

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 de diverses études réalisées en 2011, 2012, 2013 et 2014 (liste bibliographique numérotée en fin de rapport, les numéros entre crochets cités dans le texte font référence à cette liste).

Ces études, réalisées par l'INERIS (Institut National de l'Environnement et des Risques) et par des bureaux d'études spécialisés sont fournies comme pièces complémentaires au dossier. Elles ont permis notamment de :

- Faire la synthèse et mener une expertise critique des études antérieures à 2009 (INERIS) ;
- Etudier l'évolution du site de stockage au sein du contexte minier (études géomécaniques, étude hydrogéologique, étude « terme source » qui précise le comportement des polluants présents dans les déchets) et en déduire les caractéristiques du confinement à mettre en œuvre pour fermer le site ;
- Comparer les « scénarios de fermeture » du site, c'est-à-dire comparer les impacts potentiels, sanitaires et environnementaux des différentes solutions de devenir du site de stockage (déstockage, confinement) ;
- Préciser les effets du projet sur le long terme : les conséquences pour la nappe alluviale d'Alsace (étude d'impact sur la ressource en eau), les risques potentiels en surface (étude sanitaire).

Le bilan écologique présenté ici s'appuie sur l'ensemble de ces études.

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), le projet a fait l'objet de plusieurs étapes de concertation depuis 2010.

Une première phase de concertation a été organisée concomitamment à l'avancement des études de l'INERIS. Celle-ci avait pour sujet les différents scénarios de fermeture et leurs enjeux.

Un Comité de Pilotage (COFIL), constitué d'experts nommés par les membres de la CLIS (Commission Locale d'Information et de Surveillance), a été mis en place par le préfet pour une durée de 6 mois.

Le public a été tenu au courant de l'avancement des études par l'intermédiaire d'un site internet mis à jour régulièrement et sur lequel les présentations faites au COFIL ont été fournies.

Très majoritairement, le COFIL (qui n'avait pas pu bénéficier de toutes les études INERIS qui se sont achevées après juillet 2011) a émis un avis favorable au confinement des déchets, avec déstockage préalable des déchets les plus riches en mercure.

Une deuxième phase de concertation a été demandée par l'Etat, cette fois dans le cadre de l'article 121-16 du code de l'environnement qui prévoit, dans le cadre du déroulement administratif de demandes d'autorisation sur des projets sensibles, une concertation sous garantie de l'Etat préalablement à l'ouverture de l'enquête publique.

Pour ce faire, la Commission Nationale du Débat Public (CNDP) a désigné un garant chargé de veiller à ce que le public puisse présenter ses observations et contre-propositions.

A l'issue de cette deuxième phase de concertation, l'Etat a demandé à MDPa de viser un déstockage du mercure à hauteur de 93% avant de confiner définitivement le stockage (qui devient alors un « stockage de durée illimitée »).

Toutefois cette demande est assortie de deux précautions :

- Le déstockage doit être effectué sous réserve d'un strict respect des impératifs de sécurité et conditions de travail (ce qui sous-entend la nécessité d'arrêter le déstockage en cas de grande difficulté ou mise en danger des travailleurs, l'objectif minimum étant le retrait de 56% de la masse de mercure),
- Le bloc 15 ne sera pas déstocké.

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 (Installation Classée Pour l'Environnement), 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 :

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	3.3. Effets sur l'air	117
1.1. Le stockage souterrain.....	14	3.3.1. Données utilisées	117
1.2. Le confinement du site.....	17	3.3.2. Modélisation du transfert de polluants gazeux.....	123
1.2.1. Les barrières de confinement.....	17	3.3.3. Evaluation de l'impact sur le milieu air extérieur	127
1.2.2. Travaux complémentaires (mesures de maîtrise des risques).....	19	3.4. Santé publique.....	132
2. Etat initial de l'environnement	20	3.4.1. Schéma conceptuel	132
2.1. Milieu physique	20	3.4.2. Évaluation quantitative des risques sanitaires.....	133
2.1.1. Climat.....	20	3.4.3. Conclusion de l'évaluation des risques sanitaires.....	136
2.1.2. Contexte géologique.....	21	3.5. Effets sur le sous-sol.....	137
2.1.3. Contexte hydrogéologique	28	3.5.1. Stabilité des terrains.....	137
2.1.4. Nappe alluviale et réseau hydrographique.....	34	3.5.2. Ressources du sous-sol.....	138
2.1.5. L'air	52	3.6. Effets sur les sols.....	138
2.1.6. Les sols.....	56	3.7. Effets sur le milieu naturel.....	139
2.2. Milieu biologique	58	3.7.1. Incidence Natura 2000.....	139
2.2.1. Réseau Natura 2000 (directive habitat et directive oiseaux)	58	3.7.2. Impacts sur le milieu naturel proche.....	139
2.2.2. Autres espaces naturels répertoriés.....	60	3.8. Effets sur l'environnement humain.....	141
2.2.3. Site de StocaMine et abords – Habitats naturels.....	61	3.8.1. Environnement socio-économique.....	141
2.3. Environnement humain	64	3.8.2. Desserte – trafic	142
2.3.1. Environnement socio-économique.....	64	3.8.3. Bruit.....	143
2.3.2. Desserte – Trafic.....	68	3.8.4. Risques.....	143
2.3.3. État de référence sonore.....	69	3.8.5. Patrimoine et paysage.....	143
2.3.4. Risques dans l'environnement du stockage.....	72	4. Effets cumulés avec d'autres projets	144
2.3.5. Monuments, sites et paysage.....	74	4.1. Effets du projet en souterrain – autres projets connus	144
2.4. Environnement minier.....	76	4.2. Effets du projet en surface – autres projets connus	144
2.4.1. Présentation de l'exploitation minière.....	76	4.3. Phase travaux, effets du projet – autres projets connus.....	145
2.4.2. Evolution prévisible du milieu minier.....	78	5. Raisons pour lesquelles le projet a été retenu	146
2.4.3. Incidence de l'évolution du milieu minier sur le projet – Prise en compte dans le projet.....	87	5.1. Etude de comparaison des solutions alternatives.....	146
3. Les effets du projet sur l'environnement	92	5.1.1. Approche retenue pour comparer les solutions.....	146
3.1. « Terme source » : concentrations mobilisables	92	5.1.2. Les 8 scénarios étudiés.....	147
3.1.1. Types de déchets et quantités initiales stockées.....	92	5.1.3. Éléments pris en compte pour la comparaison.....	148
3.1.2. Le déstockage partiel	93	5.1.4. Résultats.....	149
3.1.3. Contaminants mobilisables dans la saumure	94	5.2. Justification du projet retenu	150
3.1.4. Contaminants mobilisables dans l'air (émissions gazeuses).....	95	5.2.1. Scénario sans déstockage préalable.....	150
3.2. Effets sur la nappe alluviale	97	5.2.2. Projet retenu : scénario de confinement du site avec déstockage préalable.....	153
3.2.1. Etapes de modélisation du transfert de polluants issus du stockage.....	97	5.3. Comparaison financière	156
3.2.2. Choix des critères de comparaison pour évaluer l'impact du stockage sur la nappe d'Alsace	104		
3.2.3. Concentrations calculées dans la nappe d'Alsace et évaluation de l'impact sur la ressource en eau....	107		
3.2.4. Conclusion sur les concentrations dans la nappe alluviale	114		
3.2.5. Prise en compte des SAGE et compatibilité avec le SDAGE.....	115		

6. Mesures envisagées pour supprimer, limiter, et si possible compenser les inconvénients du projet –

Mesures de surveillance 158

6.1. Maîtrise des risques 158

 6.1.1. *Mesure préalable : sortie partielle des déchets contenant du mercure, suivi des déchets*..... 158

 6.1.2. *Mesures de confinement pour la fermeture du stockage*..... 159

6.2. Dispositions relatives au suivi et moyens d'intervention..... 167

 6.2.1. *Suivi de l'ennoyage* 167

 6.2.2. *Suivi de la nappe alluviale*..... 169

 6.2.3. *Suivi des puits de mine*..... 170

 6.2.4. *Moyens d'intervention*..... 170

6.3. Mémoire du site, servitudes et restrictions d'usage..... 170

 6.3.1. *Mémoire du site*..... 170

 6.3.2. *Servitudes*..... 171

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..... 172

6.5. Estimation des coûts associés..... 173

7. Compatibilité du projet avec l'affectation des sols 175

7.1. Propriété foncière – Situation juridique..... 175

7.2. Plan Local d'Urbanisme (P.L.U.)..... 175

7.3. Servitudes d'utilité publique actuelles 176

7.4. Compatibilité du projet..... 176

8. Méthodes utilisées et difficultés 180

8.1. Méthodes utilisées pour établir l'état initial..... 180

8.2. Méthodes utilisées pour évaluer les effets du projet sur l'environnement..... 182

 8.2.1. *Etude de comparaison des différents scénarios de devenir des déchets*..... 183

 8.2.2. *Etude hydrogéologique de l'ennoyage des MDPA et son interaction avec le stockage souterrain* 185

 8.2.3. *Etude géomécanique du stockage de StocaMine*..... 188

 8.2.4. *Etude du terme source*..... 193

 8.2.5. *Etude d'impact sur la nappe et moyens de maîtrise des risques*..... 195

8.3. Conclusion non technique sur les difficultés et incertitudes 198

9. Résumé non technique 199

Données complémentaires (habitats naturels autour de StocaMine).

Bibliographie.

