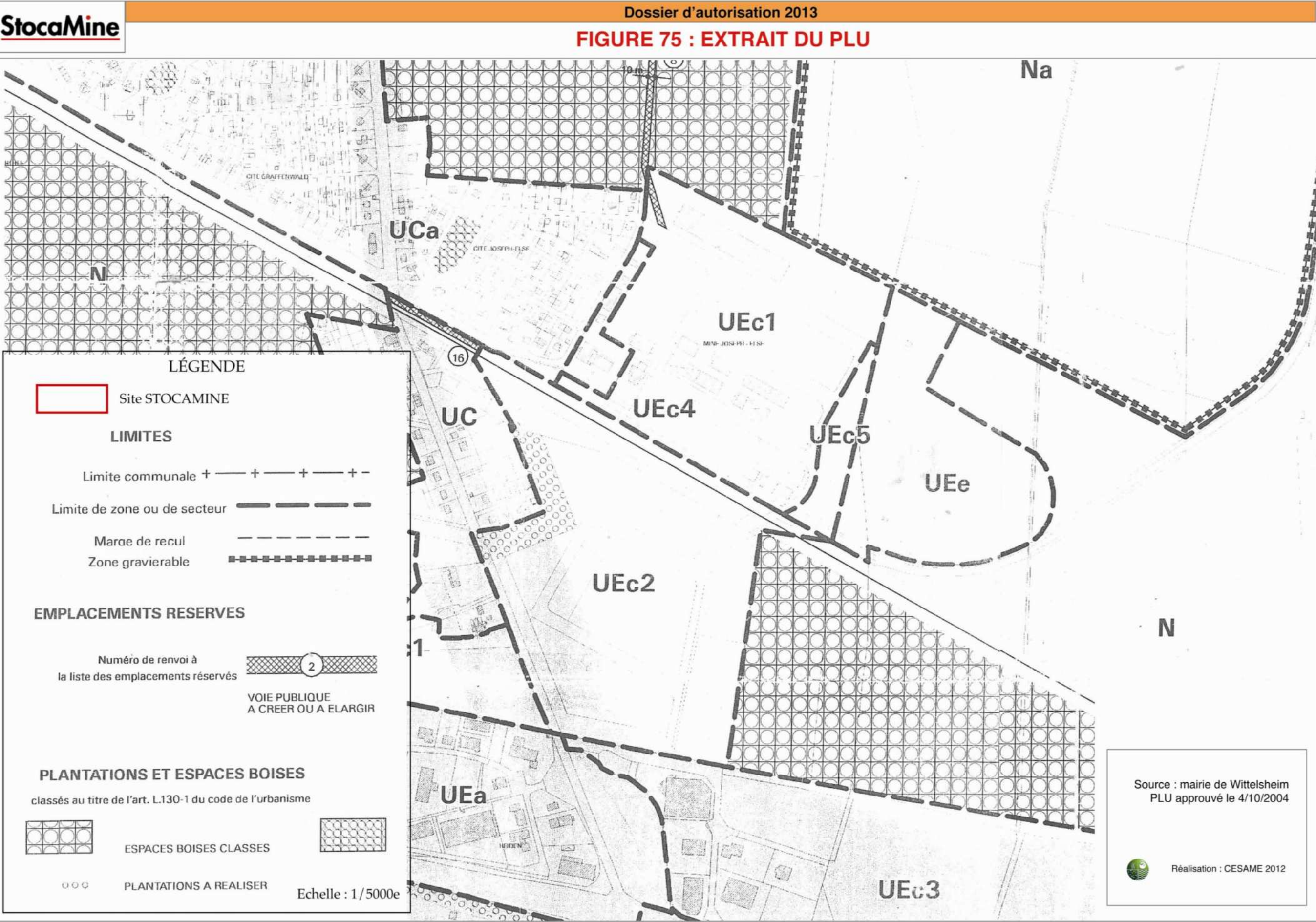
Pour chaque piézomètre de suivi (proposition : 1 piézomètre amont + 1 piézomètre aval pour les puits Amélie 1, Amélie 2, Joseph, Else et Max, soit 10 ouvrages), une emprise de quelques m² sera figée pour l'ouvrage et son accès. Ces surfaces (4 à 5 m² x 10) seront à acquérir par l'organisme en charge du suivi et nécessiteront l'instauration de servitudes d'accès.

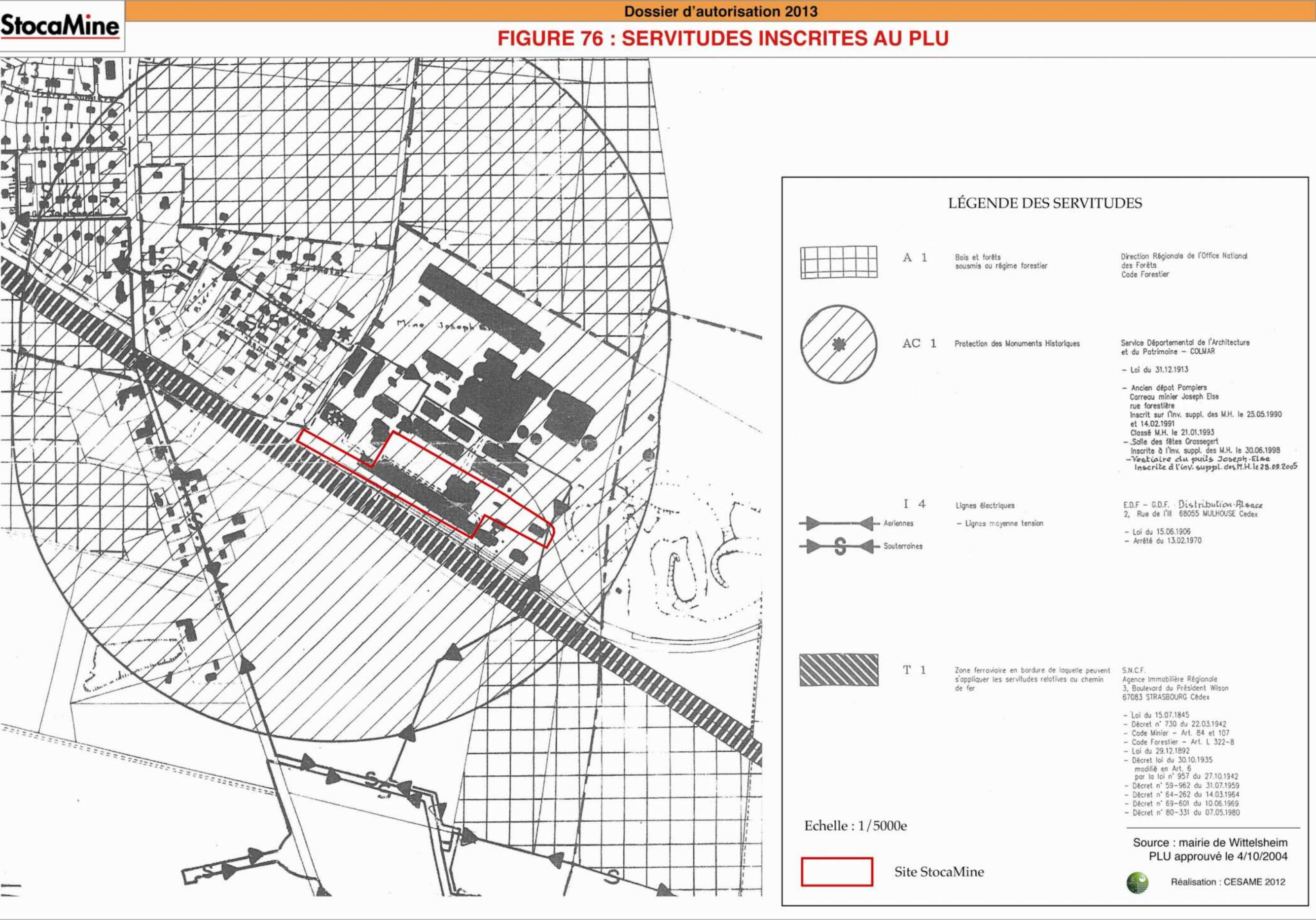
Ces ouvrages feront l'objet d'une convention de transmission à l'organisme national chargé de la surveillance minière (DPSM : Département Prévention et Sécurité Minière du BRGM).

Remarque sur les parcelles 255 et 256 des Puits Joseph et Else (propriété MDPA) :

L'arrêt de l'activité de StocaMine sera suivi du remblayage des puits de mine. Le présent dossier ne concerne pas le devenir des puits, propriété MDPA. A titre informatif, on peut signaler :

- que l'acte de vente d'une parcelle sur laquelle est situé un puits de mine remblayé comporte deux servitudes :
 - une servitude d'accès et d'entretien de la dalle du puits et de son regard,
 - une servitude d'inconstructibilité sur un cercle centré sur dalle (rayon défini après étude),
- qu'en l'absence de repreneur, les chevalements des puits seront démantelés.





ANNEXE 4 - Bilan écologique (étude d'impact) - Page 163 sur 191

8. METHODES UTILISEES ET DIFFICULTES

Le projet du stockage illimité de déchets ultimes de la société StocaMine s'inscrit dans le cadre du décret n°2006-283 du 10 mars 2006 relatif à la prolongation pour une durée illimitée de l'autorisation de stockage souterrain de produits dangereux dont l'exploitation a cessé depuis plus d'un an.

L'étude d'impact environnemental a été réalisée conformément :

- au décret cité précédemment,
- aux textes généraux relatifs à la prise en compte de l'environnement et à l'élaboration des études d'impact (loi du 10 juillet 1976 et décret du 21 Septembre 1977),
- aux textes réglementaires spécifiques actuellement en vigueur (loi sur l'eau, loi sur la qualité de l'air, loi sur le bruit...),
- aux circulaires, décrets et arrêtés correspondants, émanant des Ministères concernés.

Ce chapitre présente l'origine des données utilisées pour établir l'état initial puis les méthodes mises en œuvre pour évaluer les effets du projet sur l'environnement ainsi que les difficultés rencontrées, de nature technique ou scientifique.

Le tableau ci-dessous indique quels sont les auteurs des principales études utilisées dans le cadre de l'étude d'impact. Le site ayant fait l'objet de très nombreuses études, toutes ne peuvent pas être citées dans le tableau ci-après. Une bibliographie est fournie en fin d'étude.

8.1. Méthodes utilisées pour établir l'état initial

L'état initial a été établi à partir des données fournies par les différents organismes compétents :

- la commune de Wittelsheim (PLU, servitudes),
- l'Agence de l'Eau (SDAGE, état des cours d'eau,
- Météo France (climat),
- DRAC (patrimoine),
- l'INSEE (population, emplois, ...),
- la Direction des Routes (trafic),
- RFF (voie ferrée),
- la DREAL (milieu naturel)
- le BRGM (contexte hydrogéologique)

Ces informations ont été recueillies en partie par l'intermédiaire de sites internet **gouvernementaux (bases de données sur les installations classées, les monuments historiques, les espaces naturels classés, les documents de gestion de l'eau, ...)**.

Elles ont été complétées avec les données acquises par StocaMine dans le cadre des études réalisées pour le projet (contexte hydrogéologique, géologique et minier, habitats naturels autour des installations de surface, occupation de la zone d'activité Secoia) et le suivi du site (suivis sur les eaux souterraines, les sols, les rejets du puits Else, le bruit).

Une bibliographie est fournie en fin d'étude.

Mission	Organisme / Bureau d'études	Références à la bibliographie en fin de dossier	Auteurs
Synthèse des études existantes, montage du dossier d'étude d'impact	CESAME		A. BLACHERE (Docteur en hydrogéologie, directrice d'études) D. LEFORT (Ingénieur hydrogéologue, chargée d'études environnement)
Suivi du site (données utilisées pour l'état initial)	IPL (Services analytiques), Eurofins (Services analytiques), Apave (Organisme de contrôle, DBI (Bureau d'études en acoustique et vibrations)		
Etudes géomécaniques	INERIS	[73]	F. LAOUAFA (Ingénieur à l'unité Risques Naturels, Ouvrages et Stockages à la Direction des Risques du Sol et du Sous-Sol) M. GOREYCHI (Directeur Direction des Risques du Sol et du Sous-Sol)
Etudes hydrogéologiques	INERIS	[55]	P. GOMBERT (Responsable de l'unité ESEG à la Direction des Risques du Sol et du Sous-sol)
Etudes géochimiques	INERIS	[56] [75]	P. HENNEBERT (Ingénieur Unité Comportement des contaminants dans les sols et matériaux)
Etudes d'impact sur la nappe alluviale	BRGM	[62]	N. AMRAOUI (Ingénieur modélisation hydrogéologique)
	INERIS	[69]	F. QUIOT (Ingénieur à l'unité Comportement des contaminants dans les sols et matériaux)
EQRS	INERIS	[71]	C. HULOT (Ingénieur à l'unité ISAE du pôle RISK, de la Direction des Risques Chroniques)
Comparaison des scénarios relatifs au devenir du site	INERIS	[54]	B. NEDLEC (Responsable d'étude et recherche DRA / Unité Evaluation des risques)
		[68]	J-C. PINTE (Ingénieur à la Direction des Risques du Sol et du Sous-sol)
Mesures de maîtrise du risque	INERIS	[67]	F. LAOUAFA (Ingénieur à l'unité Risques Naturels, Ouvrages et Stockages à la Direction des Risques du Sol et du Sous-Sol)
		[72]	J-C. PINTE (Ingénieur à la Direction des Risques du Sol et du Sous-sol)
Estimation des coûts	StocaMine et MDPA, sur la base de devis		
Pré-études de conception des différents ouvrages prévus (barrières de confinement, remblayage, galerie de court-circuit, forage, ...), faisabilité du déstockage, modélisations complémentaires	ERCOSPLAN (Bureau d'études d'ingénierie géotechnique)	[63] [64]	H. RAUCHE
	GEOSTOCK (Ingénierie stockages souterrains)		
	BMG Engenering (Bureau d'études Ingénierie Risques)	[74]	
	ITASCA (Bureau d'études modélisation numériques génie civil, hydrogéologie, stockages de déchets)	[76]	M. CAMUSSO (Ingénieur géotechnique, modélisation)
	MDPA		
	IBEWA (Société spécialisée dans les mesures in situ)		
	LAEGO (Laboratoire environnement, géomécanique et ouvrages)		

8.2. Méthodes utilisées pour évaluer les effets du projet sur l'environnement

Pour retenir la solution la moins impactante pour l'environnement, définir les impacts potentiel du projet retenu et maîtriser les risques associés, StocaMine a fait réaliser une analyse complète à l'INERIS. Celle-ci s'est déroulée de la manière suivante :

- Analyse critique des études réalisées sur le site de stockage de StocaMine que ce soit avant le démarrage du stockage pour la réalisation du dossier d'autorisation initial, lors de la phase d'activité ou après l'incendie de 2002 (voir liste bibliographique à la fin du document).
- Analyse des mesures réalisées par les MDPA ou StocaMine : affaissement de la surface du sol, convergence des ouvrages de stockage, surveillance de la nappe phréatique d'Alsace, analyse des déchets, analyse de gaz dans l'atmosphère souterraine et les emballages de déchets, etc.
- Recueil de données complémentaires à partir de publications scientifiques de référence.
- Réalisation d'études complémentaires, par l'INERIS mais aussi par d'autres organismes compétents, dans des domaines complémentaires (sismique, tectonique/diapirisme, hydrogéologie, etc.).
- Enquêtes auprès des administrations régionales, départementales, des collectivités et divers organismes afin de rassembler les données et documents disponibles sur les différents volets de l'étude,
- Visites du site pour une connaissance détaillée de celui-ci.

Ainsi, de nombreuses études approfondies fondées sur une masse de données considérable ont été réalisées conformément à l'état de l'art international.

Tout en s'appuyant sur les méthodes préconisées par les textes réglementaires et les normes en vigueur, la démarche adoptée prend en considération, autant que possible, les incertitudes pesant sur certaines données, en adoptant une approche toujours sécuritaire. De ce fait, les études réalisées se sont fondées sur des scénarios de référence issus d'hypothèses volontairement pessimistes, c'est-à-dire destinées à surestimer les effets du projet dans un souci de précaution.

L'analyse des méthodes mises en œuvre dans les différentes études et de la manière dont celles-ci ont intégré les incertitudes pesant sur les hypothèses est présentée ci-après (INERIS) pour les différentes étapes de l'analyse du projet, à savoir :

- le choix de la solution retenue parmi les différents scénarios étudiés pour la fermeture de du site de stockage. Ce travail a conduit au choix de la solution du stockage illimité de tous les déchets de StocaMine ;
- la modélisation géomécanique du site, dans son environnement souterrain ;
- l'évaluation des impacts sanitaires et environnementaux de la solution retenue ;
- les moyens de maîtrise des risques (MMR) permettant de réduire autant que possible ces impacts.

8.2.1. Etude de comparaison des différents scénarios de devenir des déchets

Dans le cadre de l'élaboration du dossier de demande d'autorisation de stockage illimité selon le décret 2006-283 de mars 2006, StocaMine, exploitant le site de stockage de déchets ultimes situé dans les formations salifères à Wittelsheim (Haut-Rhin), doit présenter dans son dossier « *Un exposé des solutions alternatives au maintien du stockage avec leurs conséquences respectives et indiquant les motifs pour lesquels le projet présenté a été retenu* » (Art. 2).