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 hydrate 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.	NOAEC	No Observed Adverse Effect Concentration (concentration maximale sans effet néfaste observé)
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	NOAEL	No Observed Adverse Effect Level (dose maximale sans effet néfaste observé)
grisou	Mélange gazeux inflammable composé surtout de méthane, qui se dégage parfois dans les mines (principalement de charbon).	NQE	Norme de Qualité Environnementale
ICPE	Installation Classée Pour l'Environnement	NSF	The Public Health And Safety Company (Société internationale)
IEM	Interprétation de l'état des milieux	NTP	National Toxicological Program
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des RISques	OEHHA	Office of Environmental Health Hazard Assessment
JEFCA	The joint FAO/WHO expert Committee on Food Additives	OMS	Organisation Mondiale de la Santé
LD	Limite de Détection	PBPK	Physiologie basé sur la pharmacocinétique
LOAEC	Lowest Observed Adverse Effect Concentration (concentration minimale entraînant un effet néfaste observé)	pilier	Volume de minerai non abattu participant au soutènement du chantier.
LOAEL	Lowest Observed Adverse Effect Level (dose minimale entraînant un effet néfaste observé)	QD	Quotient de danger
LOEC	Lowest Observed Effect Concentration (concentration minimale entraînant un effet observé)	recette	Lieu où se trouvent les dispositifs assurant la manutention des produits et du matériel aux abords du puits.
LOEL	Lowest Observed Effect Level (dose minimale entraînant un effet observé)	RfD	Reference dose (dose de référence)
LQ	Limite de Quantification	RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid & Milieu (National Institute of Public Health and the Environment, Pays-Bas)
MA	Moyenne Annuelle	SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
MDPA	Mines de Potasse d'Alsace	saumure	Eau à forte concentration en sel
MEDD	Ministère de l'écologie et du développement durable	SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
MEEDDAT	Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire	serrement	Ouvrage permettant d'obturer une galerie.
MMR	Mesure de Maîtrise des Risques	soutènement	Dispositif de soutien des parois.
mur	En terme minier, le mur désigne le sol d'une infrastructure souterraine (chambre, galerie, ...) mais également la surface inférieure d'une formation géologique.	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 24 : Localisation des points de prélèvements.....	50
Figure 2 : Contexte souterrain de la zone de stockage (source : StocaMine).....	14	Figure 25 : Réseau de suivi air ASPA.....	52
Figure 3 : Plan d'un bloc de stockage.....	14	Figure 26 : Moyennes annuelles de NO2 autour de Mulhouse (ASPAs 2013).....	53
Figure 4 : Schéma simplifié de l'organisation du stockage.....	14	Figure 27 : Localisation des mesures « air » en surface.....	53
Figure 5 : Plan des galeries de stockage de StocaMine (source : MDPAs).....	15	Figure 28 : Localisation du point de suivi sol intérieur site pendant l'activité de Stocamine.....	56
Figure 6 : Projet de confinement du stockage (MDPA).....	17	Figure 29 : Espaces naturels répertoriés.....	59
Figure 7 : Schéma de principe de conception des barrières de confinement des galeries de stockage (d'après étude INERIS).....	18	Figure 30 : Emprise de la réserve naturelle régionale du Rothmoos.....	60
Figure 8 : Coupe générale nord-sud des terrains dans la région de Mulhouse [4].....	21	Figure 31 : Occupation du sol – Milieu naturel.....	63
Figure 9 : Coupe stratigraphique synthétique des terrains du bassin potassique [4].....	21	Figure 32 : Zone d'activité Joseph Else Heiden (Parc Secoia).....	65
Figure 10 : Log géologique schématique des terrains salifères de l'Oligocène ≈ SANNOISIEN [4].....	22	Figure 33 : Occupation du sol, environnement urbain.....	67
Figure 11 : Carte géomorphologique de la plaine du Rhin [42].....	23	Figure 34 : Trafic des axes principaux les plus proches (source : Direction des Routes 68).....	68
Figure 12 : Coupe est-ouest des alluvions de la nappe d'Alsace [62].....	24	Figure 35 : Accès au site par le sud (sans traversée d'agglomération).....	68
Figure 13 : Contexte géologique, mines de potasse d'alsace.....	25	Figure 36 : Localisation des points de mesure bruit [14].....	69
Figure 14 : Schéma tectonique de la partie sud du fossé rhéna.....	26	Figure 37 : Localisation du stockage dans l'environnement minier.....	76
Figure 15 : Log hydrogéologique du bassin minier.....	28	Figure 38 : Les travaux miniers du secteur ouest des MDPAs.....	77
Figure 16 : Schéma synthétique de l'hydrogéologie de la zone salifère supérieure à l'aplomb du site de stockage [4].....	30	Figure 39 : Schéma de principe de l'ennoyage des MDPAs.....	79
Figure 17 : Caractéristiques des différentes couches d'alluvions de la nappe.....	32	Figure 40 : Illustration du phénomène de fluage sur une galerie.....	80
Figure 18 : Carte piézométrique de référence de juin 2002 [MDPA].....	33	Figure 41 : Schématisation du comportement de l'interface eau/saumure en fin d'ennoyage.....	83
Figure 19 : Extrait de la carte piézométrique du bassin potassique (piézométrie en m NGF).....	33	Figure 42 : Niveau de remontée de la saumure dans le secteur ouest.....	83
Figure 20 : Usages de l'eau dans la nappe d'Alsace autour du site.....	40	Figure 43 : Extrait de la coupe ouest-est du bassin potassique au droit du site de stockage [28].....	85
Figure 21 : Carte de la salure de la nappe en 2004 et en 2012 (source : BRGM).....	42	Figure 44 : Représentation schématique des phénomènes de convergence des parois et compaction des déchets du fait du fluage du sel.....	87
Figure 22 : Localisation des piézomètres existants sur le site de StocaMine.....	44	Figure 45 : Evolution du système, scénario avec barrières de confinement du stockage (d'après INERIS [68]).....	90
Figure 23 : Contexte hydrologique, masses d'eau superficielles.....	49	Figure 46 : Chronogramme du scénario de référence utilisé par l'INERIS.....	91

Figure 47 : Répartition des masses de mercure dans les différents blocs du stockage (source : BMG).93	Figure 68 : Déstockage : conformité des emplacements des déchets..... 158
Figure 48 : Schéma de principe du modèle de compaction utilisé..... 98	Figure 69 : Déstockage, traçabilité des déchets..... 158
Figure 49 : Débit d'épanchement de saumure (mine) pour les 5 puits de mine autour de StocaMine. 101	Figure 70 : Projet de confinement du site de stockage (source : MDPA)..... 160
Figure 50 : Carte illustrant la discrétisation horizontale du modèle régional (maillage gigogne sur le bassin potassique) [62]..... 102	Figure 71 : Schéma de principe des barrières de confinement (cf. prescriptions INERIS)..... 161
Figure 51 : Coupe ouest/est illustrant la discrétisation verticale du modèle régional (3 couches d'alluvions) [62]. 102	Figure 72 : Le traitement du sondage W3 (source : MDPA). 163
Figure 52 : Position des puits "de la mine Amélie" (Joseph, Else, Amélie 1 et 2, Max). 107	Figure 73 : Galerie favorisant un court-circuit hydraulique (source : StocaMine)..... 164
Figure 53 : Illustration des concentrations moyennes calculées dans les mailles-puits du modèle (125 mx 125 m) après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches pour les 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans). 109	Figure 74 : Schéma de principe de la galerie exutoire..... 164
Figure 54 : Panache de dispersion des concentrations en mercure dans la nappe alluviale en couche 3, scénario avec retrait de 93% du mercure et barrière de confinement [78]..... 110	Figure 75 : Schéma de principe, fermeture des puits Joseph et Else..... 166
Figure 55 : Evolution des concentrations en mercure de simulation le long du profil A-B-C dans la couche profonde, avec déstockage 93%, sortie à 1000 ans. 111	Figure 76 : Forage de surveillance de l'ennoyage (source : MDPA)..... 167
Figure 56 : Décroissance des concentrations en mercure au fil du temps (puits Amélie 1), période 0 – 10000 ans. Déstockage 93%, sortie à 1000 ans..... 112	Figure 77 : Implantation prévue du forage de surveillance de l'ennoyage (source : MDPA). 168
Figure 57 : Zoom sur la décroissance des concentrations en mercure au fil du temps (puits Amélie 1) , période 0 – 500 ans. Déstockage 93%, sortie à 1000 ans. 112	Figure 78 : Réseau de piézomètres existants permettant un suivi de la nappe à l'aval des puits de la mine Amélie..... 169
Figure 58 : Evolution des concentrations en Cl ⁻ à 300 ans de simulation (sortie de saumure saine de la mine), le long du profil A-B-C, couche 3. 113	Figure 79 : Planning prévisionnel (données : MDPA 2014). 174
Figure 59 : Positionnement des points de mesure « air souterrain » M1 et M2. 118	Figure 80 : Extrait cadastral, parcelles concernées par les installations de surface. 175
Figure 60 : Représentation schématique des modèles appliqués. 126	Figure 81 : Périmètre de restriction d'usage autour d'un puits de mine. 177
Figure 61 : Schéma conceptuel (étude sanitaire), INERIS complété..... 132	Figure 82 : Extrait du P.L.U..... 178
Figure 62 : Représentation schématique surexcavation des galeries pour la mise en place des barrières..... 138	Figure 83 : Servitudes inscrites au P.L.U. 179
Figure 63 : Marais de Rothmoos et site StocaMine. 140	
Figure 64 : Langues salées liées aux terrils, évolution des surfaces de nappe concernées. 145	
Figure 65 : Schéma conceptuel du déstockage pris en compte dans la comparaison des solutions [68]. 147	
Figure 66 : Schéma conceptuel du déstockage pris en compte dans la comparaison des solutions [68]. 147	
Figure 67 : Option de réversibilité, sites potentiels de re-stockage les déchets..... 148	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Températures moyennes et précipitations, poste météorologique de Mulhouse.....	20	Tableau 25 : Contaminants principaux, masses et concentrations dans le volume du stockage saturé de saumure.	94
Tableau 2 : Principales caractéristiques des aquifères de la série Secondaire [4].	29	Tableau 26 : Répartition des débits d'épanchement de saumure (mine) pour les 5 puits autour de StocaMine (en m ³ /an) [62].	101
Tableau 3 : Éléments fondamentaux de la Directive Cadre sur l'Eau.....	35	Tableau 27 : Concentrations de l'environnement local témoin, mesures concernant la partie supérieure de la nappe (état initial puis suivi de 1998 à 2012).....	105
Tableau 4 : Les orientations fondamentales du SDAGE Rhin-Meuse.	36	Tableau 28 : 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.....	106
Tableau 5 : Masses d'eau du SDAGE.	37	Tableau 29 : Valeurs de concentrations moyennes calculées dans la première maille du modèle, après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans, prise en compte du retrait préalable de 93% de la masse de mercure et confinement du stockage).....	108
Tableau 6 : SAGE locaux.	38	Tableau 30 : Concentrations en chlorures à 300 ans (premières sortie de saumure) [62].....	113
Tableau 7 : Données SIERM sur la nappe alluviale.	43	Tableau 31 : Concentrations maximales (mg/m ³) mesurées en acceptation de déchet en espace de tête de fût ([8]).	117
Tableau 8 : Qualité de la nappe phréatique à l'aplomb du site (pz 1), analyses de novembre 1998 et suivi postérieur.	45	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.....	118
Tableau 9 : Qualité de la nappe phréatique à l'aplomb du site (pz 2), analyses de novembre 1998 et suivi postérieur.	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.....	118
Tableau 10 : Qualité de la nappe phréatique à l'aplomb du site (pz3), analyses de novembre 1998 et suivi postérieur.	47	Tableau 34 : Concentrations dans les prélèvements d'air de la mine réalisés par l'INERIS en février 2010 aux points M1 et M2.....	119
Tableau 11 : Synthèse des masses d'eau superficielles 2007 (source : SIERM).	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.	119
Tableau 12 : Résultat des analyses eau et sédiments de l'état initial 1998.....	51	Tableau 36 : Valeurs réglementaires dans l'air ambiant extérieur (cf. annexe 1 de l'étude [71]).	122
Tableau 13 : Qualité de l'air dans le Haut-Rhin (ASPA 2013).	52	Tableau 37 : Concentrations dans le stockage au cours des 3 étapes (ou scénarios) étudiées pour les émissions gazeuses [71].....	124
Tableau 14 : Suivi des rejets atmosphériques du puits Else.	55	Tableau 38 : Paramètres pour l'étape avec aérage.....	125
Tableau 15 : Sols à l'extérieur du site.....	56	Tableau 39 : Paramètres du modèle de type « boîte » pour les scénarios 2 et 3.	126
Tableau 16 : Suivi sols, à l'intérieur du site.....	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].	127
Tableau 17 : Site Natura 2000 le plus proche (habitats).	58		
Tableau 18 : Site Natura 2000 le plus proche (espèces).....	58		
Tableau 19 : Habitats naturels proches des installations de surface de StocaMine.	61		
Tableau 20 : Effectif de StocaMine de 1997 à 2014.....	66		
Tableau 21 : Résultat des mesures bruit.....	71		
Tableau 22 : Résumé des vitesses moyennes de convergences retenues (INERIS).	80		
Tableau 23 : Durée d'ennoyage approchée des vides miniers pour le scénario de référence.....	81		
Tableau 24 : Les déchets, quantités totales stockées.....	92		

Tableau 41 : Concentrations dans l'air extérieur associées aux trois scénarios étudiés et critères de comparaison (1).	128
Tableau 42 : Concentrations dans l'air extérieur associées aux trois scénarios étudiés et critères de comparaison (2).	129
Tableau 43 : Tableau simplifié, concentrations modélisées dans l'air et critère de comparaison (étape 1).....	130
Tableau 44 : Tableau simplifié, concentrations modélisées dans l'air et critères de comparaison (étapes 2 et 3).....	131
Tableau 45 : Bilan du schéma conceptuel.	133
Tableau 46 : Synthèse des VTR sélectionnées dans le cadre de l'étude pour la voie inhalation.....	133
Tableau 47 : Paramètres d'exposition d'une personne.	134
Tableau 48 : Synthèses des risques (quotient de danger) pour les substances avec des effets à seuil liés à l'inhalation d'air extérieur.....	135
Tableau 49 : Synthèses des risques (excès de risques individuel) pour les substances avec des effets sans seuil liés à l'inhalation d'air extérieur.	135
Tableau 50 : Comparaison des concentrations moyennes calculées en Hg dans le stockage, à la sortie des barrières, dans la couche profonde (C3) dans le cas d'un épanchement par 5 puits, à 1000 ans, sans déstockage préalable.	151
Tableau 51 : 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, sans déstockage préalable).....	152
Tableau 52 : Concentration en mercure à l'aval immédiat du puits Amélie 1 avec barrières de confinement et retrait de 93% du mercure stocké(hypothèses 5 puits, 2 puits, +50% incertitude).153	
Tableau 53 : Concentration en mercure à l'aval immédiat du puits Amélie 1, C3, sortie de saumure à 300, 500 ou 1000 ans après déstockage de 93% de mercure.	154
Tableau 54 : Concentration en mercure à l'aval immédiat du puits Amélie 1 avec barrières de confinement et retrait de 56% du mercure stocké (hypothèses 5 puits, 2 puits, +50% incertitude).	155
Tableau 55 : Comparaison financière de 4 scénarios de fermeture (source : MDPA).	157
Tableau 56 : Comparaison projet initial, projet actuel	172
Tableau 57 : Durée d'envoyage approchée des vides miniers selon les scénarios retenus dans le secteur ouest.....	188

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).

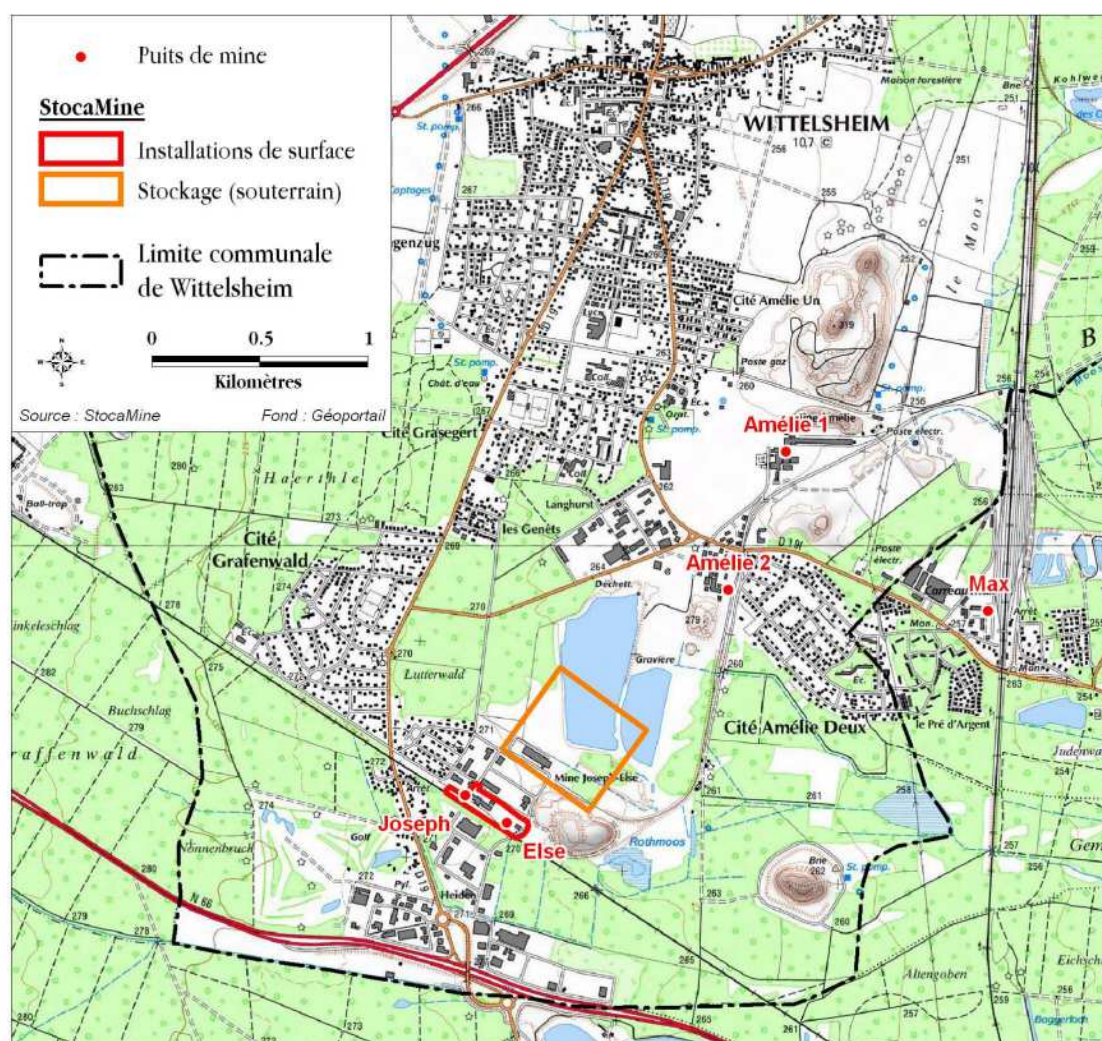


Figure 1 : Localisation de StocaMine.

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 Amélie (puits de mine et départs de galeries depuis les puits), mais elles 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 par rapport à la surface.

Dès sa création, le site de stockage pouvait évoluer vers deux options (arrêté préfectoral d'autorisation) :

- 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. Toutefois, pendant la durée d'exploitation (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 ensuite été étudiées.

L'option de remonter la totalité des déchets au jour, y compris ceux ayant subi l'incendie dans le bloc 15, a toutefois dû être écartée car la galerie de stockage et les emballages dans ce bloc avaient subi des dommages importants : une intervention dans le bloc 15 présenterait des risques trop élevés pour les intervenants. Par conséquent, des variantes ont été envisagées : elles constituent des scénarios intermédiaires avec un retrait partiel plus ou moins important des déchets (par exemple en envisageant de limiter les interventions à deux blocs de stockage, ou de déplacer le moins de déchets à faible impact potentiel sur l'environnement, ou encore d'éviter la manipulation de déchets amiantés, ...). Etant donnée la nature des déchets à fort impact potentiel (déchets dangereux à stockage souterrain obligatoire), toutes les variantes de déstockage conduisent de toute manière à re-stocker en souterrain les déchets. Comme il n'y a pas d'autre site de stockage souterrain en France, les déchets doivent donc être transportés jusqu'en Allemagne, destination la plus proche, pour être re-stockés dans d'anciennes mines de sel.

L'INERIS a été chargé de la comparaison des risques associés à chaque variante (incluant l'option du maintien en place de la totalité des déchets stockés). Au vu des résultats de ces études, qui tenaient compte des risques pour l'environnement et la santé, la variante du maintien en place de tous les déchets est ressortie comme présentant le moins de risques, en mettant toutefois en place un confinement renforcé en souterrain tout autour du stockage.

Dans le même temps un comité d'expert (COFIL) a émis un avis majoritairement orienté vers un déstockage partiel (et pour une minorité demandant un déstockage total). Une concertation sous garantie de l'Etat a également été menée. Suite aux différents avis exprimés, l'Etat a demandé à StocaMine de mettre en œuvre un retrait partiel de déchets contenant du mercure, à hauteur de 93% de la masse de mercure présente dans le stockage et, en cas d'impossibilité, de retirer au moins 56% du mercure, puis de confiner les déchets restant dans le site afin de fermer StocaMine.

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

Le projet prévoit ainsi, une fois le déstockage partiel terminé, de fermer toutes les galeries entourant les cellules de stockage (on parle ici de blocs) par de longs 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, creusement d'une galerie exutoire, ...).

Les puits de mine, qui relient la surface à ce site profond seront également entièrement remblayés.