8.2.1.1. Méthodologie d'étude

Pour répondre à cette attente, l'INERIS a recherché et mis en œuvre une méthodologie qui devait permettre d'agréger ou d'additionner des impacts sanitaires et environnementaux en autorisant le rapprochement d'informations de natures différentes :

- risques sanitaires aigus et chroniques (population générale et travailleurs),
- risques accidentels,
- risques pour l'environnement,
- risques à court et long termes.

Dans cette approche, les impacts sur le changement climatique, les ressources naturelles et les coûts n'ont pas été pris en compte. De même, la méthodologie utilisée ne prend pas en compte les aspects réglementaires, sanitaires ou environnementaux contraints par des valeurs limites, guides ou autorisées. Elle part simplement du fait qu'une masse de substance dans l'environnement produit des effets et que ces derniers peuvent être traduits en indicateurs globaux de risques.

En revanche, la méthodologie retenue permet d'évaluer de manière homogène et simple la valeur de l'indicateur global de risque pour les scénarios examinés et donc de les situer les uns par rapport aux autres et de bien identifier celui qui présente les risques cumulés les plus faibles parmi ceux étudiés. Une fois cette démarche réalisée, le scénario choisi doit être examiné en prenant en compte, cette fois, les contraintes réglementaires, sanitaires et environnementales en cherchant à minimiser les risques au travers des Moyens de Maîtrise du Risque (MMR).

La démarche mise en œuvre s'est inspirée de celle de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) et donc des normes NF-EN-ISO-14040 et 14044 d'octobre 2006.

La méthodologie de comparaison s'appuie sur des méthodes d'évaluation du risque existantes et publiées dans la littérature scientifique internationale permettant, après simplification et homogénéisation, de traiter des données hétérogènes en qualité et quantité et de collationner des informations de natures différentes. Enfin, la méthodologie de comparaison utilise des indicateurs globaux de risques pour en faciliter la comparaison.

Les indicateurs globaux employés ont été ceux adoptés par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) tant sur la plan sanitaire qu'environnemental. Ce sont :

- la DALY (Disabled-Adjusted-Life-Year) pour l'impact sur la santé humaine. Cet indicateur se traduit par « Année de vie corrigée de l'incapacité ». Cette incapacité peut résulter soit du décès (accident mortel), soit d'une incapacité temporaire ou définitive (accident non mortel, maladie professionnelle...) ;
- le PDF.m².an (Potentially Disappeared Fraction traduit par fraction d'espèces affectée et/ou disparue) qui représente, pour l'impact sur la biodiversité, la fraction d'espèces potentiellement disparue sur une surface de 1 m² pendant 1 an.

8.2.1.2. Scénarios analysés

Après avoir adopté la méthodologie de comparaison et fixé les indicateurs globaux de risque, les différents scénarios ont été développés. La démarche mise en œuvre a consisté en une analyse des scénarios extrêmes (stockage illimité et déstockage total), avec quelques variantes, sur la base de critères ou indicateurs traduisant les risques génériques de ce type d'activité.

Huit scénarios ont ainsi été retenus et comparés :

- 2 pour le stockage illimité dans les blocs souterrains de StocaMine ; deux variantes ont été examinées, sans et avec mise en place de barrières ouvragées (scénarios A et B) ;
- 2 pour le déstockage total, les sites de destination étudiés ont été les sites souterrains allemands d'Heilbronn (scénario C) et de Herfa-Neurode (scénario E). Il s'agit de deux sites de stockage de déchets dans les anciennes mines de sel en Allemagne, autorisés à recevoir des déchets du même type que ceux actuellement stockés à StocaMine. Le site d'Heilbronn est le plus proche de StocaMine et celui d'Herfa-Neurode a été étudié suite à la demande du COPIL ;
- 2 pour le déstockage total et le restockage en sites allemands des déchets ultimes et à Drambon pour les déchets dangereux (scénarios D et F) ;
- 2 enfin, pour le déstockage total et le restockage en sites allemands, en laissant le bloc 15 en place (scénarios Cbis et Ebis).

8.2.1.3. Données utilisées

Les données utilisées pour analyser les scénarios sont issues des études réalisées préalablement à l'intervention de l'INERIS mais complétées au-delà pour que l'analyse soit aussi exhaustive que possible (comportement minier, comportement hydrogéologique, terme source, transport...).

Les étapes majeures identifiées ont rassemblé plusieurs tâches unitaires qui sont supposées présenter des dangers ou risques pouvant être analysés de manière homogène comme :

- l'entretien minier,
- les travaux d'édification des barrages et travaux connexes,
- le reconditionnement et le transport de déchets jusqu'en surface,
- le transport des déchets vers le lieu de stockage identifié,
- le restockage des déchets dans le nouveau site.

8.2.1.4. Risques pris en compte

Les types de risques considérés sont :

- le risque minier, spécifique au contexte dans lequel le stockage se situe ;
- le risque mécanique (risque de dommage corporel sur les travailleurs), quelle que soit l'étape considérée (travaux de barrages, déstockage, transport, restockage) ;
- le risque physico-chimique, par exposition des travailleurs, également quelle que soit l'étape ;
- le risque de pollution accidentelle, lors des manipulations dans la mine (air extérieur) ou lors du transport (air, cours d'eau, nappe, sol) ;
- le risque de remobilisation de polluants vers la nappe, l'air, les eaux de surface et ses implications (irrigation, consommation, contact).

8.2.1.5. Evaluation des indicateurs globaux

A partir de ces éléments, les indicateurs globaux de risque ont été obtenus pour chacun des scénarios examinés grâce à :

- une phase d'inventaire de toutes les étapes du scénario considéré ;
- dans chacune de ces étapes, une identification et une quantification des impacts potentiels ;
- et pour chacun de ces impacts, l'évaluation de la ou des valeurs des parts des indicateurs qui en découlent. A noter que certains impacts peuvent s'adresser à plusieurs catégories ; par exemple, une substance peut être toxique pour l'homme et donc contribuer à l'indicateur en DALY et pour la biodiversité et alors contribuer à l'indicateur en PDF.m².an.

Ces indicateurs ont été évalués par deux méthodes selon la nature et le type des données :

- soit sur la base de statistiques d'accidentologie (CdF, BTP, CRAM...) et de durées d'exposition (en personnes.an pour les travaux, par modélisation en cas d'accident) ;
- soit par modélisation globale des effets des substances en utilisant un modèle intégrateur dit « de compartiment » (aquatique et terrestre) à l'échelle spatiale européenne sans notion de temps (modèle IMPACT 2002+ développé par l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne).

8.2.1.6. Impact des hypothèses et des incertitudes

Il convient de préciser que dans cette comparaison, la totalité des déchets solubles au sein du stockage (terme source) est transportée vers l'extérieur, à long terme. Cette hypothèse est conforme aux propriétés de fluage des formations salifères qui laissent présager la fermeture progressive de tout l'espace vide souterrain. Elle revient à considérer également, en cohérence avec le retour d'expérience des mines de sel et de potasse à travers le monde, que tout ouvrage souterrain réalisé dans le sel est inéluctablement envahi par des eaux souterraines, à plus ou moins long terme. Cette hypothèse bien qu'a priori non retenue en Allemagne (l'hypothèse retenue étant la performance à long terme des barrages), a été admise ici pour tous les sites de stockage étudiés, en France et en Allemagne. Cette vision est partagée par la majorité des membres du COPIL.

Soulignons en outre que l'hypothèse adoptée quant au transport vers l'extérieur de la totalité de la phase soluble des déchets conduit à majorer l'impact des déchets bien que cette évaluation ne tienne pas compte de la vitesse de transport de polluants.

Précisons également que la comparaison des différents scénarios ne s'est basée que sur la masse des déchets de StocaMine et non sur la totalité des déchets présents à terme dans chacun des sites de stockages étudiés. En effet, la quantité de déchets stockée à terme à Heilbronn ou à Herfa-Neurode est sans commune mesure avec celle stockée à StocaMine (par exemple, le stockage d'Herfa-Neurode est prévu pour 6 millions de tonnes de déchets alors que 44 000 tonnes sont disponibles à StocaMine). Ainsi, chaque scénario prend en compte la part d'impact des déchets de StocaMine sans considérer l'impact global du stockage de tous les déchets disponibles dans le site étudié. De même, la part d'impact ainsi évaluée est fondée sur les données géochimiques des déchets de StocaMine et non sur celles des autres sites de stockage.

Enfin, il est à noter que l'analyse complémentaire des données sur les déchets de StocaMine, réalisée par l'INERIS a permis de réduire considérablement la marge d'incertitude sur les teneurs moyennes en différents éléments. Toutefois, du fait de la méthode d'analyse semi-quantitative mise en œuvre par StocaMine, ces valeurs moyennes demeurent affectées par une marge d'incertitude significative, estimée à $\pm 50\%$ de la valeur moyenne de chaque substance. Cette incertitude n'est cependant pas de nature à modifier qualitativement la hiérarchie des scénarios comparés : seules les valeurs calculées sont modifiées proportionnellement à l'incertitude. De ce fait, la conclusion de cette étude reste valable indépendamment de l'incertitude pesant sur la quantité des différents éléments. De plus, le grand nombre de mesures réalisées pour estimer la quantité de chaque polluant permet de disposer d'un estimateur statistiquement très précis, même si chaque mesure est entachée d'une certaine incertitude.

Il ressort de l'étude de comparaison des différents scénarios de devenir des déchets stockés à StocaMine que le scénario « StocaMine avec barrières » (scénario B) est celui présentant les impacts à court et long termes les plus faibles.

Ce scénario a donc été examiné de manière approfondie dans l'objectif de réduire autant que possible l'impact des déchets sur la biosphère, en particulier la nappe d'Alsace. Ce point est développé à travers les études suivantes.

Le but et la difficulté inhérente à cette étude étaient l'élaboration d'une méthode d'addition des risques pour permettre une comparaison la plus objective possible de différents scénarios de devenir du site de stockage souterrain de StocaMine.

8.2.2. Etude hydrogéologique de l'ennoyage des MDPA et son interaction avec le stockage souterrain

Cette étude a intégré plusieurs travaux dont les principaux ont fait l'objet des rapports suivants :

- [4] *Etude de sûreté d'un projet de stockage de déchets toxiques dans la Mine Amélie. Approche des problèmes liés à l'hydrologie*, P. Combes, E. Ledoux, Ecole des Mines de Paris, document non daté (antérieur à février 1997: étude réalisée avant l'autorisation du stockage)
- [28] *Etude géologique, hydrogéologique et géotechnique du centre de stockage de StocaMine, Wittelsheim (Haut Rhin)*, MICA Environnement, avril 2004
- [43] *Synthèse sur l'ennoyage de la mine de potasse Secteur ouest, CESAME, Septembre 2006*: étude qui a consisté à comparer les solutions d'ennoyage naturel ou volontaire de la mine de potasse d'Alsace secteur ouest (avantages / inconvénients)
- [50] *Synthèse critique des études hydrogéologiques sur l'ennoyage du site*, Gombert, P., INERIS-DRS-10-108130-03801A, 30 mars 2010.
- [55] *Stockage souterrain de STOCAMINE (68) - Etude hydrogéologique de l'ennoyage du site*, Gombert, P., INERIS, DRS-10-108130-12810B, 9 mars 2011. Cette étude sert de base à l'élaboration du dossier présenté.

Ces études ont globalement porté sur les aspects ci-après :

- évaluation des débits et du temps de transit de l'eau dans les vides miniers résiduels dont le volume a été estimé, compte tenu notamment des vitesses de compaction des terrains de foudroyage et du fluage des galeries de StocaMine ;
- élaboration de scénarios de sortie de fluides (essentiellement de saumure saturée et, dans une moindre mesure, de gaz) par les puits sur la base d'hypothèses pessimistes et majorantes ainsi que définition des points de sortie de saumure et des débits attendus.

La méthodologie employée, les principales hypothèses, les données et les incertitudes de l'étude hydrogéologique réalisée par l'INERIS sur laquelle s'appuie le dossier présenté sont passées en revue ci-après.

• Délimitation de la zone d'étude :

La zone étudiée a été délimitée comme suit :

- dans le plan vertical, il a été tenu compte de l'absence de venue d'eau au sein d'un « bloc-hôte » formé par la série salifère du Sannoisien qui s'étend de 300 à 1500 m de profondeur ;
- dans le plan horizontal, seul le secteur ouest des mines de potasse d'Alsace a été pris en compte du fait de l'existence du large stot qui le sépare du secteur est ; au plus étroit, aux alentours du puits Marie, ce stot mesure en effet plus de 300 m de largeur.

Une incertitude subsiste en ce qui concerne le rôle exact d'un autre stot, d'une épaisseur théorique de 20 à 50 m, qui sépare les mines Amélie (au sud) et Marie-Louise (au nord) au sein du secteur ouest. Il a cependant été montré que ce stot avait été localement rogné par les travaux de la mine Amélie jusqu'à ne mesurer parfois que 4 à 5 m de largeur. Dans ces conditions, le scénario le plus probable est celui d'une communication hydraulique, à travers ce stot localement endommagé (et instable d'après les résultats de l'étude géomécanique présentés plus loin), entre la mine Amélie (amont hydrogéologique) et la mine Marie-Louise (aval hydrogéologique) et, à travers elle, avec le reste du secteur ouest. C'est donc l'ennoyage global de l'ensemble du secteur ouest qui forme le scénario de référence retenu dans l'étude d'ennoyage.

La délimitation de l'enveloppe externe de la zone d'étude ne souffre donc d'aucune incertitude, néanmoins, deux scénarios d'ennoyage ont été évalués en l'absence de preuves irréfutables sur le rôle exact du stot interne au secteur ouest : le premier, qui représente le scénario de référence, implique l'ensemble du secteur ouest, l'autre ne prenant en compte que la mine Amélie isolée.

Le scénario retenu (ensemble hydrogéologique unique pour tout le secteur ouest) est donc le scénario sécuritaire dans la mesure où tous les calculs réalisés dans l'hypothèse de la mine isolée conduisent à des résultats moins défavorables.

• **Voies d'accès de l'eau :**

Les voies de communication entre les travaux miniers et la surface du sol sont au nombre de trois : les puits d'exploitation minière, les sondages de reconnaissance de potasse ou d'hydrocarbures et les failles. Au risque d'une communication hydraulique à travers ces voies potentielles, il convient d'ajouter le risque de remontée de l'ensemble de la masse de sel par diapirisme. Cette éventualité a été étudiée par Bruno Vendeville, professeur à l'Université de Lille 1. Il a conclu que les risques de formation et de remontée de dôme ou diapirs de sel dans le secteur du site de stockage sont négligeables, voire nuls, sur une échelle de temps de plusieurs dizaines de milliers d'années.

En revanche, dès les premières études de StocaMine, les puits ont été considérés comme des chemins de pénétration préférentielle d'eau depuis la surface vers le fond de mine. De nombreuses venues d'eau y ont en effet été observées tant au cours de leur phase de creusement que - avec certes une intensité moindre - pendant l'exploitation des MDPA voire depuis leur comblement.

En ce qui concerne les sondages de reconnaissance de potasse et d'hydrocarbures, il a été considéré dans l'ensemble des études d'ennoyage qu'ils ne devaient pas être des vecteurs potentiels de transfert de saumure depuis la mine vers la surface, du fait de leur remplissage et de leur ancienneté (leur faible ouverture résiduelle ayant dû se refermer suite au fluage des terrains salifères qu'ils ont traversé).

Le cas particulier du sondage WIII, ouvrage ayant traversé l'emprise du stockage fait actuellement l'objet d'investigations spécifiques (il a été retrouvé et sera traité).

En ce qui concerne, l'impact éventuel des failles, dans l'état actuel du site aucune des failles traversées en puits, en sondage ou par les travaux miniers souterrains n'a donné lieu à des venues d'eau au sein du bloc-hôte. Il a donc été considéré que le risque d'entrée d'eau de surface par le biais d'une faille pouvait être négligé au cours de la phase d'ennoyage du site, car les failles recoupées ne jouent pas de rôle drainant pour les circulations d'eau souterraine au sein du bloc-hôte.

En revanche, une incertitude subsiste quant au risque de migration possible de saumure (potentiellement contaminée par percolation à travers les déchets stockés) par le biais d'une faille qui, recoupant les vides miniers, viendrait à jouer au cours de la longue phase de compactage de ces derniers. Une telle hypothèse a été étudiée par François Cornet, professeur à l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg, qui ne peut exclure des modifications du comportement hydraulique de ces failles sur le long terme, en réponse notamment à l'action dynamique d'une sollicitation sismique. La conclusion de son avis d'expert est qu'on ne peut pas aujourd'hui considérer comme négligeable l'impact des séismes de magnitude supérieure à 5 mais que les connaissances actuelles ne permettent pas de quantifier cet impact. De ce fait, l'étude réalisée par l'INERIS a choisi d'estimer le débit susceptible de transiter par une telle faille afin de quantifier son impact éventuel sur les épanchements de saumure en surface : au final, les résultats de l'étude ont conclu que le scénario d'épanchement par écoulement spontané le long d'un plan de faille réactivé par un séisme majeur affecterait la nappe alluviale de manière comparable au scénario obtenu dans les 5 puits amont, dans l'hypothèse d'une poursuite de la compaction après ennoyage (voir plus loin).

• **Volume des vides :**

Le volume de vides disponible dans le sous-sol des MDPA dépend de plusieurs paramètres :

- le volume total excavé qui dépend lui-même de deux paramètres connus avec une bonne précision :
 - le tonnage de matériau extrait, fourni par les MDPA (423 Mt pour le secteur ouest) ;
 - la densité des matériaux exploités. Ce paramètre est affecté d'une légère incertitude car il s'agit d'un mélange de sel gemme (densité de 2,16 pour la halite NaCl) et de potasse (densité de 2,10 pour la sylvite KCl), et d'impuretés (densité 2,2 à 2,4) renfermant des argiles, des carbonates, des sulfates (gypse, anhydrite), des traces de silice, d'oxydes métalliques, de sulfates et de carbonates ;
- le volume résiduel après foudroyage des tailles : qui dépend également de deux paramètres :
 - la répartition, connue avec une bonne précision, des vides miniers en tailles (90%) et en galeries (10%) ;
 - le volume des terrains affaissés, estimé à 95% par les MDPA et dans les études antérieures, mais réévalué par l'INERIS (voir plus loin l'étude géomécanique) en se basant sur la comparaison des affaissements observés en surface (par digitalisation de données topographiques superficielles) avec les volumes excavés ; l'INERIS retient sur tout le bassin potassique un taux de 20% sur la base d'une étude réalisée en 2007 et conduisant à 35% avec certaines incertitudes ; les calculs ont également été faits, à titre de comparaison, avec les hypothèses à 5% et 10% ;
- l'impact de l'air résiduel piégé dans les vides souterrains sur la durée moyenne d'ennoyage (à la demande du Président du COPIL) : une partie des vides souterrains pourra être remplie d'air piégé dans les points hauts et les culs-de-sac par la remontée de la saumure. Sur la base d'un volume de vides remplis d'air atteignant 10% du volume de vides total, les résultats du calcul indiquent que l'impact de l'air piégé sur la durée moyenne d'ennoyage du secteur ouest serait (dans le scénario de référence) inférieur à 2% ; ce phénomène a donc été négligé.

• Débit d'entrée d'eau :

Le scénario de référence adopté par l'INERIS correspond à l'ennoyage progressif de la mine par percolation d'eau de la nappe alluviale d'Alsace à travers les 15 puits remblayés du secteur ouest. Le débit de percolation est l'un des paramètres majeurs affectant l'évolution à long terme des MDPA et de StocaMine. Il a en effet un impact certain sur la durée d'ennoyage des MDPA et donc sur le débit d'épanchement en fin d'ennoyage, puisque ce dernier dépendra du volume de vides résiduels effectivement ennoyés.

On ne dispose pas des valeurs réelles de ce débit de percolation qui doit donc être estimé sur les bases suivantes :

- cheminement préférentiel de l'eau de percolation (à l'intrados et/ou à l'extrados des puits) ;
- perméabilité (ou transmissivité) de ces voies de cheminement préférentiel.

Les études antérieures à celle de l'INERIS ont systématiquement considéré que la seule voie d'entrée d'eau était due à sa percolation descendante à travers les bouchons de cendres qui colmatent les puits. Sur la base d'une seule valeur de perméabilité, mesurée sur le bouchon d'un seul puits, un débit d'ennoyage d'environ 22 000 m³/an avait été pris en compte pour le secteur ouest (1800 m³/an pour la mine Amélie isolée). Cette hypothèse, qui privilégie les circulations à l'intrados des puits et considère que leur dégradation restera modérée au cours du temps, a été considérée par l'INERIS comme peu plausible sur le long terme.

Après la mise en évidence, par traçage géochimique naturel, des circulations préférentielles à l'extrados des puits Amélie 2 et Max, l'INERIS a privilégié une circulation d'eau à l'extrados des puits. Par comparaison avec les valeurs actuellement mesurées à la base de ces deux puits, l'INERIS a considéré que le débit actuel de percolation devait être proche du débit d'exhaure en cours d'exploitation, soit 58 000 m³/an pour le secteur ouest et 5100 m³/an pour la mine Amélie isolée.

Cependant, dans le long terme, l'INERIS a considéré que ce débit pourrait évoluer avec le vieillissement des puits et le développement de chenaux de dissolution du sel par l'eau douce à l'extrados des puits. Le scénario de référence de l'INERIS a ainsi été basé sur une dégradation totale de l'équipement des puits à terme avec un retour à des débits se rapprochant de ceux observés après leur fonçage en régime stationnaire, soit environ 100 000 m³/an pour le secteur ouest dont 10 000 m³/an pour la mine Amélie isolée. Cette hypothèse est sécuritaire, avec des débits moindres les durées d'ennoyage seraient plus longues.

• Impact du fluage des terrains salifères :

Le fluage est l'autre paramètre majeur qui entre en compte dans le calcul de la durée et du temps d'ennoyage, donc également du débit d'épanchement de saumure. En effet, pendant que les vides miniers sont remplis par percolation d'eau à travers les puits colmatés, ils se referment sous l'effet du fluage du sel.

La vitesse de fermeture des vides miniers est fonction de plusieurs autres paramètres (détaillés plus loin dans l'étude géomécanique) :

- la vitesse de convergence des vides miniers à une profondeur donnée qui dépend du type de vides :
 - o dans les tailles foudroyées, le mécanisme prépondérant est la compaction des vides résiduels qui se produit à une vitesse de l'ordre de 0,1% par an, avant l'ennoyage ;
 - o dans les voies, la vitesse de fluage est de l'ordre de 1% par an à la profondeur du stockage.
- l'évolution de cette vitesse en fonction de la profondeur et de la date de creusement : faute d'une connaissance suffisante de la répartition des vides par date de creusement et par tranche de profondeur, l'étude d'ennoyage de l'INERIS a considéré que les vides situés à des profondeurs supérieures à 750 m étaient pratiquement fermés, comparés à ceux situés à des profondeurs inférieures (cette partie profonde représente un pourcentage négligeable de la totalité des vides) ;
- l'évolution de cette vitesse dans le long terme après l'ennoyage : d'après les résultats de l'étude géomécanique réalisée par l'INERIS, la vitesse de compaction des terrains foudroyés diminue d'un facteur 10 après l'ennoyage. Elle est estimée à 0,01% par an à la fin d'ennoyage. Sa valeur diminue ensuite lentement pour s'annuler à très long terme lorsque tout le vide résiduel est fermé par fluage (typiquement sur une période de 10 000 ans).

• Durée d'ennoyage et débit d'épanchement de saumure :

En tenant compte des paramètres précédemment évoqués, la durée d'ennoyage des vides miniers après le colmatage des derniers puits a été estimée à 300 ans dans le scénario de référence, basé sur un débit d'ennoyage de 100 000 m³/an et sur un volume des vides résiduel des tailles foudroyées atteignant 20% de leur volume initial.

L'incertitude sur cette valeur est de l'ordre d'un siècle, selon l'hypothèse de débit d'ennoyage et/ou celle de porosité résiduelle des tailles foudroyées, adoptées par l'INERIS.

Hypothèse sur le taux de vides après affaissement →		Haute (20%)	Moyenne (10%)	Basse (5%)
Hypothèse de débit	Haute (105 000 m³/an)	300 ans	200 ans	120 ans
	Moyenne (58 000 m³/an)	420 ans	300 ans	200 ans
	Basse (22 000 m³/an)	650 ans	500 ans	350 ans

Légende : les données du scénario de référence sont en caractères gras

Tableau 51 : Durée d'ennoyage approchée des vides miniers selon les scénarios retenus dans le secteur ouest

A la suite de l'ennoyage, le débit total d'épanchement de saumure lentement poussée vers l'extérieur par le fluage du sel a été estimé à environ 3000 m³/an par les 15 puits du secteur ouest, dont 680 m³/an sortiraient par les puits de la mine Amélie. Il n'est pas possible, en l'état actuel des connaissances, de savoir si ce débit serait réparti dans les 5 puits de la mine Amélie (à savoir Joseph, Else, Max, Amélie 1 et 2) ou seulement par les 2 puits les plus proches du site de stockage (Joseph et Else).

Comme indiqué précédemment la valeur obtenue de 680 m³/an est majorante parmi les autres valeurs possibles en fonction de l'hypothèse choisie de débit d'ennoyage et/ou de porosité résiduelle des tailles foudroyées. En première approximation, une valeur plus faible pourrait induire une moindre dilution de la saumure polluée sortant des barrières du stockage, et donc laisser penser à un impact plus fort sur la qualité de l'eau de la nappe d'Alsace. Cependant, cela ne reste vrai que si le débit de saumure polluée est constant, ce qui est difficile à vérifier tant les données nécessaires à ce calcul sont intimement interdépendantes. En effet, la dilution de la saumure contaminée par les déchets dans celle issue des terrains foudroyés dépend des débits de ces deux saumures. Or, le débit de la saumure contaminée est fortement lié à la vitesse de compaction des déchets qui peut varier considérablement en fonction de plusieurs facteurs tels que le fluage du sel, l'ennoyage du stockage et la performance des barrages autour du stockage. Cela justifie le recours par l'INERIS à une modélisation fine de l'impact du stockage sur la nappe d'Alsace intégrant tous ces facteurs et permettant de calculer le débit massique de polluant arrivant dans la nappe.

Cette étude a utilisé toutes les informations disponibles sur le site. Elle a un caractère prévisionnel et doit donc intégrer des marges d'incertitudes sur des paramètres qu'il n'est pas possible de mesurer directement et qu'il faut donc estimer. L'étude a donc dressé un scénario de référence, basé les mécanismes les plus probables au vu des retours d'expérience sur les sites miniers et du comportement du sel. Ce scénario constitue l'hypothèse la plus probable d'évolution du site mais il intègre également des hypothèses pessimistes dans un souci sécuritaire.

8.2.3. Etude géomécanique du stockage de StocaMine

Les principales études géomécaniques réalisées dans le contexte de SocaMine sont les suivantes :

- [2] Vouille, G. (1990). Etude de sûreté d'un projet de stockage de déchets toxiques dans la Mine Amélie. Aspects mécaniques du problème. Ecole des Mines de Paris. Etude réalisée pour le dossier d'autorisation de StocaMine
- [35] Hadj-Hassen, F., Tijani, M. (2006). Actualisation de l'étude de stabilité du stockage de déchets toxiques dans la mine d'Amélie. Ecole des Mines de Paris.
- [47] Hadj-Hassen, F. (2009). STOCAMINE : Evaluation du volume des vides souterrains résiduels après ennoyage, Mines-ParisTech.
- [51] Laouafa, F. (2010). Analyse critique des études géomécaniques du stockage de StocaMine, Rapport d'étude INERIS-DRS-10-108130-04240A, 2 avril.
- [53] Laouafa, F. (2010). Etude géomécanique du stockage de StocaMine, Rapport d'étude INERIS-DRS-10-108130-14273A, 23 avril. Etude de référence du dossier soumis.
- [67] Laouafa, F. (2011). Estimation de la convergence du sondage W3 et des trous de dégazage au toit du stockage de StocaMine, Rapport d'étude INERIS-DRS-11-108130-10474A, 5 octobre.

Les objectifs généraux de ces études peuvent être exprimés comme suit :

- 1- la stabilité géotechnique des galeries de stockage et leur évolution dans le temps ;
- 2- le comportement mécanique des terrains foudroyés après l'exploitation des couches potassiques et leur compaction résiduelle dans le temps ;
- 3- l'impact à long terme de l'exploitation et du stockage sur le comportement mécanique et l'intégrité des terrains de recouvrement jusqu'à la surface du sol ;
- 4- le comportement à long terme des ouvrages d'accès (galeries et puits) et des sondages ;
- 5- le comportement à long terme des Moyens de Maîtrise des Risques (MMR) envisagés.

8.2.3.1. Démarche adoptée pour l'étude géomécanique

De par l'importance de l'échelle de temps intervenant dans l'évaluation de la sûreté à long terme de tout stockage souterrain de déchets (plusieurs milliers d'années), le recours à une modélisation est inévitable. Le modèle employé doit cependant faire l'objet d'une validation préalable, en s'appuyant sur toutes les données et observations disponibles. Cette démarche a bien été mise en œuvre pour l'étude du stockage de StocaMine, en s'appuyant sur de nombreuses mesures in situ réalisées pendant une dizaine d'années. Il s'agit de mesures de convergence des galeries de stockage et de mesures d'affaissement de la surface du sol (MDPA, Mémoire 5 « Les affaissements miniers et la stabilisation des terrains », 2008, p. 556-631).

Des modèles numériques (par la méthode des éléments finis) ont été mis en œuvre par l'INERIS [53] pour l'étude géomécanique du stockage. Il s'agit du code de calcul COMSOL, développé pour la modélisation en 3D et largement utilisé à l'échelle internationale ainsi que le code VIPLEF développé en 2D par l'Ecole des Mines de Paris pour le besoin spécifique des cavités salines. Ces modèles ont permis de prendre en considération les caractéristiques géométriques (chambres, piliers, voies doubles), géologiques (sel, terrains de recouvrement) et minières (longues tailles en 1 ou 2 couches, foudroyage, stots).

Par ailleurs, des lois rhéologiques, validées par des travaux scientifiques reconnus sur le plan international, ont été introduites dans ces modèles. Elles tiennent compte du comportement mécanique spécifique des évaporites (notamment le sel et la potasse), très marqué par le fluage. En effet, il est unanimement admis par la communauté scientifique que les évaporites se comportent comme un fluide très visqueux : tout ouvrage réalisé dans ce type de formations est condamné à se fermer entièrement à long terme. Ce fait a une forte incidence sur la sûreté à long terme du stockage puisqu'il impacte non seulement la stabilité mécanique des ouvrages souterrains mais aussi la capacité de confinement du milieu géologique et le risque de transport de polluants vers l'extérieur. En effet la fermeture progressive de tout l'espace vide souterrain (ouvrages, terrains de foudroyage) sous l'effet du fluage des terrains salifères conduit, à terme, à un épanchement de toute la saumure introduite dans ces vides, consécutivement à leur ennoyage. Ce processus n'est pas propre aux MDPA : il a lieu dans toute mine de sel ennoyée naturellement ou d'une manière accidentelle.

Dans la modélisation géomécanique réalisée par l'INERIS, la loi rhéologique des terrains salifères est celle de Norton (ou Norton Hoff), employée dans de nombreux pays, en particulier dans les contextes du stockage de déchets radioactifs et du stockage d'hydrocarbures en cavités salines. Bien que les études géomécaniques antérieures, réalisées par l'Ecole des Mines de Paris (Vouille, 1990, Hadj Hassen et Tijani, 2006 et 2009) aient été basées sur un modèle rhéologique différent (celui de Lemaitre), l'INERIS a justifié son choix par les résultats des mesures de convergence des galeries de StocaMine. Ces mesures mettent en évidence que la convergence évolue systématiquement à vitesse constante (fluage dit stationnaire) ce qui est conforme au modèle de Norton alors que le modèle de Lemaitre considère une diminution progressive de la vitesse de fluage et conduit donc à une sous-estimation de la vitesse de fermeture des ouvrages souterrains.

Outre le fluage des évaporites, la modélisation réalisée par l'INERIS tient compte de la fissuration des terrains (endommagement). Les paramètres des modèles utilisés ont été caractérisés à partir de résultats de nombreux essais de laboratoire réalisés sur le sel des MDPA, à proximité du site du stockage. Ces essais, très précis et complets, ont été conduits à l'Ecole Polytechnique, dans les années 1990, dans le cadre de projets de recherche européens, menés en collaboration avec l'ANDRA. Ces travaux ont fait l'objet de trois thèses de doctorat (Kazan 1994, Thorel 1994 et Cosenza 1996) et de plusieurs publications scientifiques.

Ainsi la prévision à long terme du stockage, sur laquelle se fonde ce dossier, s'appuie sur le trépied « essais de laboratoire - modèle numérique - données in situ » reposant sur un socle scientifique solide, validé à l'échelle internationale.

8.2.3.2. Phénomènes, données et incertitudes

Les résultats de l'étude géomécanique sont analysés de deux points de vue :

1. l'impact du fluage de la formation salifère, notamment du sel gemme, sur la fermeture progressives des galeries et la compaction des terrains de foudroyage et des déchets ;
2. la stabilité mécanique des galeries, du stockage (piliers, chambres, toit), des stots et des terrains de recouvrement.

Ces aspects, plus ou moins liés, revêtent une importance majeure dans le contexte de StocaMine puisque, d'une part, l'imperméabilité du milieu géologique ne doit pas être compromise par un endommagement étendu des terrains et, d'autre part, l'impact du fluage du sel sur l'expulsion de la saumure contaminée doit être maîtrisé sur le long terme.

a - FERMETURE PROGRESSIVE DU STOCKAGE

Le comportement du stockage fait l'objet d'auscultations depuis une dizaine d'années. Le rapprochement progressif des parements des galeries desservant le stockage est mesuré en 44 points. On dispose de courbes d'évolution de la convergence verticale ou horizontale, ce qui constitue une source d'information importante et précise sur le comportement du stockage et son évolution dans le temps.

Toutes les mesures montrent un rapprochement lent des parements des galeries, à vitesse constante (à l'échelle du temps de mesure au moins). Cette évolution est tout à fait conforme au comportement du sel gemme modélisé par la loi de Norton (fluage dit stationnaire). La valeur moyenne de la vitesse de fermeture verticale du stockage est de 2,6 cm/an soit 0,9% par an, compte tenu de la hauteur des galeries qui est de 2,8 m, en moyenne. Ces vitesses sont statistiquement représentatives du stockage dans son ensemble, pendant toute la période précédant le contact « toit-déchets » qui interviendra dans une période estimée entre 10 et 30 ans, selon les blocs de stockage. Il ne restera alors que l'espace vide entre les fûts et à l'intérieur des fûts et des big-bags (porosité des déchets). Le volume de ces vides est estimé à environ 7000 m³ ce qui correspond à 1/3 du volume des 44000 tonnes de déchets stockés dont la densité serait portée à 2 au moment de l'ennoyage par la convergence du stockage.