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

Les paragraphes ci-après présentent les caractéristiques du stockage souterrain, les barrières de confinement prévues et les travaux complémentaires pour assurer le bon confinement du site (y compris le remblayage des puits de mine).

1.1. Le stockage souterrain

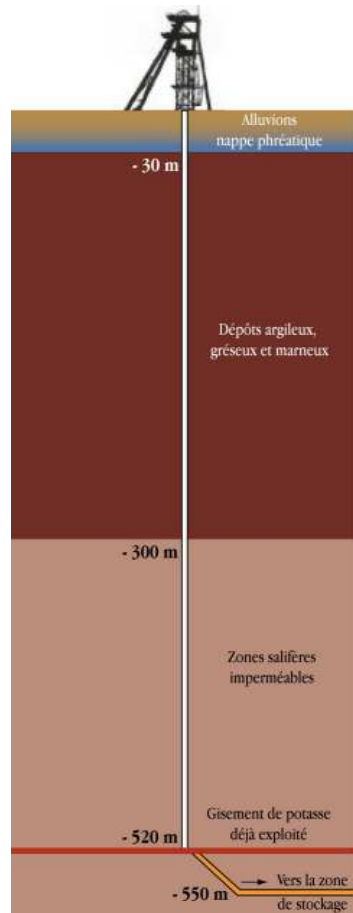


Figure 2 : Contexte souterrain de la zone de stockage (source : StocaMine).

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 ces galeries de stockage il faut descendre par le puits de mine Joseph qui traverse les formations géologiques superficielles sièges de la nappe alluviale d'Alsace (environ 30 mètres), puis des argiles, grès et marnes (environ 300 mètres) et enfin des formations salifères (environ 220 mètres).

C'est au sein de ces formations salifères, sous les couches de potasse exploitées par la mine que les galeries de stockage ont été creusées. Les galeries d'accès au stockage partent des puits Joseph (qui sert pour descendre au site) et Else (qui sert de retour d'air). Ces galeries sont ainsi reliées à d'anciennes galeries de la mine de potasse « secteur Amélie » qui comptait 3 autres puits : Max, Amélie 1 et Amélie 2 aujourd'hui remblayés et fermés.

La figure 5 présente le plan du stockage en souterrain et ses galeries d'accès.

Le stockage est organisé en galeries creusées avec 5,5 mètres de largeur, perpendiculaires entre elles, avec le découpage suivant :

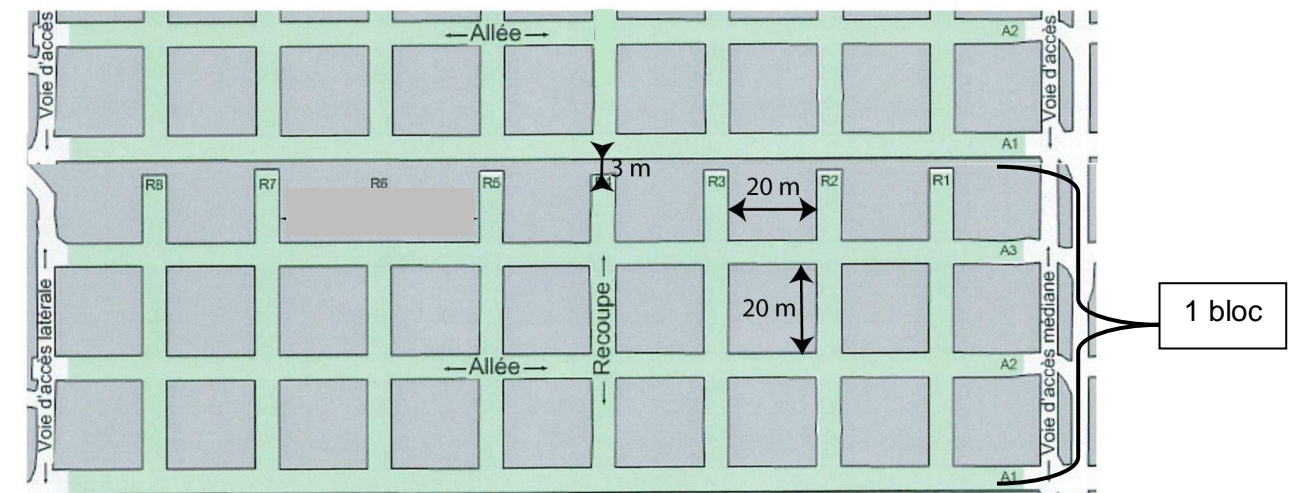


Figure 3 : Plan d'un bloc de stockage. (en gris le massif de sel, en vert les galeries de stockage) (source étude BMG, [30]).

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.

Les numéros des blocs ont été attribués en fonction de leur position par rapport à des galeries centrales, selon le schéma ci-dessous :

BLOC 11 (plein en 2002)	Voie centrale	BLOC 21 (plein en 2002)
BLOC 12 (plein en 2002)		BLOC 22 (plein en 2002)
BLOC 13 (plein en 2002)		BLOC 23 (plein en 2002)
<i>Recoupe centrale</i>		
BLOC 14 (plein en 2002)	Voie centrale	BLOC 24 (plein en 2002)
BLOC 15 : Rempli partiellement, incendie 2002		BLOC 25 : vide
BLOC 16 : vide et non fini		BLOC 26 : vide et non fini

Figure 4 : Schéma simplifié de l'organisation du stockage.

A l'arrêt du stockage en 2002, 10 « blocs » étaient totalement ou partiellement aménagés. Les blocs 16 et 26 étaient en cours de creusement. Les blocs 11 à 14 et 21 à 24 étaient remplis de déchets. Le bloc 15 était en cours de remplissage. Le bloc 25, prêt, était vide.

Les déchets entreposés sont contenus dans des big-bags (cf. photo ci-dessous) ou des fûts (2 à 3 superposés).

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



Les déchets stockés seront décrits en détail dans le chapitre 3 concernant l'étude des incidences du projet. Il s'agit de déchets ultimes (sels de trempe, déchets arséniés, chromiques, mercuriels, terres ou résidus souillés par des métaux lourds, résidus de l'électronique, déchets de galvanisation, résidus d'incinération, produits phytosanitaires, catalyseurs, déchets de laboratoire ou contenant de l'amiante).

Ces produits contiennent des éléments majeurs sans danger (calcium, silice, ...) et des contaminants toxiques. Les études du devenir à long terme de ces contaminants ont montré que, en fermant toutes les galeries du stockage, même en cas d'introduction de saumure dans le stockage puis de remontée de saumure jusqu'à la nappe alluviale, les concentrations associées ne remettent pas en cause les usages de la nappe même si aucun déstockage n'est réalisé. L'élément mercure est de loin le plus potentiellement impactant et, en utilisant un ensemble d'hypothèses sécuritaires, il est susceptible de frôler très localement les teneurs de référence, en restant très en-dessous des normes de potabilité.

Des scénarios de déstockage partiel ont été présentés à la concertation, avec notamment l'option d'un déstockage sélectif destiné à diminuer au maximum la masse de mercure présente dans le stockage avant mise en place du confinement. A la suite de la concertation publique, afin de tenir compte des attentes de la population locale qui s'est exprimée majoritairement pour un déstockage maximal, l'Etat a décidé de demander aux MDPA de procéder au déstockage de 93% de la masse de mercure (dans le respect de la sécurité des travailleurs).

Avant mise en œuvre du confinement, le stockage souterrain aura donc les mêmes caractéristiques principales que présenté précédemment mais les blocs 12, 21, 22 et 23 contiendront moins de déchets (ils seront partiellement remblayés pour compenser les vides créés par l'enlèvement des déchets).

1.2. Le confinement du site

1.2.1. Les barrières de confinement

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'est pas exclu que des débits d'eau très faibles, provenant de la nappe aquifère d'Alsace, puissent passer par les anciens puits de la mine¹ de potasse et atteindre les vieux travaux miniers souterrains. L'accumulation progressive de ces infiltrations d'eau, si elle se prolonge pendant des centaines d'année, pourrait aboutir à un ennoyage progressif des parties profondes de la mine jusqu'à atteindre les galeries du stockage. Cette hypothèse est décrite en détail dans le chapitre 2.4 de l'étude d'impact.

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 un jour ces galeries au terme de plusieurs siècles et vienne dissoudre les polluants qu'elles contiennent.

Par ailleurs, le comportement spécifique du sel doit être pris en compte. En effet, les vides créés dans le sel à grande profondeur ont tendance à se refermer. L'avantage de ce comportement est qu'il permet une « cicatrisation » autour des déchets. L'inconvénient est un possible effet de mobilisation de l'eau qui aura rempli les vides² de porosité des substances présentes dans le stockage. Si ce phénomène de fermeture des vides est suffisamment important la saumure potentiellement polluée par les déchets pourrait ainsi migrer à très long terme vers la surface par l'intermédiaire des puits de mine et atteindre la nappe aquifère de la plaine d'Alsace.

La mise en place des barrières de confinement a donc été envisagée sur la base de ces hypothèses défavorables.

Les caractéristiques de ces ouvrages ont été étudiées pour 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. Ces barrages seront mis en place sur toutes les galeries d'accès³ au site de stockage (cf. figure 6).

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

² et se sera transformée en saumure

³ : Soit 19 barrières. Les galeries d'accès sont soit des galeries simples, soit des galeries doubles. Leur section est d'environ 11 m².