Cette valeur de porosité estimée à 33% ne pouvant pas être vérifiée in situ, son incidence sur les résultats des différents calculs (mécanique, transport) a fait l'objet d'une étude de sensibilité. Aucune influence notable de ce paramètre n'a été mise en évidence dans une plage de variation assez étendue allant de 20% à 45%. Il convient de préciser qu'une valeur de porosité de 45% correspond à un assemblage lâche (billes sphériques de même diamètre) alors qu'une porosité de 20% est pratiquement impossible à atteindre sans compaction préalable (sous contrainte ou par vibration).

Notons également qu'après le contact « toit-déchets », le volume des vides résiduels intra-déchets diminuera très lentement sous l'effet du fluage du sel qui ralentira, lui-aussi, puisque les déchets compactés deviendront de plus en plus raides, s'opposant ainsi au fluage. La vitesse de convergence diminuera alors sensiblement dans le temps mais ne s'annulera qu'à très long terme (sur plusieurs milliers d'années) lorsque la pression développée par la résistance des déchets à la compaction deviendra égale à la contrainte naturelle régnant dans les terrains.

b - CONVERGENCE DES VOIES DOUBLES

Le modèle géomécanique, une fois validé par les mesures de convergence de StocaMine, a été jugé apte à la prévision du comportement d'autres ouvrages des MDPA. Il a donc été mis en œuvre pour la modélisation des voies doubles parcourant le stockage et la mine. Les résultats obtenus indiquent une vitesse de convergence de 0,9% par an à la profondeur du stockage, valeur sensiblement identique à la vitesse moyenne actuelle du fluage du stockage. Cependant, la vitesse de fluage des galeries dépend fortement de la profondeur. Ainsi, le temps nécessaire à la fermeture mécanique d'une voie double varie de quelques années à 1000 m de profondeur à deux siècles si la profondeur est inférieure à 500 m (niveau des ouvrages les moins profonds situés au-dessus du stockage).

On peut donc affirmer avec certitude qu'à la fin de l'ennoyage qui interviendra dans quelques siècles, toutes les galeries des MDPA seront mécaniquement fermées et que les vides souterrains seront constitués exclusivement par la porosité résiduelle des terrains foudroyés qui ne sera entièrement fermée, quant à elle, que sur plusieurs milliers d'années.

Il s'agit par ailleurs d'une fermeture mécanique et non hydraulique. Cela signifie que les galeries très déformées par fluage ne seront plus accessibles à l'homme mais peuvent l'être à la saumure au travers des espaces interstitiels disponibles entre les blocs déformés. La porosité et la perméabilité des galeries mécaniquement fermées ne seront donc pas nécessairement nulles. De ce fait, les galeries d'infrastructures des MDPA constituent potentiellement des chemins de transit de la saumure pendant et après l'ennoyage.

c - COMPACTION DES TERRAINS FOUDROYÉS

La prévision à long terme de la compaction des terrains foudroyés par fluage des formations salifères s'est appuyée, là encore, sur les mesures in situ. Les données d'affaissement de la surface du sol, mesuré par les MDPA pendant environ 10 ans, ont permis de procéder à une prévision réaliste de la vitesse de compaction des terrains foudroyés, paramètre essentiel pour l'évaluation de l'impact à long terme du stockage.

En effet, toutes les courbes d'affaissement présentées dans le mémoire n°5 des MDPA mettent en évidence une évolution lente, quelques années après le foudroyage du toit des chantiers d'exploitation minière. Cette phase dite résiduelle se poursuivra jusqu'à l'arrêt du processus de compaction (consolidation) des terrains foudroyés. Elle ne s'arrêtera qu'après leur compaction parfaite (absence de tout espace vide), phénomène intervenant à très long terme sur plusieurs milliers d'années.

Par ailleurs, toutes les courbes d'affaissement disponibles mettent en évidence une évolution résiduelle pratiquement linéaire sur la période de mesure d'une dizaine d'années. Elles sont caractérisées par une vitesse d'affaissement de 0,7 à 1 cm/an ce qui, compte tenu de l'ouverture de l'exploitation (4 à 5,5 m suivant que seule la couche inférieure ou que les deux couches de potasse ont été exploitées), revient à une vitesse relative de 0,1 à 0,25% par an. Cette vitesse étant susceptible de diminuer dans le temps consécutivement à la compaction de la taille, la valeur de 0,1% par an retenue par l'INERIS pour la durée d'ennoyage (quelques siècles) semble tout à fait prudente. Elle a servi au calage du modèle de compaction développé pour la prévision à long terme du fluage des terrains foudroyés.

d - IMPACT DE L'ENNOYAGE SUR LE FLUAGE

L'influence de l'ennoyage sur le fluage du sel se déduit facilement de la loi rhéologique de ce matériau. La pression exercée par la saumure sur la paroi des structures souterraines fait diminuer d'environ un facteur 10 la vitesse de fluage. Ainsi, à la fin de l'ennoyage, la vitesse de compaction des terrains de foudroyage a été estimée par l'INERIS à 0,01% par an. La vitesse d'affaissement résiduel de la surface sera alors au plus de 1 mm/an. C'est une valeur imperceptible et sans impact sur la vulnérabilité des bâtiments et des structures.

e - VOLUME DES VIDES RESIDUELS ET SON EVOLUTION DANS LE TEMPS

La durée de l'ennoyage et le processus de transport de contaminants dépendent aussi bien de la vitesse de fluage que du volume des vides susceptibles d'être remplis par la saumure. Le volume des galeries est négligeable devant celui créé par l'exploitation : le ratio initial (avant fermeture par fluage) est voisin de 5% mais, comme cela a été déjà précisé, dans la mesure où les galeries sont fermées au bout de deux siècles au maximum (à 500 m de profondeur), seuls les vides résiduels des terrains de foudroyage sont à prendre en compte sur du long terme.

Par ailleurs, une part importante du volume exploité par longues tailles est comblé rapidement par le foudroyage. Ce fait est attesté par la valeur du coefficient d'affaissement qui se traduit par le ratio « volume affaissé en surface du sol / volume exploité ». Ce coefficient est estimé à 0,9 par les MDPA, quelques années après l'exploitation. Cette valeur est jugée trop élevée par l'INERIS qui a constaté que des coefficients d'affaissement élevés ne peuvent être obtenus que sur des exploitations très étendues (qualifiées de sur-critiques où la largeur des panneaux exploités dépasse la profondeur) et situées à grande profondeur. Or 75% du volume exploité aux MDPA se trouve à moins de 650 m de profondeur. De plus, dans bien des cas, l'exploitation est sous-critique (largeur exploitée inférieure à la profondeur) ce qui conduit aux faibles valeurs du coefficient d'affaissement.

Ce constat a conduit l'INERIS à évaluer le coefficient d'affaissement en calculant le ratio « volume d'affaissement / volume exploité » à partir de la carte d'affaissement (réalisée par le BRGM) et du plan du fond. Compte tenu de la précision des cartes et des incertitudes liées au contour de la cuvette d'affaissement, cette étude a conduit à retenir une valeur moyenne du coefficient d'affaissement de 0,8 pour l'ensemble de l'exploitation, soit entre 0,7 et 0,9 pour des profondeurs variant de 500 à 1000 m. Ainsi, le volume des vides après le foudroyage correspond en moyenne à 20% du volume exploité. Ce volume se réduisant par fluage, il est estimé à environ 30 millions m³ à la fin de l'ennoyage (dans 3 siècles). Cette évolution se ralentira ensuite considérablement puisque la vitesse de compaction résiduelle diminuera d'un facteur 10 après l'ennoyage. On peut estimer, en première approximation, que tout le vide résiduel sera entièrement refermé par fluage au bout d'une centaine de siècles (10 000 ans).

Il s'agit d'une tendance globale pour toute l'exploitation. Il faut se garder d'en déduire qu'il n'existe aux MDPA aucune taille ou galerie déjà fermée. Bien au contraire, des ouvrages anciens entièrement fermés ont été rencontrés par des travaux postérieurs. Toutefois, ces phénomènes locaux observés sur des ouvrages soumis à des fortes contraintes ne doivent pas être considérés comme généralisables à l'ensemble de l'exploitation.

f - STABILITE DES OUVRAGES SOUTERRAINS

Les résultats de la modélisation [53] sont en accord avec les observations sur le fait que les ouvrages du stockage sont affectés par plusieurs types d'instabilités géotechniques :

1. la fissuration / fracturation de piliers des voies doubles, plus ou moins étendue selon le pilier ;
2. le soufflage du mur des galeries ;
3. le décollement du toit du stockage, en particulier dans le secteur le plus profond situé à -25 m sous le niveau exploité. Ce fait, qui tient au litage marqué du toit entre -23 m et -25 m, est responsable d'importants désordres au niveau des bloc 15, 16, 25, 26 ;
4. le poinçonnement induit par l'existence d'un stot non exploité dans la mine à l'aplomb d'une zone du stockage, responsable d'une forte concentration des contraintes dans les blocs sous-jacents ;
5. l'endommagement d'origine thermique lié à l'incendie du bloc 15.

Ces constats permettent d'affirmer avec certitude que les dégradations visibles au fond s'intensifieront dans les années à venir, pendant toute la période transitoire précédant la fermeture des ouvrages par le fluage du sel. En effet, le décollement important du toit de certains blocs rend déjà difficile le retrait potentiel des déchets. De même, l'état de ruine de certains piliers des voies doubles, qui tiennent actuellement par cerclage et boulonnage, soulève de sérieuses interrogations quant à la possibilité d'intervention à court ou moyen terme.

Cependant, les instabilités signalées ci-dessus restent locales et très limitées dans l'espace. Elles ne sont pas de nature à s'étendre au-delà de quelques mètres dans le toit et ne peuvent conduire à un effondrement minier en surface. Certes, les décollements constatés au toit des blocs ne s'arrêtent pas aux seuls bancs visibles et se propagent bien dans le toit. Ce fait a été mis en évidence par l'endoscopie du toit réalisée par StocaMine. Toutefois, la distance affectée par ces décollements est de l'ordre de grandeur de la dimension des galeries et peut difficilement s'étendre jusqu'au niveau exploité, situé 23 à 25 m au-dessus du stockage (soit 8 fois la hauteur des galeries).

De même, les résultats de la modélisation thermomécanique destinée à l'étude de l'endommagement du toit, induit par l'incendie dans le bloc 15, indiquent que même pour une valeur de température très surestimée de 300 °C sur toute la paroi du bloc 15 l'endommagement provoqué par la température ne peut s'étendre jusqu'au niveau de l'exploitation sus-jacente. Même dans cette hypothèse hautement improbable, l'endommagement des matériaux s'atténue dans le toit et reste négligeable au mur de l'exploitation.

Pour cerner l'impact de l'endommagement du sel sur la perméabilité de ce matériau, celle-ci a été estimée par l'INERIS, à l'aide d'une relation empirique entre la porosité et la perméabilité du sel, proposée par les Allemands (Rothfuchs, 2004) à partir des expériences de laboratoire et in situ.

Bien que purement indicatifs, sujets à de fortes incertitudes et non vérifiés à StocaMine, ces résultats suggèrent que la perméabilité de la zone endommagée en paroi des galeries et au toit du stockage peut être supérieure, de plusieurs ordres de grandeur, à la perméabilité du sel intact. Cela est conforme aux

mesures in situ réalisées en Allemagne et aux Etats Unis (Stormont, 1991) et explique le recours envisagé à des essais in situ de perméabilité, dans le cadre des mesures de maîtrise des risques liées à la sûreté à long terme du stockage dans le but de cerner et traiter les éventuelles discontinuités susceptibles de créer un court-circuit hydraulique autour des barrières ouvragées.

g - STABILITE DU STOT DE SEPARATION ENTRE LES MINES AMELIE ET MARIE-LOUISE

Comme cela a déjà été précisé, la mine Amélie située au sud du secteur ouest des MDPa (partie la moins profonde) a été séparée de la mine Marie-Louise en laissant un stot (sel et potasse) d'une quarantaine de mètres de largeur. Nous avons vu que l'étude hydrogéologique réalisée par l'INERIS [55], comme les études antérieures, s'est basée sur deux hypothèses : existence d'un stot étanche et absence d'une étanchéité du fait du percement ou de la fissuration de ce stot. Le rapport de l'INERIS sur l'ennoyage [55] met en évidence que la largeur du stot varie considérablement d'un point à l'autre et atteint localement des valeurs très faibles, de 4 m au minimum.

L'INERIS s'est interrogé sur la stabilité et l'étanchéité du stot dans la mesure où, de part et d'autre de celui-ci, se trouvent des longues tailles foudroyées provoquant d'importantes concentrations de contraintes sur le stot. Cette question a fait l'objet d'une modélisation numérique [53].

Les résultats obtenus indiquent que si la largeur du stot est inférieure à 20 m, celui-ci se trouve en état de ruine (fracturation intense traversant toute la largeur). Des largeurs de quelques mètres, même très locales, portent donc à considérer que la stabilité et l'étanchéité du stot de séparation entre les mines Amélie et Marie-Louise ne sont pas assurées. Il existe donc bien une possibilité de communication hydraulique entre ces deux mines.

Ce résultat paraît d'autant plus plausible que le retour d'expérience des mines de sel met en évidence une possibilité de communication au travers du massif, comme c'est le cas, toute proportion gardée, de l'ancienne mine d'Asse en Allemagne..

h - IMPACT DES SONDAGES

Parmi tous les forages de reconnaissance recensés par les MDPa, un seul se trouve à l'intérieur des blocs de StocaMine, d'après ses coordonnées. Il a atteint la profondeur de 554 m et a traversé les deux couches de potasse. Il s'agit du sondage WIII ou Wittelsheim III. Le sondage aurait été rencontré après guerre lors des travaux d'exploitation de la mine Amélie et traité par injection de béton et/ou par remblayage.

Toutefois, étant donné les incertitudes sur l'état de l'ouvrage au niveau de la zone du stockage (remblayé jusque là ? état du matériau) l'INERIS a indiqué que même si l'ouvrage était remblayé mais que le matériau de remplissage n'était pas consolidé, le sondage WIII constituerait une voie de transport potentiel de la saumure contaminée entre le stockage et le niveau minier exploité.

Pour lever cette incertitude et traiter si nécessaire cet ouvrage, le sondage a donc été recherché en avril 2013. Il a été retrouvé (vide au niveau du stockage) et sera donc traité.

L'INERIS a également étudié l'impact des trous de dégazage, de quelques mètres de longueur, réalisés au toit des MDP (dégazage du grisou présent dans le banc de marnes situé une dizaine de mètres au-dessus du toit du stockage).

En mettant en œuvre le modèle validé par les mesures in situ, cette étude a conclu que la fermeture complète des ces sondages par fluage du sel n'interviendra que dans 5 à 6 siècles. Les trous de dégazage ne seront donc pas entièrement fermés lorsque le niveau d'envoyage atteindra le toit du stockage (sans préjuger de la performance des barrières et d'autres moyens de maîtrise des risques). Toutefois, comme ces trous débouchent dans le niveau marneux du toit, une distance de garde d'une dizaine de mètres existe encore entre l'extrémité des trous et le niveau d'exploitation sus-jacent. Cette distance de garde permet d'admettre qu'il n'y a pas de voie de communication verticale entre le stockage et l'exploitation, tant qu'un court-circuit horizontal ne peut avoir lieu entre deux trous de dégazage qui seraient situés en amont et en aval d'une des barrières mises en place en périphérie du stockage. Ce scénario fera l'objet, avant mise en place des barrières, de vérifications spécifiques menant si nécessaire à une imperméabilisation des forages par injection.

L'étude du comportement géomécanique des galeries de StocaMine et des anciens travaux des mines de potasse en lien avec le stockage a nécessité une modélisation mathématique du site.

Comme toutes les modélisations, des incertitudes existent sur les paramètres qui décrivent le milieu, parfois non homogène ou mal connu. Toutefois, concernant le stockage souterrain, la modélisation a pu se caler sur les mesures actuelles réalisées dans le cadre du suivi du site, qui est instrumentalisé. De plus, la modélisation présente l'intérêt de pouvoir faire varier les facteurs sur lesquels des incertitudes existent afin de voir les conséquences sur les résultats associés et de retenir ensuite des valeurs à la fois réalistes et sécuritaires. Les prévisions réalisées sont ainsi conformes aux règles de l'art et aux connaissances actuelles.

L'étude a permis également d'orienter StocaMine vers un programme d'investigations complémentaires permettant de préciser les caractéristiques des ouvrages à mettre en place et les précautions préalables (concernant les anciens trous de sondes, la zone décomprimée des galeries, ...).

8.2.4. Etude du terme source

Cette étude s'intéresse au « terme source » de la pollution potentiellement issue des déchets stockés. L'examen de ce terme source, préalable à l'évaluation de l'impact toxique et écotoxique des substances, implique la caractérisation de la nature des polluants. Mais elle traite aussi de la quantité et du comportement (cinétique de rejet) de chaque type de polluants dans un milieu comme l'eau ou l'air.

Les principales études réalisées dans ce domaine sont les suivantes :

- [30] *Stockage souterrain de Wittelsheim : évaluation des risques suite au confinement de déchets dans la mine. Risques dus aux substances chimiques, BMG Engineering AG, juillet 2004.*
- [56] *Evaluation du terme source dans le scénario du stockage illimité : calculs des quantités de contaminants stockés, et des concentrations potentielles en solution et en phase gazeuse en cas d'envoyage, rapport INERIS-DRC-10-108130-12610B, 03/10/2011*
- [75] *HENNEBERT P. – Modélisation complémentaire du terme-source en fonction des scénarios de déstockage étudiés – INERIS-DRC-12-127684-01606A – Février 2012*

8.2.4.1. Estimation des constituants des déchets

L'INERIS a recalculé en trois temps les quantités de polluants stockés. Il a d'abord établi une première approche de la quantité de polluants à partir de deux séries de données : les masses des déchets stockés connues par les Certificats d'Acceptation Préalable (CAP) et la teneur moyenne en polluants (déterminée à partir des analyses de contrôle pratiquées à l'arrivée des lots). Une fois récupérées les données complémentaires sur les masses de déchets par lot, les quantités de polluants ont ensuite pu être précisées en croisant les masses avec les concentrations de chaque lot. Enfin, les masses de palettes, fûts et plâtres ont été soustraites afin d'obtenir la masse nette de déchets. Ce calcul a fait apparaître que les teneurs en polluants dans les déchets sont très variables pour un même type de déchet. Par ailleurs, les polluants sont répartis de manière très hétérogène au sein du stockage.

En dépit de ces investigations, l'INERIS considère que l'incertitude pesant sur la masse de chaque élément de déchets est de l'ordre de $\pm 50\%$ de la valeur moyenne. Cette incertitude est essentiellement liée à la méthode d'analyse semi-quantitative par fluorescence X, opérée préalablement au stockage. Néanmoins, elle a été prise en compte dans l'évaluation de l'impact du stockage sur la nappe d'Alsace.

8.2.4.2. Approche par modélisation géochimique

Le potentiel de lixiviation des contaminants présents dans les déchets stockés a été estimé selon deux scénarios d'envoyage (comme cela a été déjà précisé dans l'étude de comparaison des scénarios) : en l'absence de barrières où le volume emprunté par les produits contaminés a été estimé à 6,8 millions de m³ et en présence des barrières où les déchets ne sont en contact direct qu'avec 7000 m³ de saumure.

Une première approche par excès, mise en œuvre par BMG, avait consisté à considérer que la totalité des contaminants stockés, potentiellement solubles dans l'eau, était dissoute dans la saumure. La deuxième approche plus réaliste, retenue par l'INERIS, a consisté à prendre en compte les réactions chimiques entre les déchets, au contact de la saumure et à considérer aussi bien la dissolution de certains éléments que la précipitation d'autres substances. Ainsi les concentrations ont été calculées par une modélisation géochimique à l'équilibre avec des phases minérales secondaires.

Des simulations d'équilibre d'une saumure à 35 °C (température du massif au niveau du stockage souterrain) et en présence de gypse (ajouté comme desséchant à certains déchets) à pH 8,8 et 11,8 (calculés à partir des données de laboratoire) ont été réalisées en utilisant le logiciel Visual MINTEQ v3.0 et la base de données MINTEQ v3.0). Pour une eau de composition donnée, la thermodynamique à l'équilibre prévoit que la concentration en solution de chaque élément soit fixée par le produit de solubilité de la phase solide la moins soluble contenant cet élément. Si le produit de solubilité de la phase la moins soluble n'est pas atteint, alors l'élément ne précipite pas.

Précisons que la base de données spécifique aux conditions salines (Pitzer), conditions qui prédominent dans le cas étudié, n'a pas pu être exploitée, dans la mesure où cette base ne comporte pas tous les contaminants d'intérêt pour le stockage StocaMine.

8.2.4.3. Mise en solution des contaminants

La modélisation a mis en évidence que la solubilité des polluants dans la saumure sera influencée par l'équilibre géochimique du milieu : la libération de certains polluants (plomb, nickel, baryum, arsenic, cadmium...) sera limitée, ce qui ne sera pas le cas d'autres polluants (essentiellement mercure, chrome et antimoine), dont les concentrations à la source resteront élevées quelles qu'en soient les conditions.

Le calcul du pH du stockage après la mise en contact des déchets avec la saumure indique un milieu alcalin (basique). Pour les éléments traces métalliques (ETM), à l'équilibre chimique, deux catégories de polluants se distinguent :

- Les polluants dont le potentiel de dissolution est limité par des minéraux qui sont insolubles au niveau de pH du stockage (hydroxydes). En d'autres termes, ces polluants, en se combinant avec ces minéraux insolubles, précipiteront dès que leur produit de solubilité sera atteint. La quantité de polluants libérés est donc dépendante du volume de saumure et non de la quantité de polluants présents au sein des déchets (concentrations de l'ordre du µg/L au sein du stockage).
- Les polluants dont le potentiel de dissolution n'est pas limité par saturation, du fait de leur complexation⁷⁷ par les chlorures et les cyanures. Dans les conditions du stockage, la quantité de polluants libérés n'est pas fonction du volume de saumure : elle est proportionnelle à la quantité de polluants présents au sein des déchets (concentrations de l'ordre du mg/l au g/l au sein du stockage). Sous cette forme complexée, ces polluants ne précipitent pas car la masse de polluants présents dans les déchets n'est pas suffisante pour que leur produit de solubilité soit atteint.

⁷⁷ : Phénomène dans lequel une structure chimique se forme par association de deux ou plusieurs entités chimiques indépendantes, ions ou molécules.

Dans la saumure polluée du stockage, l'impact du baryum, du bismuth, du cobalt, du plomb, du nickel et du cadmium sera limité en fonction du volume de saumure, alors que ce ne sera pas le cas du mercure et du chrome dont les concentrations à la source seront élevées quelles que soient les conditions d'ennoyage. L'arsenic, polluant le plus présent en quantité dans les déchets, est une substance dont le comportement est intermédiaire : elle peut précipiter sous forme d'arséniate de calcium et de baryum, moins insoluble. Ses concentrations seront donc dépendantes du volume de saumure et non de la masse d'arsenic présent dans les déchets.

a - INCERTITUDES SUR LE PARAMETRE ANTIMOINE

Une première incertitude demeure sur le comportement de l'antimoine. En effet, dans les eaux, l'antimoine existe principalement sous deux degrés d'oxydation : Sb(V), forme la plus oxydée, très soluble et Sb(III), moins soluble. Cette dernière forme est considérée comme plus toxique, car susceptible d'interagir plus facilement avec les systèmes biologiques. Compte tenu des phénomènes de complexation, la première incertitude porte sur l'apparition possible ou non, dans le milieu alcalin qui baignera le stockage, d'une forme tétravalente Sb(IV). Or contrairement aux deux autres formes, le calcul de la concentration précise de cette espèce est impossible, en l'état actuel des connaissances scientifiques ; seul un ordre de grandeur est évaluable.

Une seconde incertitude porte sur la toxicité à prendre en compte, pour cet élément, dans l'évaluation de l'impact sur le long terme : les conditions chimiques de la nappe d'Alsace laissent envisager des conditions oxydantes favorables à l'apparition de la forme pentavalente Sb(V), la moins toxique, mais cette hypothèse n'est pas confirmée.

b - INCERTITUDES SUR LES CONCENTRATIONS DES PRINCIPAUX ELEMENTS

La modélisation géochimique a permis de calculer les concentrations en différents éléments dans le stockage (terme source). En présence des barrières, on note par exemple une concentration de 7,52 g/l pour le mercure (Hg), de 7,07 g/l pour le chrome (Cr) et de 0,189 g/l pour l'antimoine (Sb). Ces valeurs élevées seront diluées à deux reprises : d'abord dans la saumure du réservoir minier puis, à la sortie des puits, dans la nappe d'Alsace. Elles ne sont donc pas de nature à être comparées directement avec des valeurs réglementaires pour l'Alimentation en d'Eau Potable (AEP).

Par ailleurs, les concentrations indiquées ci-dessus sont bien inférieures aux concentrations en saturation des différents composés. Par exemple, la concentration en saturation du chlorure de mercure est supérieure d'un ordre de grandeur à la valeur calculée pour le mercure à l'état métallique. De ce fait, les déchets contenant du mercure continueront à être dissous dans la saumure à long terme tant que la porosité des déchets restera supérieure à environ 10% de la valeur initiale.

8.2.4.4. Concentrations dans l'air

Des mesures de concentrations dans l'air souterrain ont montré que ce dernier ne présente pas de traces d'activité biologique mais on observe une légère activité chimique due au dégazage des déchets, sans formation d'émissions toxiques.

Les études de l'INERIS sur les concentrations de polluants dans l'air montrent que les conditions ne sont pas réunies pour générer des émissions gazeuses d'arsine (AsH₃), de mercure (Hg°), d'acide cyanhydrique (HCN_g) ou de phénols (composés aromatiques C₆H₅-OH). La complexation des métaux et le pH élevé du stockage pourraient même contribuer à réduire le potentiel d'émission de polluants gazeux (notamment d'acide cyanhydrique) après l'ennoyage.

StocaMine dispose d'une base de données précise sur la composition des déchets stockés dans ses galeries. Cette base de données a été étudiée précisément pour définir les tonnages et caractéristiques des éléments polluants stockés. L'hétérogénéité potentielle des déchets a été prise en compte.

La difficulté de cette étude concernait le comportement des éléments polluants, présents sous différentes formes, au contact potentiel de saumure dans un environnement souterrain, confiné, avec pression et température élevées.

Les concentrations étant fonction du volume de saumure disponible pour diluer les polluants, les résultats de l'étude sont soumis aux incertitudes évoquées pour les études précédentes.

Là encore il a été possible de faire varier certains paramètres pour voir l'impact des incertitudes sur les résultats et retenir des valeurs à la fois réalistes et sécuritaires.

8.2.5. Etude d'impact sur la nappe et moyens de maîtrise des risques

Au fur et à mesure de l'avancée de ses études sur le contexte hydrogéologique et minier, le comportement des déchets au contact de saumure et la mobilisation potentielle de saumure polluée, l'INERIS a établi plusieurs calculs d'impact sur la nappe d'Alsace.

Ces différents calculs d'impact ont été présentés à StocaMine et au comité de pilotage. Ils ont permis :

- de fixer des ordres de grandeur d'impact en l'absence de barrière de confinement et en cas de remontée de saumure, confirmant ainsi la nécessité de confiner les galeries de stockage pour prendre en compte le risque d'ennoyage complet de l'ancienne mine de potasse jusqu'au site de stockage,
- de préciser les objectifs de ces barrières de confinement pour atteindre, en cas de remontée de saumure polluée jusqu'à la nappe d'Alsace, des teneurs dans la nappe restant de l'ordre du bruit de fond actuel.

8.2.5.1. Démarche adoptée et moyens mis en œuvre

Afin d'évaluer l'impact sanitaire et environnemental des déchets stockés dans les blocs souterrains de StocaMine sur la nappe phréatique d'Alsace, une étude de modélisation hydrodynamique et de transport de la saumure contaminée dans la nappe a été réalisée par le BRGM en mettant à profit son modèle MARTHE, déjà développé et mis en œuvre pour cette nappe. En effet, le BRGM étudie depuis plusieurs années la pollution de la nappe d'Alsace en s'appuyant aussi bien sur les données de surveillance que sur le modèle numérique. L'ensemble des données piézométriques, des stations de captage et des points d'alimentation et d'exhaure est introduit dans un modèle 3D. Il intègre les variations horizontales et en profondeur de cette nappe ainsi que l'évolution de la perméabilité des trois couches qui la constituent.

A la demande de l'INERIS, le maillage du modèle BRGM a été affiné autour des 5 puits de la mine Amélie (Joseph, Else, Amélie 1, Amélie 2 et Max) qui constituent des voies potentielles d'épanchement de la saumure contaminée, à la fin de l'ennoyage du secteur ouest des MDPA. Par ailleurs, l'évolution dans le temps des débits d'épanchement à travers ces puits a été introduit dans le modèle et le BRGM a calculé l'évolution dans le temps et dans l'espace des panaches de saumure autour des puits.

Ces résultats ont été utilisés par l'INERIS pour en déduire les panaches des contaminants, en cas de communication hydraulique entre les déchets et la nappe d'Alsace. Cette évaluation tient compte, d'une part, des concentrations au sein du stockage issues de la modélisation géochimique du terme source et, d'autre part, du comportement hydromécanique du réservoir minier, du stockage et des barrières ouvragées construites à sa périphérie.

8.2.5.2. Différentes étapes de modélisation prédictive

Comme cela a été déjà précisé pour l'étude de comparaison des scénarios, deux scénarios ont fait l'objet d'étude :

- en l'absence de barrières : la saumure remplissant progressivement les vides miniers se contamine au contact des déchets en arrivant au niveau du stockage. Elle remplit ensuite les 6,8 millions de vides miniers sus-jacents de la mine Amélie avant d'atteindre la nappe d'Alsace ;
- en présence de barrières : la saumure qui a réussi à traverser les barrières et qui est contaminée par les déchets est « expulsée » par le fluage du stockage. Elle re-traverse les barrières, se dilue dans la saumure non contaminée contenue dans le réservoir minier et atteint progressivement la nappe d'Alsace. La modélisation simplifie le processus en ne retenant aucun délai entre la sortie de la saumure polluée des barrages à 550 m de profondeur et son arrivée dans la nappe.

Dans les premières études réalisées par l'INERIS, le comportement du stockage et des barrages avait été simplifié en considérant que les terrains foudroyés et le stockage fluaient à la même vitesse. De même, l'interaction entre le fluage, la compaction des matériaux et la percolation de la saumure à travers les barrières avait été négligée dans cette étude préliminaire. Enfin, comme dans toutes les études antérieures, la remontée de la saumure dans les puits a été supposée avoir lieu à l'intrados, à travers les cendres volantes utilisées pour combler les puits. Compte tenu de ces hypothèses, les résultats préliminaires présentés à l'occasion du comité de pilotage du 1^{er} avril 2011 indiquaient un possible dépassement du seuil réglementaire pour l'élément mercure en présence des barrières, alors que les limites réglementaires étaient dépassées pour trois éléments en l'absence de barrières : le mercure, l'arsenic et l'antimoine.

Ces résultats préliminaires ont conduit l'INERIS à vérifier les hypothèses, à étudier des moyens de maîtrise des risques et à procéder à une évaluation plus précise que précédemment des risques résiduels, en tenant compte de l'impact des différentes hypothèses et incertitudes.

Dans ce cadre, les résultats des analyses chimiques réalisées par l'INERIS sur l'eau descendant dans les puits et prélevée au fond de mine ont mis en évidence clairement que, contrairement à l'hypothèse retenue dans les études antérieures, l'eau ne traverse pratiquement pas les cendres volantes à l'intrados des puits. Elle transite essentiellement par l'extrados des puits. C'est donc ce même chemin à plus faible résistance hydraulique qui sera emprunté par la saumure remontant par fluage. Elle atteindra alors la base de l'aquifère d'Alsace. De ce fait, la couche inférieure de la nappe serait potentiellement la plus impactée par la pollution issue du lessivage des déchets.

8.2.5.3. Les barrières

La principale mesure de maîtrise des risques préconisée par l'INERIS consiste à mettre en place, dans toutes les voies d'accès au stockage, des barrages à très faible perméabilité, a priori à base d'argiles du type smectites (bentonites) qui présentent une aptitude au gonflement au contact de l'eau assurant le confinement du stockage. Ce type de disposition est fréquent dans le domaine du stockage de déchets, en particulier pour le stockage de déchets radioactifs. La modélisation a pris en compte que

ces barrières permettaient que la saumure ne puisse sortir du stockage qu'au bout de 1000 ans. Pour s'assurer de cette hypothèse l'INERIS a préconisé des mesures de maîtrise de risques complémentaires (cf. 8.2.5.6). Par ailleurs l'hypothèse d'une sortie de saumure au bout de seulement 500 ans voire 300 ans a été également présentée.

8.2.5.4. Modélisation du transport

La modélisation effectuée a pris en compte la forte interaction entre les phénomènes suivants :

1. le fluage de la formation salifère ;
2. la compaction des terrains de foudroyage ;
3. la compaction des déchets (beaucoup plus faible que la précédente, à terme) ;
4. l'ennoyage des vides miniers et du stockage ;
5. les caractéristiques des barrages telles que leur longueur et leur perméabilité ;
6. l'écoulement de la nappe d'Alsace.

Par ailleurs, la modélisation comporte les étapes suivantes :

- a. évaluation de l'état de compaction atteint par les déchets avant envahissement du stockage par la saumure. Cette phase devra durer au moins 1000 ans pour que la compaction des déchets crée un « effet de ressort » résistant au fluage du sel ;
- b. évaluation du débit potentiel s'échappant à travers les barrages après l'ennoyage du stockage, sous l'effet du fluage des parois du stockage. Le fluage étant ralenti par l'effet conjugué de la pression de saumure et de la réaction exercée sur les parois par la compaction de déchets ;
- c. calcul des concentrations à la sortie des barrières en tenant compte du phénomène de transport par advection (loi de Darcy) et dans une moindre mesure par diffusion (loi de Fick ; phénomène négligeable à moyen terme) ;
- d. calcul des concentrations après dilution dans la saumure provenant de la compaction des terrains foudroyés de la mine (phénomène modélisé par ailleurs) ;
- e. évaluations des panaches de pollution dans la nappe d'Alsace en introduisant, dans le modèle numérique du BRGM pour la nappe d'Alsace, les concentrations résultant de la précédente étape.

8.2.5.5. Impact des hypothèses et des incertitudes

La plupart des hypothèses, des données d'entrée et des incertitudes a déjà été précisée et discutée dans les sections précédentes relatives aux études hydrogéologiques, géomécaniques et géochimiques.