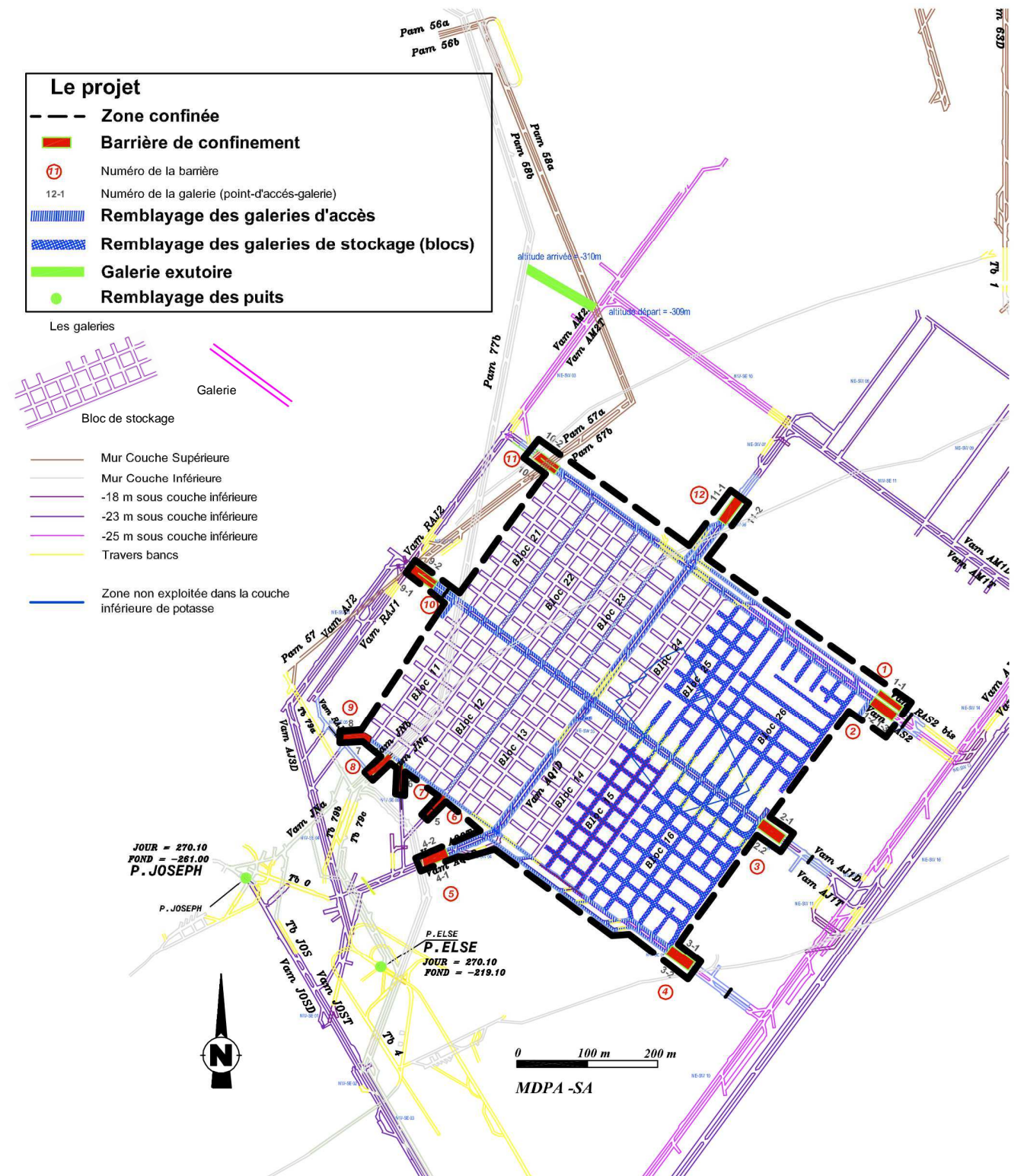


Figure 6 : Projet de confinement du stockage (MDPA).

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

- 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 (pression pouvant se reporter sur les barrières : 6 MPa)

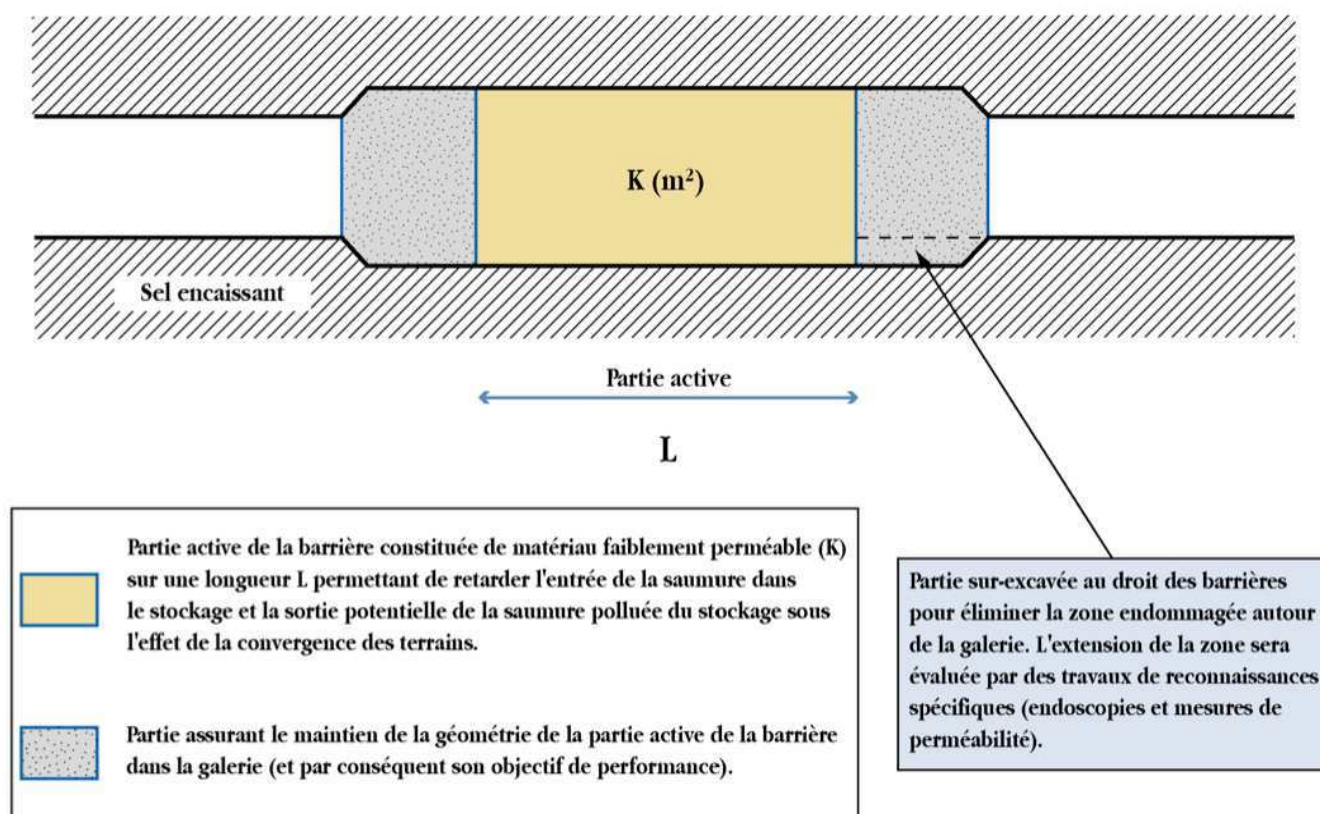


Figure 7 : Schéma de principe de conception des barrières de confinement des galeries de stockage (d'après étude INERIS).

Les phénomènes de convergence des terrains qui conduiraient à un épanchement de saumure dans la nappe d'Alsace sont des phénomènes qui s'amenuisent au fil du temps, en lien avec les caractéristiques spécifiques du sel et des matériaux compactés.

En tenant compte de l'ensemble des déchets stockés dans le site, les études INERIS ont montré qu'au bout de mille ans ces phénomènes seront suffisamment affaiblis pour que, même si de la saumure avait pu atteindre les déchets, les concentrations de polluants induites dans la nappe par l'arrivée de cette saumure issue des puits de mine ne dépassent pas le bruit de fond actuel.

Les barrières seront donc conçues avec une perméabilité suffisamment faible pour qu'elles ne puissent pas être traversées par un fluide sortant du stockage en moins de 1000 ans.

Le choix du matériau constituant le noyau de très faible perméabilité (pour ne pas dire d'étanchéité) est ouvert mais il est possible de le réaliser avec de la bentonite (argile gonflante souvent utilisée pour le confinement de déchets)⁴

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 de long, et un remblayage des galeries laissées vides dans le stockage, 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. Par ailleurs, un autre type de barrage mis au point dans les six dernières années en Allemagne, construit en béton Sorel, pourrait aussi satisfaire très largement à la contrainte des 1000 ans.

Une réduction de la masse de déchets préalablement au confinement assurera un degré de sécurité supplémentaire par rapport à ces éléments puisque l'hypothèse de dimensionnement des barrières a été basée sur la masse totale de déchets stockés au moment de l'arrêt d'exploitation en 2002.

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 dont le plan d'exécution sera précisé 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.

⁴ : Les études montrant la faisabilité technique des barrières ont été réalisées par le bureau d'ingénierie ERCOSPLAN. Par ailleurs, des tests sont prévus pour identifier les matériaux les plus performants (facilités de mise en œuvre, coût, réactions en milieu salin,...). Dans ce cadre des bétons spéciaux, adaptés au contexte salifère seront également testés.

1.2.2. Travaux complémentaires (mesures de maîtrise des risques)

1.2.2.1. Travaux complémentaires dans les galeries du stockage et autour du stockage

Les travaux prévus dans les galeries du stockage ou proches du stockage ont pour objectif de s'assurer qu'il n'y aura pas de points de faiblesse par lesquels pourraient passer les fluides, court-circuitant ainsi les barrières de confinement.

Il s'agit :

- du traitement du sondage de reconnaissance W3 et des forages de dégazage⁵ potentiellement présents de part et d'autre des emplacements des futurs barrages,
- de travaux d'auscultation des parois des galeries, de contrôle de perméabilité et d'injections éventuelles si des ouvertures sont soupçonnées au droit des barrages de confinement,
- du creusement d'une galerie exutoire dans le point bas du stockage,
- du remblayage des galeries vides ou partiellement vides du stockage,

Le traitement du sondage W3 a déjà été réalisé (voir détails dans le chapitre 6). Cette intervention et le traitement des forages de dégazage permettront d'éviter que la saumure ne passe par ces anciens trous.

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 douce, qui pourraient dissoudre les terrains salifères, n'atteigne le massif autour des barrières de confinement du stockage.

Le remblayage des galeries vides assurera un soutènement de ces galeries et permettra également de maintenir une certaine porosité dans la zone confinée. L'effet de soutènement permettra d'éviter une fragilisation des terrains entre le stockage et l'ancienne couche inférieure de potasse foudroyée, empêchant ainsi l'apparition de fissures par lesquelles les fluides auraient pu passer.

La porosité des matériaux de remblayage évitera une fermeture complète des vides résiduels par le fluage et laissera donc des vides disponibles pour stocker les fluides. Ainsi le volume des vides à remplir étant plus grand cela augmentera la durée de remplissage et le volume de fluide stocké étant plus grand cela diminuera les concentrations de polluants. Le phénomène moteur de sortie de saumure générant potentiellement des débits de plus en plus faibles l'effet retard lié au remblayage diminuera l'éventuel débit de sortie de polluants. Contrairement aux barrières de confinement, c'est la présence de vides résiduels qui sera donc recherchée dans les matériaux de remblayage et non une faible perméabilité.

⁵ Sondages de faible diamètre réalisés à l'avancement de l'exploitation minière pour s'assurer de l'absence de grisou.