Le seul aspect nouveau est ici la prise en compte des couplages hydromécaniques liés à l'interaction entre le fluage, la compaction (terrains foudroyés, déchets) et la pression de fluides (saumure polluée ou non avec éventuellement une faible quantité d'air piégé). Ces interactions ont été modélisées dans le cadre de la Mécanique des Milieux Poreux Déformables, conformément à l'état de l'art international, approuvé par la communauté scientifique. Le choix des caractéristiques du modèle a été guidé par le souci de précaution, en retenant les hypothèses et les données sécuritaires. En outre, le modèle a été calé, chaque fois que possible, sur des mesures et observations disponibles : données d'affaissement et de convergence, résultats d'analyses, etc.

Enfin l'impact des incertitudes sur la masse des polluants ($\pm 50\%$ des valeurs moyennes) et de l'hypothèse sur le nombre des puits (2 à 5) par lesquels la saumure polluée pourrait s'évacuer a été pris en compte. **Ainsi, les moyens de maîtrise des risques préconisés par l'INERIS (barrières ouvragées retardant de 1000 ans le contact des déchets avec la saumure) permettraient de garder une marge de sécurité significative par rapport aux seuils réglementaires actuels pour les aquifères d'eau potable, même en prenant la borne supérieure de l'incertitude sur la masse des polluants ($+50\%$ des valeurs moyennes) et en considérant que la saumure polluée sortira uniquement par les deux puits les plus proches du stockage (Joseph et Else).** Ce qui n'aurait de sens que dans l'hypothèse peu vraisemblable où le comblement futur des deux derniers puits encore ouverts serait réalisé avec une qualité moindre que celle des autres puits de la mine Amélie, obturés dans le passé.

8.2.5.6. Points d'attention (MMR complémentaires) et facteurs favorables

a - POINTS D'ATTENTION

Les points d'attention identifiés par l'INERIS ont conduit à la définition de Mesures de Maîtrise des Risques (MMR) complémentaires à la réalisation des barrières.

- Les propriétés de la bentonite sont moins performantes en présence de saumure qu'en présence d'eau, tout en restant satisfaisantes avec notamment une perméabilité très faible. De ce fait, l'influence du fluide d'hydratation devra être examinée ou un autre type d'argile pourra être retenu à condition que ses caractéristiques hydraulique soient comparables.
- Le nombre des voies d'accès au stockage est élevé (11) et nécessite de construire de nombreux barrages dans des voies doubles augmentant ainsi le risque de défaillance de l'un d'entre eux.

Ces deux observations conduisent à confier la conception et le dimensionnement des barrières (MMR principale) à un bureau d'ingénierie spécialisé.

- La présence d'une zone endommagée autour des galeries d'accès au stockage peut conduire à une augmentation significative de la perméabilité du sel (cf. mesures in situ aux Etats Unis et en Allemagne), d'où la préconisation de supprimer la zone endommagée (MMR complémentaire). Cette disposition concerne la zone autour des galeries hébergeant les barrages. Elle a pour objectif de s'assurer de l'absence de toute possibilité de fuite des polluants à travers la zone devenue perméable du fait de l'endommagement et qui est susceptible de générer des circulations parasites autour des barrages. Elle consiste à interrompre la continuité de cette zone par une sur-excavation au niveau des futures barrières ouvragées sans créer de nouvelles fissurations et/ou instabilités mécaniques ;
- Pour améliorer la performance des barrages, l'INERIS a également préconisé l'utilisation d'une ou deux galeries existantes autour du stockage comme courts-circuits hydrauliques. Ces galeries demeurant beaucoup plus perméables que le stockage confiné, la saumure pourrait y transiter préférentiellement plutôt que de passer par le stockage. Cette disposition pourrait conduire à maintenir ces galeries ouvertes dans le temps, par exemple en les comblant au moins partiellement avec des matériaux poreux et perméables dépourvus de tout fluage (par exemple, des galets).

D'autres mesures visent à s'assurer de l'isolement du site de stockage par rapport à la mine :

- Mise en œuvre des mesures spécifiques de maîtrise des risques liés à la présence du sondage VIII (retrouvé dans le bloc 25) et des trous de dégazage au toit de certaines chambres du stockage. Des travaux de reconnaissance et des investigations in situ, notamment des mesures de perméabilités, devraient déboucher sur une évaluation des risques spécifiques liés à ces divers orifices ;
- Comblement des galeries du stockage dans l'objectif d'empêcher l'extension de la dégradation du toit par le décollement progressif des bancs. Cette mesure est préconisée par l'INERIS pour les blocs non remplis où le phénomène de décollement est déjà très prononcé. L'exploitant a choisi de l'étendre à l'ensemble des blocs et galeries du stockage.

b - FACTEURS FAVORABLES

Sont listés ci-après quelques éléments favorables qui n'ont pas été pris en compte dans les calculs mais vont dans le sens d'un confinement efficace du site.

Des barrières ouvragées à base de bentonite, largement adoptées dans le contexte du stockage de déchets radioactifs, présentent plusieurs propriétés favorables :

- une très faible perméabilité, typiquement 10^{-18} à 10^{-20} m² (10^{-11} à 10^{-13} m.s⁻¹) ;
- une aptitude au gonflement lors de leur hydratation, contribuant au confinement de la paroi des galeries et donc à la diminution de la perméabilité du milieu ;
- une succion (pression capillaire) très importante pouvant atteindre plusieurs dizaines de MPa (du fait de la très petite taille de pores, nanométrique à micrométrique). Ainsi l'hydratation de la bentonite est difficile et très lente ;
- un fluage des parements du stockage conduisant à une réduction de la perméabilité des barrages par compaction ;

- une capacité d'adsorption et d'échanges cationiques permettant la rétention de certains éléments polluants (facteur d'amoindrissement de la pollution non pris en compte car difficile à quantifier).

A cela s'ajoutent les propriétés favorables du sel :

- la cicatrisation (healing) des fissures sous contrainte, notamment en présence de saumure, conduisant à une diminution progressive de la perméabilité de la zone endommagée, en particulier sous confinement ;
- la possibilité d'une fermeture partielle des galeries devenant étanches. Cela peut conduire au piégeage d'une partie de la saumure.

Notons de plus que, les déchets n'ayant pas nécessairement un comportement de fluide visqueux comme le sel, le fluage au niveau du stockage souterrain sera fortement ralenti - voire arrêté - dans le temps ; ce qui constituerait un autre facteur très favorable pour la sûreté du stockage et également non pris en compte dans les évaluations réalisées.

8.3. Conclusion non technique

Du fait de sa nature (stockage illimité de déchets dans un horizon salifère profond), le projet présente des particularités notables. Sa spécificité en fait un site rare avec peu de retour d'expérience sur le long terme (les sites en Allemagne sont encore en activité).

L'évaluation de l'impact du stockage sur les volets air, eau et santé humaine a donc nécessité la réalisation, par des experts, de différentes études du comportement du stockage et de la mine sur le long terme.

Ces études se basent sur les connaissances et modélisations actuellement admises par la communauté scientifique. D'importants progrès ont été ainsi réalisés ces dernières années ce qui a permis :

- de caler les modèles mécaniques sur les suivis réels de convergence des galeries et blocs de StocaMine,
- de préciser que les circulations d'eau se feraient essentiellement par l'extrados des puits,
- de prendre en compte l'effet de la saturation de la saumure dans les calculs de concentrations en polluants,
- de disposer des dernières valeurs d'écotoxicité pour calculer les impacts sanitaires.

Les phénomènes en jeu amènent à considérer des échelles de temps longues (>300 ans) et des débits faibles exprimés en m³/an. Il s'agit donc d'un contexte inhabituel où il est difficile d'avancer et de quantifier les phénomènes avec certitude.

Lorsque des incertitudes de calcul sont apparues, les résultats retenus se sont basés sur des scénarios de référence issus d'hypothèses volontairement pessimistes, c'est-à-dire destinées à surestimer les effets du projet dans un souci de précaution (débits les plus forts, non prise en compte de certains phénomènes d'atténuation naturelle, ...).

On observe ainsi que même au terme de chaînes d'hypothèses souvent pénalisantes, les impacts du projet de confinement à long terme du stockage souterrain de déchets, tel qu'il est présenté dans ce rapport, restent faibles à très faibles et apparaissent à très long terme et qu'il n'y a pas de scénario « catastrophe » menant à une pollution généralisée ou même localisée mais importante de la nappe alluviale de la plaine d'Alsace.

9. RESUME NON TECHNIQUE

En février 1997, la société StocaMine a reçu l'autorisation d'exploiter un centre de stockage souterrain sur la commune de Wittelsheim (Haut-Rhin, à environ 10 km au nord-ouest de Mulhouse). StocaMine devenait ainsi le seul site de stockage en France permettant d'accueillir des déchets allant jusqu'à la classe 0 (déchets dangereux).

Au bout de 30 ans, le stockage pouvait soit devenir un « stockage illimité » en confinant les déchets sur place, soit être déstocké (en cas notamment de retraitement possible des déchets).

Le dossier présenté par l'exploitant retient l'option d'un stockage illimité.

L'activité du stockage

Le centre de stockage a ouvert en février 1999. En 2002, 44 000 tonnes de déchets étaient entreposés dans les blocs souterrains de StocaMine. En septembre 2002, un incendie est survenu dans le bloc de stockage n°15. L'activité a été provisoirement stoppée. StocaMine a décidé en septembre 2003 de ne pas reprendre l'activité de descente de déchets. L'activité n'a donc duré que 3 ans et la quantité de déchets stockés représente moins de 15% de ce qui était initialement prévu.

L'environnement souterrain de StocaMine

Environnement géologique :

Le stockage se situe à 550 mètres de profondeur, dans un gisement de sel et de potasse. La particularité de ce type de gisement est d'être constitué des terrains secs. En effet, la présence de sel traduit l'absence d'eau (dans le cas contraire le sel se serait dissout). Le stockage est au milieu de cette épaisse formation à sel gemme (230 mètres de terrains au-dessus, 500 mètres en-dessous).

Au-dessus des terrains contenant du sel, 290 mètres de couches d'argiles et marnes séparent encore le stockage de la nappe alluviale d'Alsace. Celle-ci, épaisse d'une trentaine de mètres environ, constitue une ressource majeure en eau (eau potable, alimentation d'industries, ...).

Le contexte géologique est donc favorable du fait de la forte épaisseur de sel et de la présence de marnes, terrains relativement souples en cas de déformations du sol et très peu perméables. Mais un enjeu majeur apparaît en surface : la préservation de la qualité de la nappe d'Alsace.

Environnement minier :

Le stockage souterrain de StocaMine a été créé à partir des infrastructures existantes appartenant aux Mines de Potasse d'Alsace (MDPA⁷⁸) qui ont exploité deux couches de chlorures de potassium (potasse) situées dans le sel gemme.

Les deux couches de potasse étaient peu épaisses (2 m maximum pour la couche « supérieure », 4 à 7 m pour la couche « inférieure »), mais très étendues (environ 200 km²). Leur exploitation a débuté en 1904.

L'exploitation a été menée en longues tailles foudroyées c'est-à-dire que le minerai était taillé et on laissait les terrains s'effondrer au fur et à mesure de l'avancement de l'exploitation. Grâce à la souplesse des terrains, la surface s'affaissait sans engendrer de fissures souterraines ni de pénétrations d'eau dans la mine.

Les galeries de StocaMine ont été creusées environ 25 mètres sous le dernier secteur en exploitation : la mine Amélie. L'accès au stockage et son aération (appelé en terme minier « aérage ») se faisait par les puits de mine Joseph, Else, Amélie 1 et Amélie 2.

Des liens par galeries existent donc entre le stockage et la mine Amélie et plus généralement avec l'ancienne exploitation de potasse (le secteur appelé « secteur ouest »). Ce secteur ouest de la mine de potasse a été exploité par 15 puits, dont les quatre cités précédemment. Les deux seuls puits qui n'ont pas encore été remblayés sont les puits Joseph et Else.

Le détail du stockage :

Les chambres de stockage ont la forme de galeries : 2,8 m de hauteur et 5,5 m de largeur ; elles sont séparées les unes des autres par 20 m de terrain en place (soit des piliers de 20 m de côté) et se trouvent sur un seul niveau (entre 23 et 25 m sous la couche inférieure de potasse).

Deux à trois galeries longitudinales et 8 transversales constituent un « bloc de stockage ». Neuf blocs ont été remplis de déchets (code des blocs 11 à 14 et 21 à 24). Le bloc 15 n'est que partiellement rempli. Les blocs 16, 25 et 26 ont été aménagés mais non stockés (suite à l'arrêt de l'activité, 16 et 26 n'étant d'ailleurs que partiellement creusés).

Les déchets entreposés ont tous été enregistrés dans une base de données informatisée. La masse de déchets représente 44 000 tonnes (l'autorisation prévoyait une possibilité de stockage jusqu'à 320 000 tonnes). Il n'y a pas de déchets radioactifs, il s'agit de déchets industriels : résidus d'incinération, d'industries métallurgiques, ou de produits phytosanitaires, déchets amiantés,

⁷⁸ : L'arrêt de l'exploitation de la potasse et du sel gemme avait été programmé pour la fin de l'année 2003. Dans les faits, l'activité d'extraction a été arrêtée le 10 septembre 2002, suite à l'incendie.

L'environnement de surface

La projection à la surface de l'emprise souterraine du stockage correspond à un rectangle de 700 m par 500 m, situé dans un secteur à vocation industrielle ou artisanale (actuellement zone d'activité et gravière).

Les installations de surface nécessaires à l'activité de stockage sont restreintes à une parcelle avec hangar de stockage (vide actuellement) et des bâtiments administratifs. Ces installations de surface sont dans une zone d'activité, en bordure d'une zone d'habitation et à proximité d'un milieu naturel spécifique : le marais de Rothmoos.

Le lien entre surface et fond se fait par les deux puits de mine : Joseph et Else (propriétés des Mines De Potasse d'Alsace), situés de part et d'autre des bâtiments de StocaMine.

Les conséquences de l'environnement souterrain (géologique et minier) sur le stockage

Une caractéristique du sel : comportement mécanique du fluage :

Toute cavité créée dans un massif de sel a tendance à se refermer au fil du temps du fait des propriétés mécaniques spécifiques de ce matériau et de la pression des terrains situés au-dessus. L'avantage est une tendance à encapsuler les produits qui y sont stockés. Ce comportement (le fluage) obéit à une loi de mécanique des roches dite « de Norton » : la réduction de volume est ainsi linéaire, en fonction du temps. Elle est plus marquée dans les secteurs profonds (pression, température).

De même, les vides laissés en souterrain par l'exploitation de la potasse se réduisent au fil du temps (moyenne -0,1%/an). Les parois des galeries de stockage se rapprochent les unes des autres, à un rythme un peu plus rapide (quelques cm/an). Les parois des blocs de stockage arriveront en contact avec tous les colis de déchets d'ici une trentaine d'années.

L'eau :

Le massif salifère est exempt d'eau mais tout lien entre la mine et la surface est un chemin potentiel pour l'eau. En surface se trouve la nappe alluviale d'Alsace. Toutes les précautions ont été prises par les Mines de Potasse d'Alsace pour éviter les infiltrations d'eau dans la mine pendant son exploitation (ce qui aurait conduit à un risque d'accident par dissolution du sel). Les puits de mine qui traversent la nappe alluviale et descendent jusqu'à la mine, ont ainsi été forés avec des méthodes spécifiques (par exemple en congelant les terrains aquifères) puis équipés (cuvelage étanches, ...) pour éviter les venues d'eau. Au fur et à mesure de la fermeture des quartiers d'exploitation, ces puits ont ensuite été remblayés avec des matériaux fins et peu perméables.

On considère malgré tout que de faibles circulations d'eau peuvent se faire au niveau des anciens puits de mine et plus particulièrement à l'extrados de ces puits c'est-à-dire entre les parois des ouvrages et les terrains dans lesquels ils ont été creusés. Par ce biais, un très faible débit d'eau de la nappe peut descendre dans le mine de potasse, d'où il était immédiatement extrait par pompage quand la mine était en exploitation.

Au contact des terrains salifères l'eau se charge en sel jusqu'à devenir une saumure saturée. On parle ici de débits faibles : le phénomène est d'un ordre de grandeur de quelques milliers de m³ par an soit des débits de moins d'1 litre par minute pour une mine de plus de 60 km².

La méthode d'exploitation a laissé peu de vides en souterrain (impossible d'y circuler) mais la porosité résiduelle peut permettre à l'eau (la saumure), qui pénètre au niveau des puits, de passer (lien hydraulique). Cela signifie que les anciennes couches de potasse exploitées constituent deux niveaux dans lesquels la saumure peut circuler et remplir progressivement les vides. Le stockage est donc relié par galeries avec un système minier qui peut se remplir progressivement de saumure, en commençant d'abord dans les points bas de l'exploitation. Les quartiers les plus profonds sont très loin de la zone de stockage de déchets mais le niveau de saumure montera progressivement, jusqu'à atteindre la cote du stockage, puis la dépasser (les couches de potasse étant inclinées, une partie de l'ancienne exploitation est moins profonde que le stockage souterrain).

Au vu du volume résiduel de vides miniers (qui représentent plusieurs millions de m³) et de l'alimentation maximale potentielle par les puits de mine (établie sur la base des données de foration de ces ouvrages), la saumure remplirait la mine en **300 ans environ** (soit un niveau de saumure atteignant le stockage souterrain dans 240 ans). Le risque d'un contact entre saumure et déchet est donc envisageable si l'on raisonne à long terme.

On notera que la tendance de la mine à se fermer avec le temps a été prise en compte dans le calcul de l'ennoyage de la mine, réduisant le volume disponible à remplir et donc la durée d'ennoyage ;.

Les conséquences de la présence du stockage et le dimensionnement des barrières de confinement

En cas de contact prolongé de la saumure avec les déchets stockés, une partie des substances contenues dans ces derniers pourrait se dissoudre. Un travail de reconstitution de la composition des déchets a été mené par l'INERIS (Institut National de l'Environnement et des Risques) sur la base des archives de StocaMine, qui recensait tous les lots admis. Tous les éléments potentiellement solubles ont dans un premier temps été considérés comme passant en solution.

Les lois de la thermodynamique ont ensuite été appliquées pour définir quelles seront les caractéristiques de cette solution eu égard au contexte (pH alcalin du fait du type de déchets stockés, conditions réductrices, saturation en éléments comme le NaCl puisqu'il s'agit de saumure, etc.). De là il a été possible de préciser quels seraient les éléments qui pourraient rester en solution.

La majorité des substances contenues dans les déchets stockés ne réagira pas et restera à l'état solide mais une liste de polluants a été établie (dont notamment mercure, cyanure, arsenic, ...) pour laquelle la possibilité de passage en solution est admise, alors qu'il s'agit d'éléments toxiques. Les concentrations maximales ont pu être évaluées, là encore sur la base d'équilibres chimiques, que l'on sait aujourd'hui modéliser.

Une fois passées en solution, ces substances pourront se déplacer avec la saumure. Or le mouvement de fermeture progressive des vides est un moteur qui pourrait déplacer la saumure vers les points de sortie subsistants du système. Une fois que la mine sera pleine un mouvement ascendant de saumure pourrait donc s'amorcer en lien avec la poursuite de la fermeture des vides miniers par fluage.

Les points de sortie très largement « prioritaires » seront les puits de mine (l'hypothèse d'un passage par des failles ou d'anciens forages conduirait à des débits beaucoup plus faibles, le cas d'un passage par les puits de mine est donc un scénario défavorable).

Les volumes déplacés seront très faibles (on parle en m³/an) mais il faut les limiter au maximum pour s'assurer que même en cas de remontée de saumure polluée jusqu'à la nappe, celle-ci ne dégradera pas la qualité de la ressource en eau. Or plus le temps passe plus les vides se ferment et plus le volume mobilisable par le fluage se réduit⁷⁹. En outre, une fois les vides remplis de saumure celle-ci exerce une contre-pression sur les parois qui fait que la réduction des vides est 10 fois moins rapide.

La solution retenue pour limiter les flux potentiels de polluants vers la nappe d'Alsace est donc de mettre en place des barrières de confinement sur toutes les galeries d'accès aux déchets (11 dont 7 doubles) afin de retarder le plus possible le contact entre saumure et déchets stockés et faire que la mobilisation de saumure polluée ne se produise que lorsqu'il y aura réduction importante du moteur de sortie de la saumure, assurant ainsi un risque d'épanchement de saumure polluée avec des débits extrêmement faibles.

Les calculs réalisés par l'INERIS pour quantifier ces différents phénomènes montrent que les barrières de confinement qui vont être mises en place autour des déchets doivent présenter des caractéristiques de perméabilité et une épaisseur telles qu'elles ne puissent pas être traversées en moins de 1000 ans par de la saumure polluée.

Le choix du confinement

Dès l'origine du projet StocaMine, deux solutions de devenir du site avaient été envisagées. Le déstockage (essentiellement dans l'hypothèse d'une valorisation des déchets par des avancées technologiques éventuelles), ou le confinement sur place.

Le point a été fait sur la possibilité d'un déstockage des déchets. En l'absence de possibilités de valorisation (en l'état actuel de la science), cette solution consisterait à ressortir chaque déchet stocké puis à le transporter vers un autre site de stockage. Un tri pourrait être fait : certains déchets pourraient aller dans des sites français de surface acceptant les déchets dangereux, les autres sont réglementairement à stocker en souterrain. Pour ces derniers, aucun site français n'existe, leur restockage se ferait donc en Allemagne.

La comparaison technique et environnementale entre la solution d'un confinement sur place ou d'un re-stockage doit considérer les impacts potentiels de ces deux scénarios en tenant compte également des caractéristiques des sites potentiels de re-stockage. Cette comparaison a fait l'objet d'une étude extérieure, conduite par l'INERIS.

Il en ressort que les risques à long terme sont relativement similaires entre les différents sites de stockage mais que le risque à court terme est accru en cas de déstockage. En effet, la reprise de chaque emballage de déchet est rendue difficile par des décollements et instabilités constatés sur les parois du stockage et, de plus, le bloc 15, qui a subi l'incendie, ne pourra pas être déstocké car cela conduirait à faire travailler des opérateurs dans une zone ébouleuse parsemée de colis de déchets détruits, ce qui constitue un risque inacceptable.

⁷⁹ : Le phénomène pourrait même se bloquer

L'étude comparée des risques, réalisée à l'aide d'une méthode scientifique très élaborée a conclu qu'avec des barrières de confinement, la solution du maintien en place des déchets dans les blocs souterrains de StocaMine apparaît comme la solution engendrant le moins de risques pour l'environnement et pour la santé humaine.

Le projet présenté ici est la transformation du stockage StocaMine, après seulement quelques années d'activité, en site de stockage à durée illimitée : les déchets descendus pendant les 3 ans d'activité seront laissés en place après confinement du stockage et remblaiement des puits d'accès.

Ce projet s'inscrit dans le cadre du décret n°2006-283 du 10 mars 2006 relatif à la prolongation pour une durée illimitée de l'autorisation de stockage souterrain de produits dangereux dont l'exploitation a cessé depuis au moins un an.

L'impact de la solution de confinement

La réalisation de barrières de confinement sur toutes les galeries d'accès au stockage souterrain, pour isoler le stockage de la mine, nécessitera d'importants travaux à 550 mètres de profondeur. La conception des barrières est en cours, leur réalisation sera confiée à une entreprise spécialisée sous contrôle extérieur. L'INERIS a défini que le confinement devait avoir pour objectif de retarder d'environ 1000 ans la possible sortie de saumure du stockage vers la mine.

Les terrains d'ancrage des barrières sont en cours d'auscultation pour éviter tout contournement des barrières par de la saumure. De même des sondages de faible diamètre situés dans le stockage sont en cours d'analyse et seront traités s'ils s'avèrent pouvoir être un chemin de passage de la saumure entre la mine et le stockage ou autour des barrières.

Les produits utilisés pour les barrières seront très probablement des bentonites (argiles aux propriétés particulières souvent utilisées pour étancher) qui auront été préalablement sélectionnés en fonction de leurs caractéristiques de gonflement en présence de saumure.

La phase de travaux engendrera peu de nuisances (augmentation du trafic mais sur des axes déjà destinés à l'activité du stockage, bruit de chantier en surface) et celles-ci seront limitées à la durée des travaux (3 à 5 ans).

Le système minier suivra l'évolution précédemment décrite : infiltrations par les puits de mine, saumure dans les points bas, montée progressive du niveau de saumure en même temps que fermeture des vides souterrains, mouvement ascendant de saumure en cas de poursuite de la fermeture des vides, d'où une diffusion possible de celle-ci dans la nappe alluviale.

Dans le cadre de ce scénario, et avec des barrières de très faible perméabilité, deux aspects ont fait l'objet d'une quantification détaillée par l'INERIS : le risque de libération de gaz par les déchets et le risque de libération de polluants dans la saumure (avec mobilisation jusqu'à la nappe alluviale).

Risque de libération de gaz :

Les substances contenues dans les déchets ne sont pas mobilisables. Tant que les déchets ne sont pas au contact de saumure ou d'eau seule une légère activité chimique peut conduire à un dégazage de quelques substances, identifiées lors d'analyses (notamment contrôle de l'air dans le stockage, février 2010, données antérieures mesurées dans les emballages de déchets). Après mise en contact avec de la saumure, vu le type de déchets stockés et les conditions de confinement, seuls deux gaz pourraient être libérés : acide cyanhydrique et mercure élémentaire.

L'étude d'impact a montré que le seul moyen de transfert de ces gaz entre les galeries souterraines et la surface était un passage par l'intermédiaire des puits : par la ventilation tant que les puits de mine resteront ouverts (aérage obligatoire tant que des travailleurs peuvent descendre par les puits), puis par le même chemin que la saumure une fois les puits remblayés et fermés.

Les concentrations potentielles en gaz dans l'air autour des puits ont été modélisées en retenant les hypothèses les plus défavorables, que ce soit pour les débits pouvant sortir de la mine ou les quantités de polluants à prendre en compte. Les concentrations calculées ont ensuite été comparées à des valeurs-guides selon une méthode définie dans le code de l'environnement, et les risques sanitaires associés ont été calculés à court, moyen et long terme.

Ces calculs ont permis de conclure à une absence de risque pour les populations en lien avec des gaz toxiques qui pourraient s'échapper du stockage.

Risque de libération de polluants dans la nappe alluviale :

L'ensemble des données disponibles sur la composition des déchets a été étudié pour caractériser le plus finement possible les produits en présence. Le contact déchets-saumure a fait l'objet d'une modélisation géochimique pour définir les concentrations potentielles en polluants dans la saumure au sein du stockage (une fois que la saumure aura réussi à traverser les barrières de confinement).

Tous les éléments pouvant passer en solution ont été pris en considération et les résultats pour 10 éléments les plus défavorables, au vu des tonnages stockés et de chaque toxicité, ont été présentés dans les études (plomb, nickel, arsenic, chrome, etc., le plus défavorable étant le mercure).

Les éléments dissous ne pourront atteindre la nappe alluviale qu'en traversant les barrières de confinement (en sens inverse) puis en remontant par les puits de mine, avec la saumure.

La nappe alluviale est constituée de trois couches séparées par des bancs peu perméables. Un modèle hydraulique existe depuis de nombreuses années (BRGM) pour suivre cette nappe qui revêt localement un caractère stratégique en terme de ressource en eau. Ce modèle a pu être utilisé pour calculer quelles seraient les teneurs en polluants dans les 3 couches de la nappe d'Alsace à l'aval immédiat des puits de mine (2 à 5 puits⁸⁰ selon les hypothèses) en cas d'épanchement de saumure polluée 1000 ans (dimensionnement des barrières) après la fermeture du stockage souterrain.

⁸⁰ : puits Joseph, Else, Amélie 1, Amélie 2 et Max.

Dans ce cas comme dans l'évaluation de l'impact sur l'air, des hypothèses a priori majorantes ont été retenues pour garder une marge de sécurité dans les conclusions annoncées (et les résultats avec des hypothèses de dysfonctionnement sont également présentés).

Les concentrations ainsi calculées à 1000 ans (sortie potentielle de polluant) dans la nappe d'Alsace restent inférieures à celles que l'on peut mesurer dans l'environnement local actuel et nettement inférieures aux critères réglementaires actuels. Par conséquent, les calculs permettent de conclure à l'absence d'impact significatif potentiel du stockage souterrain de StocaMine sur la nappe alluviale en cas de mise en place de barrières de confinement autour du stockage (conçues et dimensionnées pour retarder la sortie potentielle de saumure du stockage d'environ 1000 ans).

StocaMine a également retenu des différentes études réalisées que le remblayage de la zone confinée aurait également un effet retardant la sortie de polluant (après pénétration de la saumure de la mine dans le stockage). Pour plus de sécurité, StocaMine a donc retenu le remblayage de la zone confinée comme mesure complémentaire.

Par ailleurs, l'Etat a demandé que les déchets riches en mercure des blocs 21 et 22 soient déstockés. L'élément mercure pour lequel la différence entre teneur calculée dans la nappe et critère de qualité apparaissait comme faible, sera notablement réduit (environ 50%) par rapport aux calculs d'impact réalisés.

Conclusion et suivi du site

Parmi les hypothèses envisageables pour mettre fin à l'activité de StocaMine, celle du stockage illimité des déchets en souterrain s'est avérée moins préjudiciable pour l'environnement et l'être humain qu'un éventuel déstockage, transport puis restockage des déchets présents.

C'est donc la solution d'un stockage illimité des déchets qui a été retenue, mais les études d'évaluation des risques réalisées par l'INERIS ont montré qu'elle devait s'accompagner d'un confinement du site de stockage souterrain par la mise en place de barrières ouvragées de très faible perméabilité et forte épaisseur.

Ces barrières de confinement, en retardant l'envoyage des galeries de stockage, permettront aux déchets de se tasser fortement avant d'être mis en contact avec la saumure qui aura envahi l'exploitation minière.

Leur effet sera de reporter d'au moins 1000 ans la future sortie de saumure polluée du stockage afin de profiter de la décroissance très importante de la vitesse de contraction des terrains au niveau du stockage et de réduire ainsi le débit de saumure pollué susceptible de sortir du stockage et d'atteindre in fine la nappe phréatique.

Ainsi, les flux de polluants susceptibles de remonter jusqu'en surface apparaîtront à très long terme (>1000 ans) et seront extrêmement faibles.

Toutes les mesures seront prises pour inspecter les ancrages des barrières avant la réalisation de ces celles-ci et une galerie sera creusée pour évacuer les infiltrations des puits Joseph et Else lors de la phase d'envoyage. Ces mesures servent à éviter un passage de saumure par d'éventuels points de faiblesse autour des galeries.

Pour mener à bien le projet, les études de conception, tests en place puis travaux s'étaleront sur 7 à 8 ans environ.

En surface, des servitudes et restrictions d'usage (interdisant notamment tout pompage de l'eau, voire l'utilisation du sol) seront instaurées autour des 5 puits de mine susceptibles de diffuser de la saumure polluée dans la nappe d'Alsace.

L'interdiction de réaliser des forages de plus de 300 m est également prévue à l'aplomb des galeries de stockage.

Pour cela, la mémoire du site doit être maintenue, ce qui passera par une inscription aux documents d'urbanisme.

Enfin, une surveillance du site et de son environnement doit être engagée :

- il est déjà prévu de réaliser un forage (MDPA), descendant jusqu'à la mine de potasse pour pouvoir suivre le phénomène d'engorgement des travaux miniers par la saumure,
- par la suite, des ouvrages de surveillance (forages permettant de faire des analyses dans la nappe alluviale) sont prévus autour de chacun des puits identifié comme vecteur potentiel de polluants ; l'implantation de ces ouvrages ne sera pas immédiate (elle se fera au regard du suivi du remplissage de la mine) mais des réserves foncières devront être prévues ainsi que des servitudes de passage pour accéder aux points de foration.

Moyennant la prise en compte de l'ensemble de ces mesures, le stockage illimité des déchets présents dans les blocs souterrains de StocaMine restera compatible avec la préservation de l'environnement.

Données complémentaires

Habitats naturels autour de StocaMine

Les habitats naturels autour des bâtiments de StocaMine ont été étudiés en 2006 par parcours de terrain par un naturaliste du bureau d'études CESAME (27 septembre 2006). La description de chaque habitat, justifiant le rattachement à un code CORINE (cf. tableau 16 du dossier) est présentée ci-dessous.

- La chênaie-charmaie

Une grande partie de la forêt de la commune de Wittelsheim est propriété des MDPA et n'a donc pas été aménagée. Ce facteur explique l'excellent état de conservation de ces forêts. La présence de pins sur le secteur est totalement anthropique (plantation par l'ONF). D'un point de vue sylvicole, la forêt aux alentours du site présente peu de potentialités forestières. Elle est située sur des alluvions plus ou moins anciennes riches en galets.

Par rapport à la Directive Habitats, cette forêt peut se rattacher à l'habitat 9160 Chênaies pédonculées ou Chênaies-charmaies subatlantiques et médio-européennes du *Carpinion betuli*. Plus précisément on se rattache à l'habitat élémentaire 9160-3 par la présence d'espèces acidoclines (*Lonicera periclymenum*, *Teucrium scorodonia*...) et neutroclines (*Sedum telephium*, *Potentilla sterilis*...).

Les peuplements sont largement dominés par le Chêne pédonculé avec quelques merisiers. Le Bouleau verruqueux est présent. La strate arbustive est dominée par le Noisetier, le Prunelier et l'Aubépine monogyne. La strate herbacée est peu recouvrante. Localement à la faveur d'un sol plus engorgé, le peuplement forestier est plus ouvert et on retrouve au sol quelques espèces plus ou moins hygrophiles : Menthe aquatique, Succise des prés, Houlque molle.

Habitat reconnu d'intérêt européen en bon état de conservation, il est relativement abondant sur la commune de Wittelsheim.

- La lande acidiphile (31.2)

Cette lande est le résultat d'une exploitation récente en coupe à blanc de la chênaie-charmaie. Ces friches de dégradation sont dominées par la Callune, les ronces et le Genêt à balais. Le cortège acidiphile de la Canche flexueuse est abondant. Notons la présence du Genêt d'Allemagne. Les jeunes pins sylvestres abondent (proximité des semenciers introduits par l'ONF).

Aucune sensibilité particulière.

- Les zones de défrichement ancien (87.1) et les fruticées de recolonisation (31.81)

La forêt aux abords de la gravière (future zone d'extension) a été rasée. Aujourd'hui ces parcelles ne font l'objet d'aucune gestion. Pour certaines parties, on retrouve une dynamique forestière avec une colonisation par le Bouleau puis par les espèces nomades. On arrive alors à une frênaie-aulnaie transitoire (cf paragraphes suivants). La majeure partie des zones déboisées sont restées cependant ouvertes. On retrouve les grandes graminées sociales que sont le Phragmite et la Baldingère. Leur recouvrement limite la colonisation forestière (forte compétition avec les jeunes plants). On se situe dans des situations mésophiles (non humides) à l'inverse de la roselière qui reçoit les lixiviats du terril. La flore est banale mais l'intérêt de ces milieux ouverts non agricoles pour l'avifaune est important.