1.2.2.2. 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.

Les puits Joseph et Else sont les deux seuls puits de mine encore ouverts 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 MDPAs (méthode mise en place avec l'accord de la DRIRE et n'ayant donné lieu 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 infiltrations d'eau en provenance de la nappe phréatique dans ces puits et à leur extrados.**

Les premiers éléments techniques concernant les barrières, les mesures complémentaires et le remblayage des puits sont fournis dans le chapitre 6.

Les mesures complémentaires prévues (ou mesures de maîtrise des risques) ont pour objectif :

- qu'aucun phénomène de fuite parasite ne puisse affecter l'efficacité des barrières,
- que le volume de vides dans le stockage soit tel qu'il allonge le phénomène de remplissage du stockage,
- que les points de liaison entre la surface et le fond (= les puits de mine) soient les plus étanches possibles.

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.

Toutefois, dans cette partie, des aspects liés à l'état initial avant la mise en activité de StocaMine seront également présentés 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.

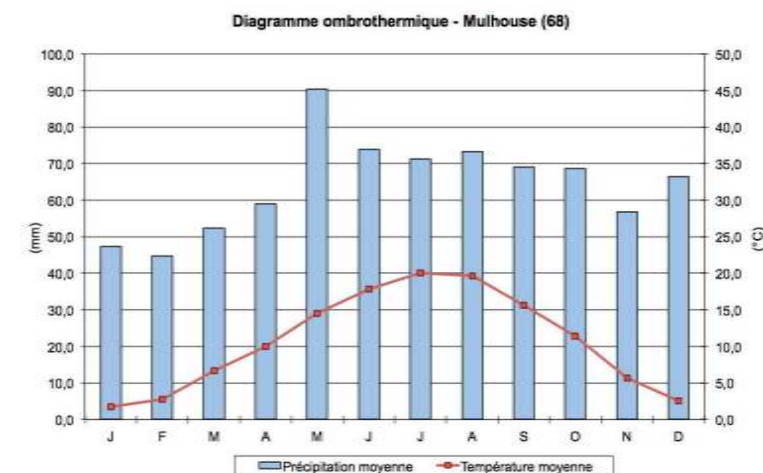
La Haute Alsace est cependant plus ouverte vers la Méditerranée par la trouée de Belfort, entraînant des conditions de température, d'occurrence de brouillards, de précipitations un peu moins rudes.

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) :

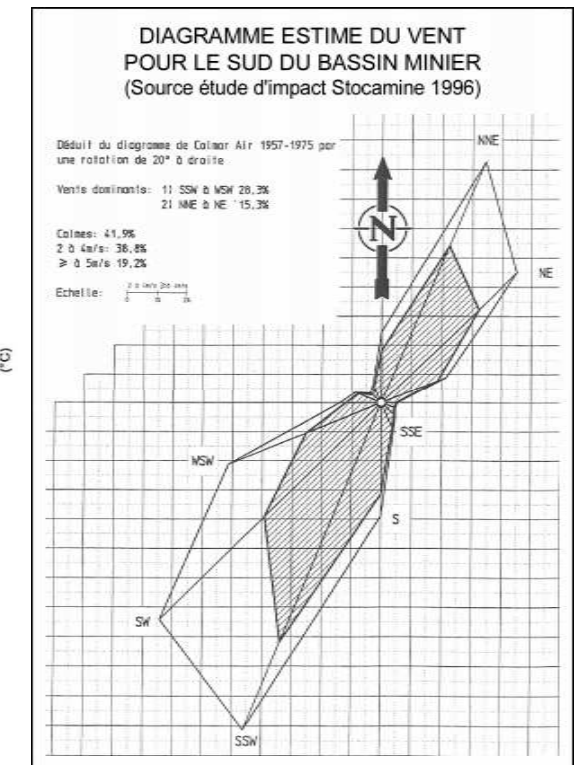
- Les précipitations sont relativement faibles et présentent des variations importantes d'une année sur l'autre, la moyenne annuelle se situant à environ 773 mm d'eau.
- La température moyenne annuelle est relativement douce, voisine de 11°C, mais l'amplitude entre le mois le plus chaud (juillet) et 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 souterrain 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 référera 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, du plus profond (terrains du Secondaires reposant sur le socle granitique jusqu'à la surface).
- le contexte tectonique (failles, diapirisme).

2.1.2.1. Stratigraphie

La succession stratigraphique des terrains est schématisé sur la figure 8 et la figure 9.

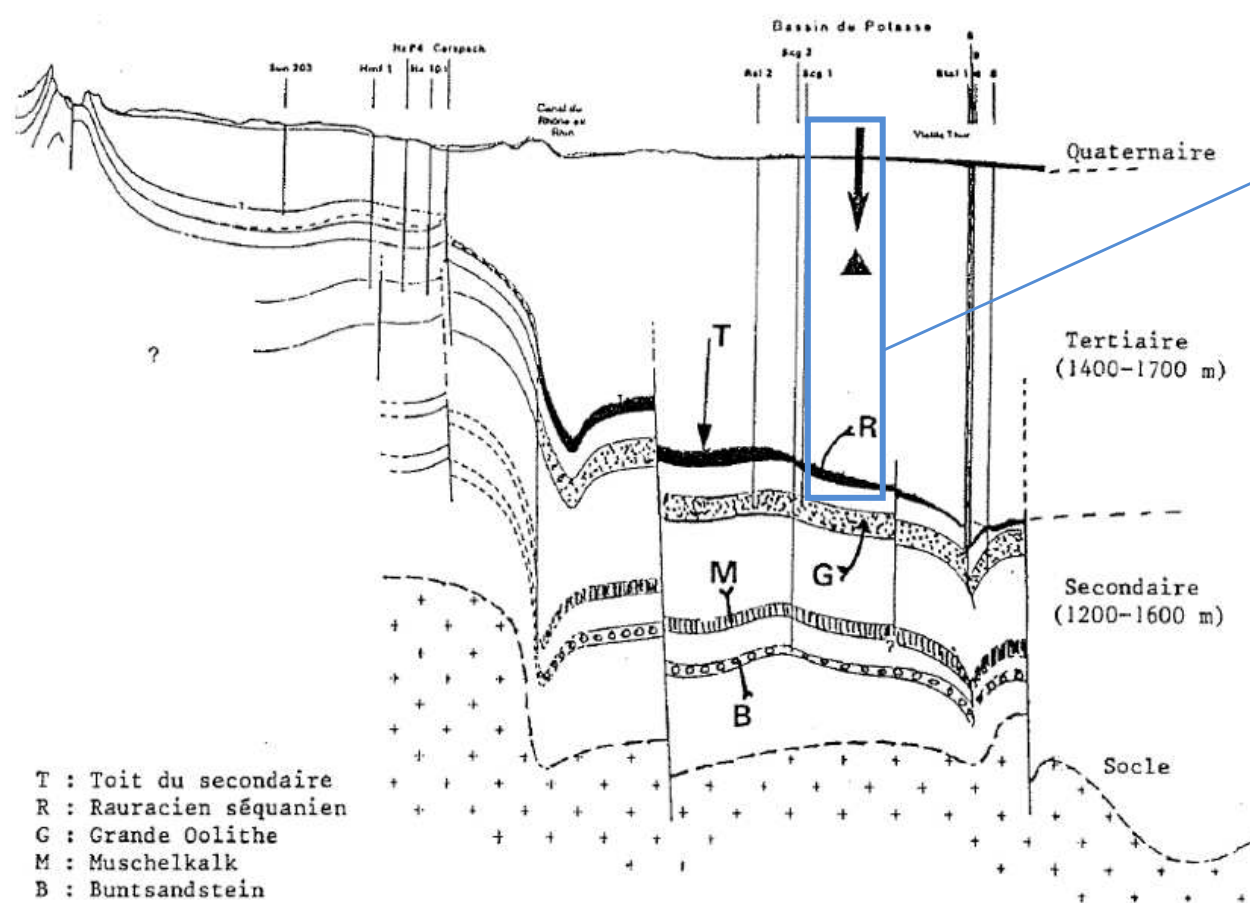
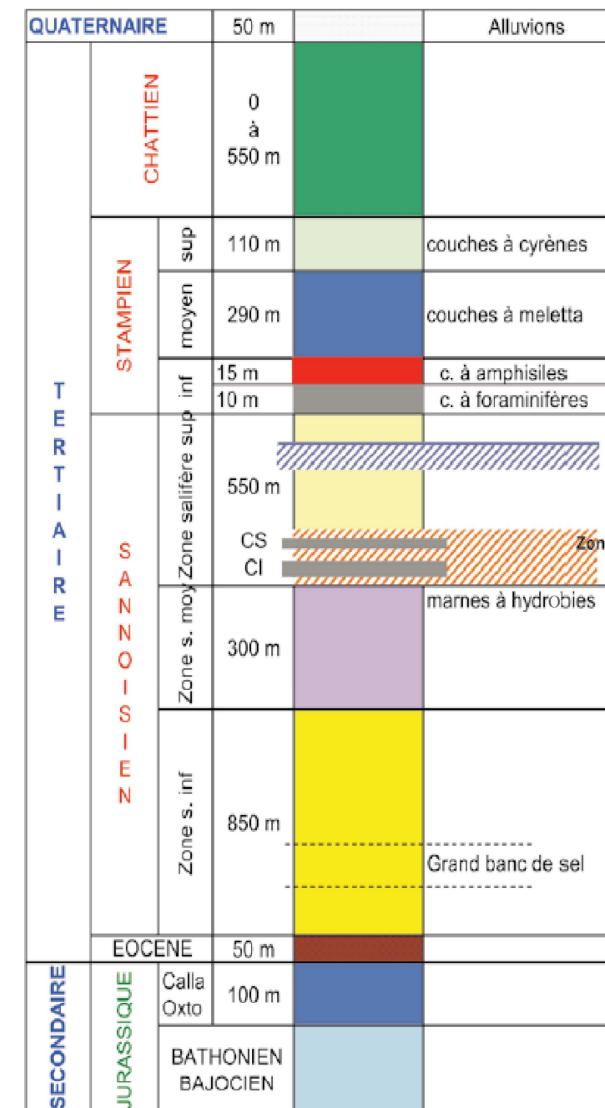


Figure 8 : Coupe générale nord-sud des terrains dans la région de Mulhouse [4].
(le nord est à gauche ; le triangle noir schématise l'emplacement du stockage souterrain de Stocamine)