En fonction du recouvrement arbustif nous avons différencié les zones de défrichement ancien et les fruticées. Les espèces typiques de ces fruticées sont banales : *Crataegus monogyna*, *Prunus spinosa*, *Rosa canina*, *Rubus gr. Fruticosus*, *Sambucus nigra*, *Acer campestre*, *Clematis vitalba*, *Cornus sanguinea*, *Hedera helix*, *Ligustrum vulgare*, *Malus sylvestris*, *Ajuga reptans*, *Veronica chamaedrys*... La présence de *Lonicera periclymenum* et de *Frangula alnus* souligne la tendance acidocline du groupement.

Aucune sensibilité floristique mais intérêt certain pour les oiseaux.

- Les boisements pionniers de bouleaux (41.B1)

Ces boisements jeunes représentent des phases de dynamique pionnière plus ou moins avancée sur des parcelles anciennement défrichées (future zone d'extension de la gravière) ou ayant subi un affaissement minier (mort des arbres de la chênaie par asphyxie). On les retrouve donc au sein du marais de Rothmoos et en limite de la gravière. Ils sont associés à la végétation des roselières. Ils ont un intérêt fort pour certains oiseaux des milieux ouverts.

Sensibilité par rapport à l'avifaune.

- Frênaie-chênaie mixte (44.33)

En mosaïque avec ces bois de bouleaux, au niveau de boisements un peu plus anciens, on observe l'apparition des essences nomades (Orme lisse, Cerisier à grappes, Erable sycomore, Frêne commun). Le Sureau noir est abondant et ferme le milieu tout comme le Houblon et la Clématite des haies. Ces peuplements ne sont cependant pas à rattacher aux frênaies-ormaies de la Directive Habitat. Ils sont une phase transitoire avant un retour vers la chênaie-charmaie climacique. La strate herbacée est pauvre et dominée par les mêmes espèces prairiales que les zones de défrichement non colonisées.

Aucune sensibilité particulière.

- Les ruisseaux et les forêts alluviales (44.31)

Des restes de forêt alluviale se retrouvent en bordure du réseau hydrographique mais ils sont très anthropisés et très réduits. La strate arborée reste toutefois caractéristique avec le Frêne commun en abondance, l'Aulne glutineux, le Poirier sauvage, le Cerisier à grappes, le Bouleau verruqueux, le Tremble. Localement le Robinier est abondant. La strate arbustive est dense : Aubépine monogyne, Sureau à grappes, Cornouiller sanguin, Fusain d'Europe. On retrouve localement *Equisetum telmateia* et *Cardamine amara*, espèces caractéristiques des forêts riveraines fraîches mais globalement la perturbation de cet habitat (fragmentation, ouverture des peuplements) a engendré la disparition des espèces herbacées caractéristiques. La Ronce (*Rubus gr. Fruticosus*) est très recouvrante.

Habitat de la Directive mais en très mauvais état de conservation. Linéaire étroit au sein de zones urbanisées. Sa sensibilité est donc limitée.

- Les roselières (53.11)

Les zones humides présentes sur le secteur d'étude sont d'origine anthropique (exploitation de gravière et affaissements miniers). La majorité de la surface des zones humides est occupée par de vastes populations de Phragmites. Les affaissements miniers ont provoqué la mort des arbres de la chênaie-charmaie. On retrouve alors des bouquets de Bouleau et quelques petits boisements relevant de l'*Alno glutinosae*. *Calamagrostis epigeios* forme parfois faciès.

Par leur recouvrement et leur connectivité, ces zones humides présentent un intérêt ornithologique très fort. A l'aval du teril du puits Else on retrouve *Plantago coronopus*, espèce à tendance halophile originale pour la région.

Sensibilité importante aux aménagements. Habitat reconnu d'un grand intérêt pour l'avifaune.

- Les zones rudérales (87.2)

Le site d'étude a été fortement aménagé par l'industrie minière. On retrouve donc de nombreuses friches industrielles aujourd'hui colonisées par des plantes dites rudérales : *Artemisia vulgaris*, *Tanacetum vulgare*, *Chenopodium album*, *Papaver rhoeas*, *Bromus tectorum*, *Malva sylvestris*... Nombre de ces friches seront d'ailleurs bientôt détruites par la construction prochaine de nouveaux bâtiments industriels sur la zone d'activité Joseph-Else.

Aucune sensibilité

Bibliographie

[1] Le stockage en mine de déchets industriels, StocaMine, février 1996.

[2] Etude de sûreté d'un projet de stockage de déchets toxiques dans la Mine Amélie. Aspects mécaniques du problème, G. Vouille, Ecole des Mines de Paris, document non daté (antérieur à février 1997).

[3] Estimation des mouvements sismiques à la cote 500 m, Institut de physique du globe de Strasbourg, document non daté (antérieur à février 1997).

[4] Etude de sûreté d'un projet de stockage de déchets toxiques dans la Mine Amélie. Approche des problèmes liés à l'hydrologie, P. Combes, E. Ledoux, Ecole des Mines de Paris, document non daté (antérieur à février 1997).

[5] Stockage profond : évaluation des flux de déchets admissibles, Agence Nationale pour la Récupération et l'Elimination des Déchets (ANRED), juillet 1990.

[6] Stockage profond de déchets industriels : étude des dangers, Projet Etudes Conseils Services, Industrie Environnement (PECSIE), 27 mars 1991.

[7] Mines de Potasse d'Alsace : tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph, Electricité de France, 11 mars 1991.

[8] Etude de sécurité chimique, J. Muller, G. Kille, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse, 30 novembre 1990.

[9] Etude de sécurité chimique sur le projet MDPa de stockage profond des déchets industriels dans la mine Joseph-Else à Wittelsheim, Comportement à long terme, G. Kille, S. Walter, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse, document non daté.

[10] Stockage en mine de déchets toxiques : déchets à exclure, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), 14 septembre 1993.

[11] Stockage en mine de déchets toxiques : déchets à exclure, INERIS, 21 septembre 1993.

[12] Etude de sécurité chimique, procédure d'acceptation et de suivi des déchets, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse, 21 janvier 1991.

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

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

[15a] Etude du comportement hydraulique de l'obturation d'un puits par un bouchon de cendres volantes, étude bibliographique, INERIS, 21 décembre 2001.

[15b] Etude du comportement hydraulique de l'obturation d'un puits par un bouchon de cendres volantes, synthèse (Projet), INERIS, 15 octobre 2002.

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

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

[17] StocaMine : rapport final d'expertise, Experts nommés par la Commission Locale d'Information et de Surveillance (CLIS), 24 juillet 2003.

[18] Audit triennal de StocaMine, 1999-2002, INERIS, septembre 2003

[19] Suivi des lots, StocaMine, février 1999 à septembre 2002.

[20] Analyses environnementales courantes, extraits, StocaMine.

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

[22] Arrêtés préfectoraux du 3.2.1997, 10.7.2001, 12.9.2002, 17.12.2002, Préfecture du Haut-Rhin.

[23] Rapport d'activité, StocaMine, décembre 1999 à décembre 2002.

[24] Manuel Qualité / Environnement, StocaMine 2 juillet 2002.

[25] Plan des travaux du fond et aérage, MDPa

[26] Affaissement et dégâts de surface dans le bassin potassique alsacien, MDPa, 7 juillet 1999 et juillet 2007.

[27] Caractérisation des cendres volantes, MDPa, 30 mars 2004.

[28] Etude géologique, hydrogéologique et géotechnique du centre de stockage de StocaMine, Wittelsheim (Haut Rhin), MICA Environnement, avril 2004.

[29] Détermination des dangers, Institut Suisse pour la Promotion de la Sécurité, juillet 2004.

[30] Stockage souterrain de Wittelsheim : évaluation des risques suite au confinement de déchets dans la mine. Risques dus aux substances chimiques, BMG Engineering AG, juillet 2004.

[31] Etude d'impact, rapport synthèse, Institut Suisse pour la Promotion de la Sécurité, juillet 2004.

[32] Etude de sécurité au travail et de protection de la santé dans le cadre de la mise en œuvre de la réversibilité, Institut Suisse de Promotion de la Sécurité, juin 2006.

[33] Rapport de synthèse Etude approfondie de la variante de la mise en œuvre de la réversibilité, Institut Suisse de Promotion de la Sécurité, juin 2006.

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

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

[36] Etude technique détaillée du confinement complémentaire du bloc 15, STOCAMINE, SOLETANCHE-BACHY juillet 2006

[37] Synthèse sur l'ennoyage de la mine de potasse Secteur Ouest, CESAME, Septembre 2006

[38] Plan d'Urgence Interne, STOCAMINE

[39] CESAME (2008). L'ennoyage des mines de potasse. Dossier commun aux secteurs Est et Ouest. Rapport AB/1143/04/08, avril 2008, 80 p

[40] ERCOSPLAN (2008). Etude de faisabilité. Remblayage des cavités souterraines de Stockage des Déchets de StocaMine, Wittelsheim/France. Rapport ERCOSPLAN. EGB 07-042. 02 septembre 2008, 75 p.

[41] GEOSTOCK (2008). MDPA – Projets puits – Puits piézométrique – Puits d'évent. Programme simplifié – DIV/F/J/0003 –18/03/2008, 27p.

[42] MDPA (2008) – Mémoires techniques des Mines de Potasse d'Alsace – 1904-2008 – octobre 2008, 1068 p

[43] MDPA-SA (2003). Les sondages depuis ce jour à l'intérieur des concessions MDPA. Rapport 58/03-XE, Etudes générales, 19/11/2003, 8 p. + annexe.

[44] Modes opératoires du laboratoire de StocaMine – LAB-MO-02 à 15 – 01/06/2000

[45] MDPA – Document Santé Sécurité - 23/06/2008 – 73p

[46] StocaMine – Le devenir du stockage souterrain de StocaMine – Mai 2009

[47] HADJ-HASSEN F. (2009). STOCAMINE. Evaluation du volume des vides souterrains résiduels après ennoyage du stockage. Rapport Mines ParisTech, octobre 2009, 13 p.

[48] AVEC (2009) - Etude des conséquences sur l'aérage d'un incendie dans la voie de roulage près du bloc 14 du secteur StocaMine et dans la galerie Vam AJF2D du secteur MDPA – 13/08/2009 – 28p

[49] FEUGA B. (2010) - Comparaison entre les conditions d'isolement des déchets dans le site de stockage de StocaMine et dans quelques sites allemands de stockage en mines de sel ou de potasse – 03/2010 – 94p

[50] GOMBERT P. - Stockage souterrain de StocaMine (68). Synthèse critique des études hydrogéologiques sur l'ennoyage du site – INERIS-DRS-10-108130-03801A – Mars 2010

[51] GHOREYCHI M. - Analyse critique des études géomécaniques du stockage de StocaMine – INERIS-DRS-10-108130-04240A – Avril 2010

[52] HULOT C., QUIOT F., HENNEBERT P. - Stockage souterrain de StocaMine (68) - Synthèse critique : thématiques « Impact sur la santé humaine des populations hors travailleurs du site de StocaMine » et « Impact sur la ressource en eau » - INERIS-DRC-10-108130-03798A – Avril 2010

[53] GHOREYCHI M. - Etude géomécanique du stockage de StocaMine – INERIS-DRS10-108130-14273A – Décembre 2010

[54] NEDELEC B. - Fermeture du stockage de déchets ultimes de StocaMine - Etude de faisabilité technique pour les différentes options logistiques des déchets vers les centres de stockage – INERIS-DRA-10-108130-13583A – Février 2011

[55] GOMBERT P. - Stockage souterrain de StocaMine (68) - Etude hydrogéologique de l'ennoyage du site – INERIS-DRS-10-108130-12810B – Mars 2011

[56] HENNEBERT P. - StocaMine - Evaluation du terme source dans le scénario du stockage illimité : calculs des quantités de contaminants stockés, et des concentrations potentielles en solution et en phase gazeuse en cas d'ennoyage - INERIS-DRC-10-108130-12610B – Novembre 2011

[57] QUIOT F. - Interprétation Campagnes de prélèvements des eaux d'infiltration effectuées par l'INERIS au fond de la mine Amélie en juillet et septembre 2010 - INERIS-DRC-11-108130-06358b – Septembre 2011

[58] Présentations faites au COPIL les 19 novembre 2010 [58a], 9 décembre 2010 [58b], 20 janvier 2011 [58c], 28 février 2011 [58d], 1er avril 2011 [58e], 23 mai 2011 [58f] – Disponibles aussi sur <http://www.stocamine.com>

[59] Comité de Pilotage StocaMine – Rapport d'expertise – Juillet 2011

[60] Comité de Pilotage StocaMine – Présentation à la CLIS - 7 Juillet 2011

[61] FNADE (Fédération Nationale des Activités du Déchet et de l'Environnement) - Analyse du Cycle de Vie de la filière de Stockage des Déchets Industriels Spéciaux Ultimes – Bio Intelligence Service - Rapport final après revue critique – Décembre 2002

[62] AMRAOUI N., BUSCARLET E. et THIERY D. Modélisation d'une fuite de saumure à partir du site de stockage souterrain de StocaMine : simulation d'un 5^{ème} Scénario. Rapport BRGM/RP-60256-FR – Octobre 2011

[63] ERCOSPLAN - Conceptual Design Backfill Operation and Dam Construction of StocaMine Toxic Waste Disposal Site - EGB 07-042N01 – Draft – Juin 2011

[64] ERCOSPLAN - Opérations de Remblaiement et d'Isolation du Site de Stockage de Déchets Ultimes StocaMine – Etude de conception – Résultats préliminaires – Juin 2011

[65] QUANTIS Canada - Description de la méthodologie ACV (Analyse du Cycle de Vie) – Annexe explicative jointe aux rapports d'application de l'Analyse de Cycle de Vie

[66] HUMBERT S., MARGNI M., JOLLIET O. - IMPACT 2002+:- Methodology Description - Draft for version 2.1 – February 2009

[67] LAOUFA F. - Estimation de la convergence du sondage W3 et des trous de dégazage au toit du stockage de StocaMine – INERIS-DRS-11-108130-10474A – Octobre 2011

[68] PINTE J.C. - Comparaison des scénarios de devenir du stockage de StocaMine - INERIS – DRS-12-108130-00756B – Avril 2012

[69] QUIOT F. - Stockage souterrain de STOCAMINE (68) - Impact potentiel du stockage sur la ressource en eau dans le cadre du scénario de stockage illimité - INERIS-DRC-12-108130-00744A – Janvier 2012

[70] LIBERDA R. – Choix d'un site de forage de reconnaissance de la montée des eaux – MDPA- Direction Technique – 146-11 DT-RL – Janvier 2012

[71] HULOT C. - Stockage souterrain de STOCAMINE (68) Impact potentiel du stockage sur la santé des populations (hors travailleurs) dans le cadre du scénario de stockage illimité, tenant compte des impacts potentiels sur la ressource en eau et le milieu air extérieur - INERIS- DRC-12-108130-00306C – Février 2012

[72] PINTE J.C. - Moyens de maîtrise des risques dans l'option de stockage illimité à StocaMine – INERIS- DRS-12-108130-01167B – Mars 2012

[73] PINTE J.C. - Etude de sûreté du confinement à long terme de la matrice réceptrice compte-tenu de ses caractéristiques géotechniques – INERIS- DRS-12-108130-02769B – Mars 2012

[74] BMG ENGINEERING – Evaluation logistique et technique d'une réversibilité partielle du stockage – Mars 2013

[75] HENNEBERT P. – Modélisation complémentaire du terme-source en fonction des scénarios de déstockage étudiés – INERIS-DRC-12-127684-01606A – Février 2012

[76] CAMUSSO M. – Evaluation des flux potentiels de saumure contaminée à partir du stockage de Wittelsheim – ITASCA - Avril 2013

[77] RAUCHE H. – Conceptual design for dam constructions and partial backfill for the isolation of StocaMine underground waste disposal site – Avril 2013

Bibliographie sur l'environnement de StocaMine

Qualité de l'Eau distribuée en Alsace de 2001 à 2003, Direction régionale des affaires sanitaires et sociales d'ALSACE

Dossier Départemental des Risques Majeurs – 2006

Plan Local d'Urbanisme de Wittelsheim – Rapport de présentation, Septembre 2004

Sites Internet

www.alsace.sante.gouv.fr : Données qualité eau de la nappe

www.alsace.ecologie.gouv.fr/ : Données eau et milieux aquatiques, sites naturels répertoriés

www.aprona.net/ : Données qualité de la nappe d'Alsace

www.eau-rhin-meuse.fr/sierm/default.htm : Système d'Information sur l'Eau Rhin-Meuse (Agence de l'Eau Rhin-Meuse)

www.insee.fr : Recensement Général de la Population

www.prim.net : Base de données sur les risques majeurs (Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable)

www.culture.gouv.fr/80/public/mistral/merimee_fr : base MERIMEE (Inventaire des Monuments Historiques)

Cartographie-Photographie

Photographie aérienne IGN 2002 FD6790 N2283

Carte Michelin 1/250 000

Cartes IGN 1/25 000° : n° 3720 ET(Mulhouse), 3719 OT (Grand Ballon d'Alsace)

Carte IGN 1/100 000° : n°31 Saint-Dié-des-Vosges, Mulhouse, Bâle

Carte Géologique BRGM : feuille de Mulhouse (1/50 000)