Log général du bassin potassique



Secteur du stockage souterrain

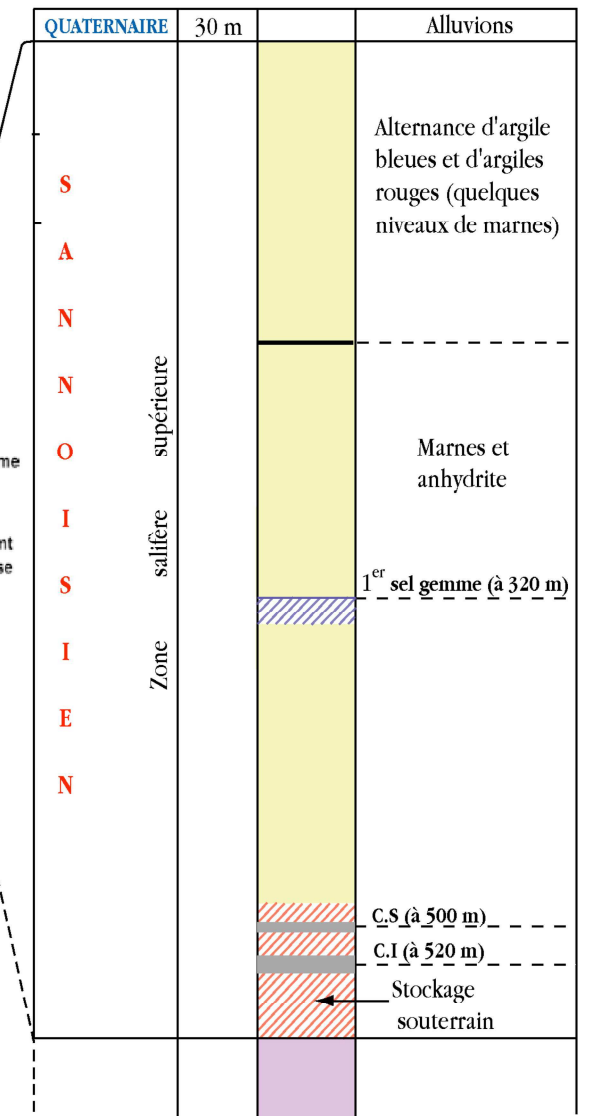


Figure 9 : Coupe stratigraphique synthétique des terrains du bassin potassique [4].

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 8 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 dans le bassin Alsacien.

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.

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 10) :

- 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.

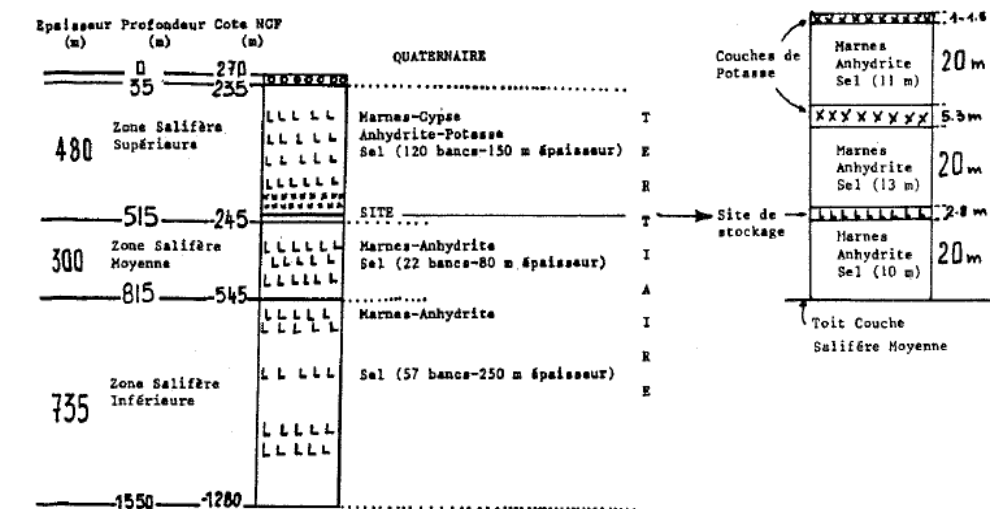


Figure 10 : Log géologique schématique des terrains salifères de l'Oligocène ≈ SANNOISIEN [4].

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 :
 - o 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 ;**
 - o 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) ;
 - o 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 ;

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.

- 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 la mine de potasse. 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.

Le bassin sédimentaire n'est pas complètement homogène : les étages supérieurs ne sont pas présents partout, ce que l'on peut visualiser sur la figure 13, notamment avec la coupe (AB) traversant la zone exploitée pour la potasse.

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

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 11) 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 à proximité de Mulhouse) et le domaine des alluvions rhénanes à l'est (épaisses 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 (en brun sur la figure 11), ces deux domaines alluviaux se recouvrent sur 2 à 3 km avec une interstratification des alluvions vosgiennes et rhénanes ;

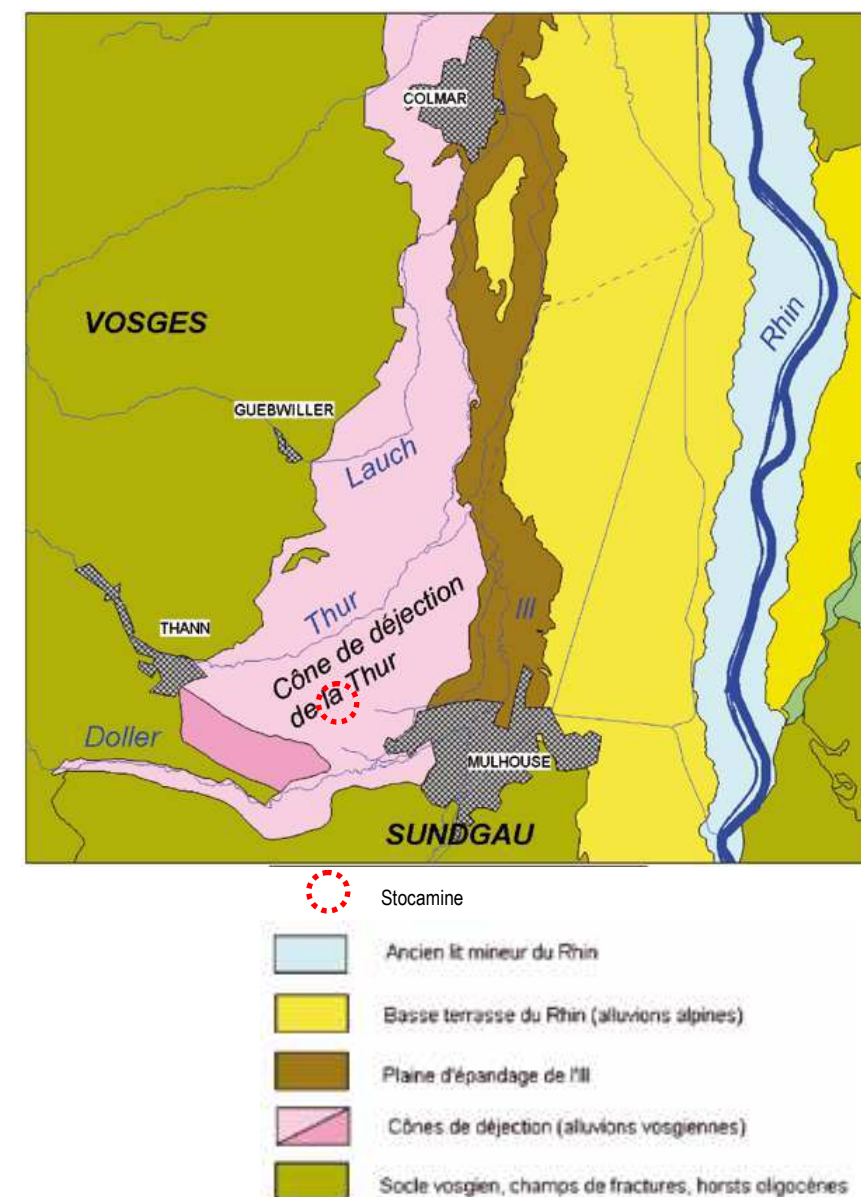


Figure 11 : Carte géomorphologique de la plaine du Rhin [42].

- Dans le plan vertical (figure 12) avec 3 couches d'âge différent :
 - 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.

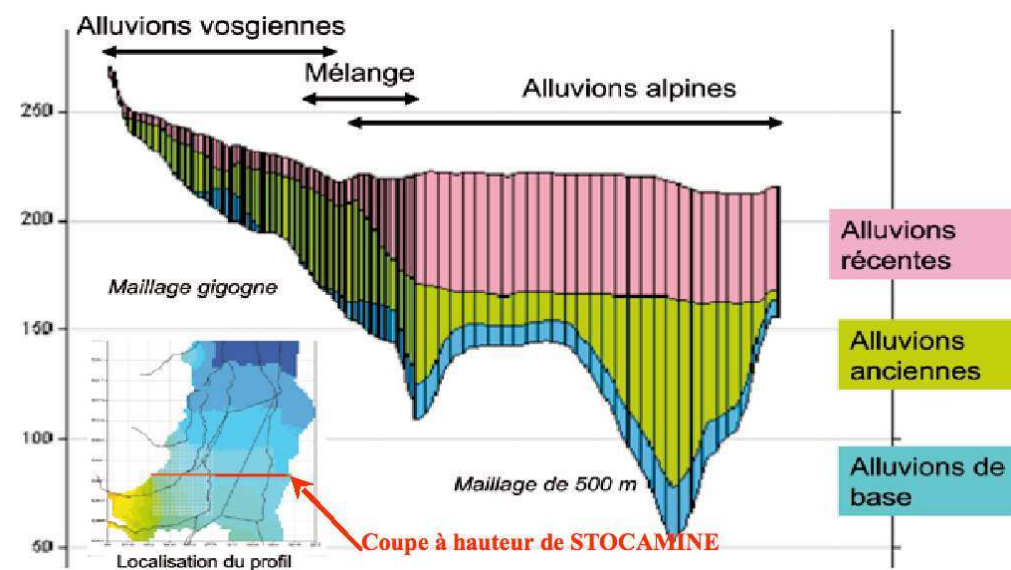


Figure 12 : Coupe est-ouest des alluvions de la nappe d'Alsace [62].

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

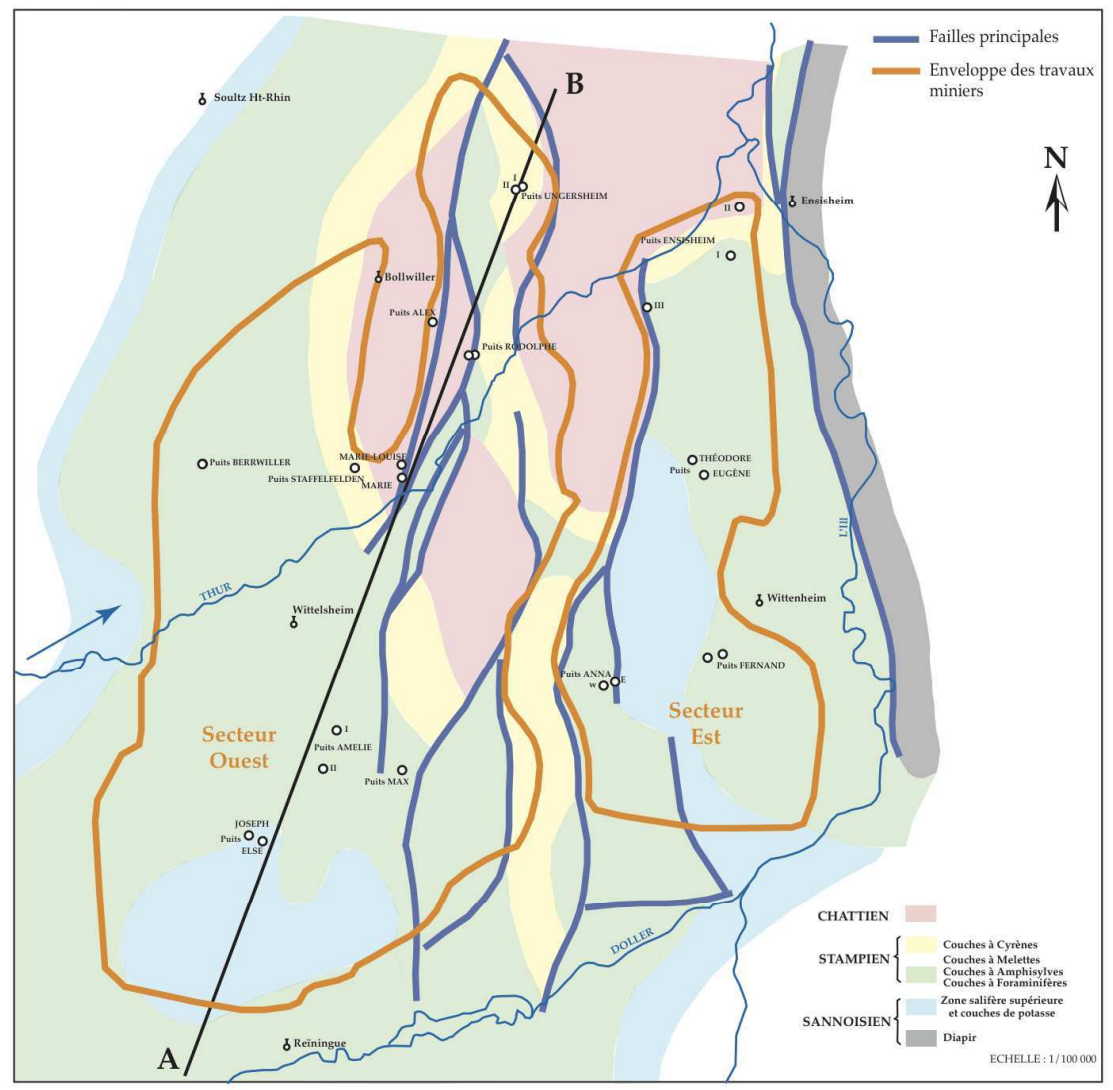
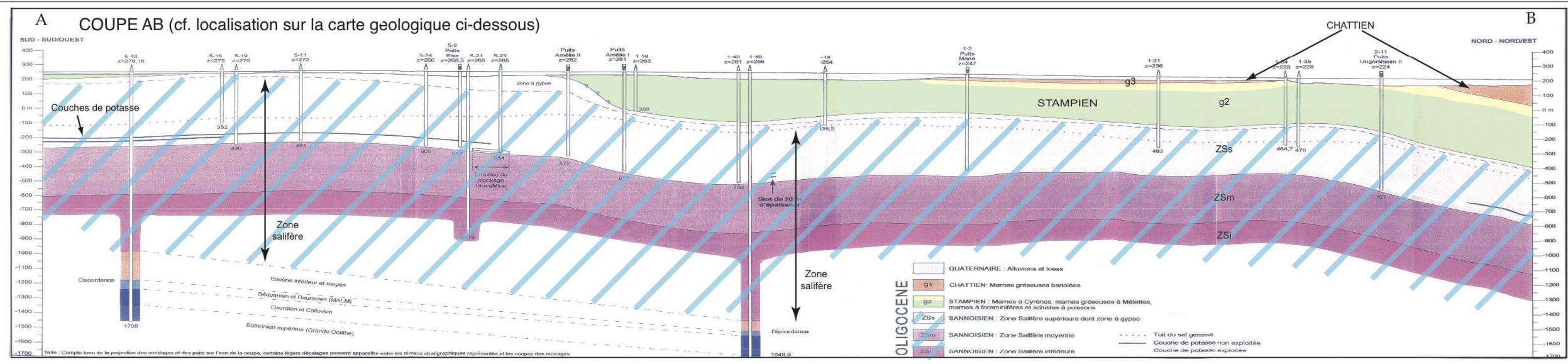
Il présente des terrains de remplissage allant de l'ère secondaire à l'ère quaternaire. Les terrains de l'ère tertiaire se caractérisent par une importante série évaporitique.

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).

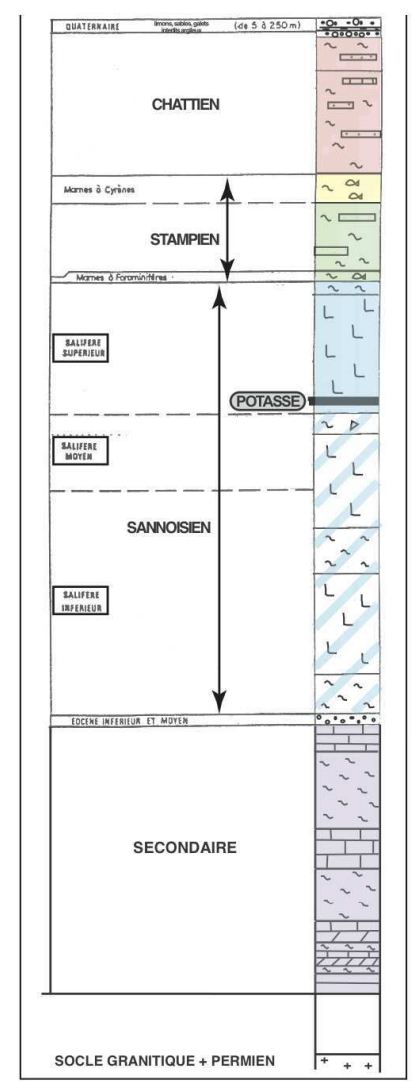
Le recouvrement plio-quaternaire, de nature alluviale, est essentiellement formé de dépôts sableux, avec localement des paléo-chenaux à remplissage plus grossier à sa base.

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

Dossier de demande d'autorisation 2015
FIGURE 13 : CONTEXTE GÉOLOGIQUE, MINES DE POTASSE D'ALSACE



Carte géologique infra-quaternaire



Log stratigraphique simplifié

Source : étude Mica 2004
 Réalisation : CESAME 2015

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 14). 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.

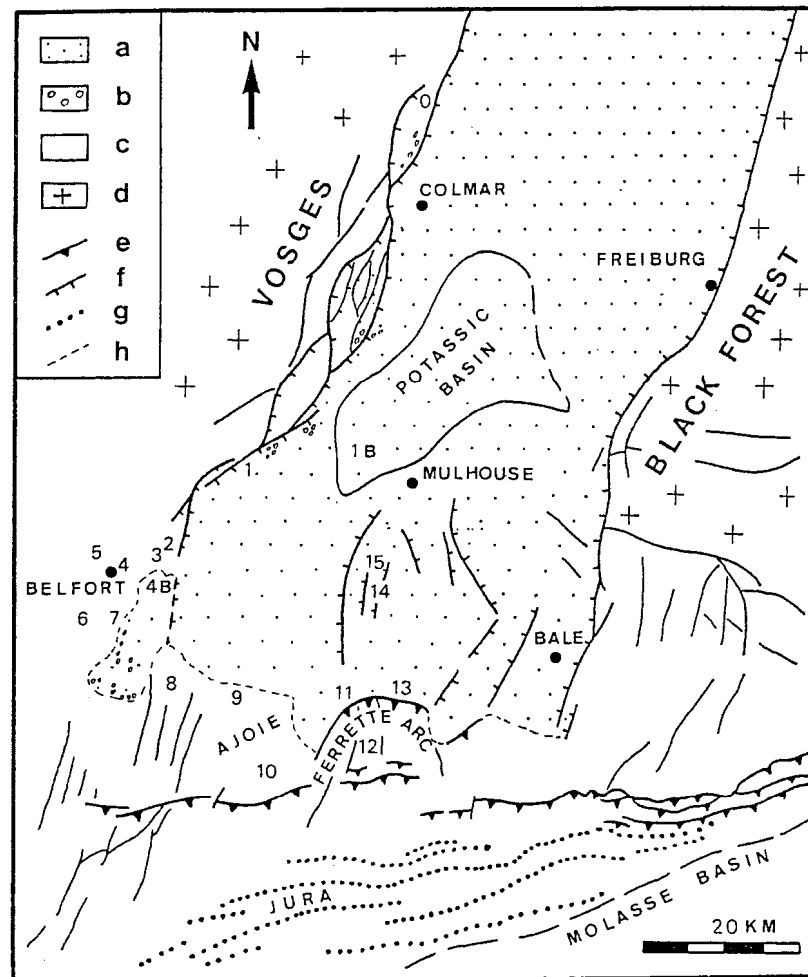


Schéma tectonique de la partie Sud du Fossé Rhénan. a= cénozoïque, b= conglomérats oligocènes, c= sédiments mésozoïques, d= paléozoïque, e= failles inverses, f= failles normales, g= axes de plis, h= limite Sud du Fossé Rhénan. Les nombres indiquent les endroits où des analyses microtectoniques ont été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

Figure 14 : Schéma tectonique de la partie sud du fossé rhénan.

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

A la fin du Crétacé, les mouvements prémonitoires de l'orogénèse alpine ont 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 (Figure 13).

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 (bien plus au nord) 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 considérant 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 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 inexistant » [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 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 constituent 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).

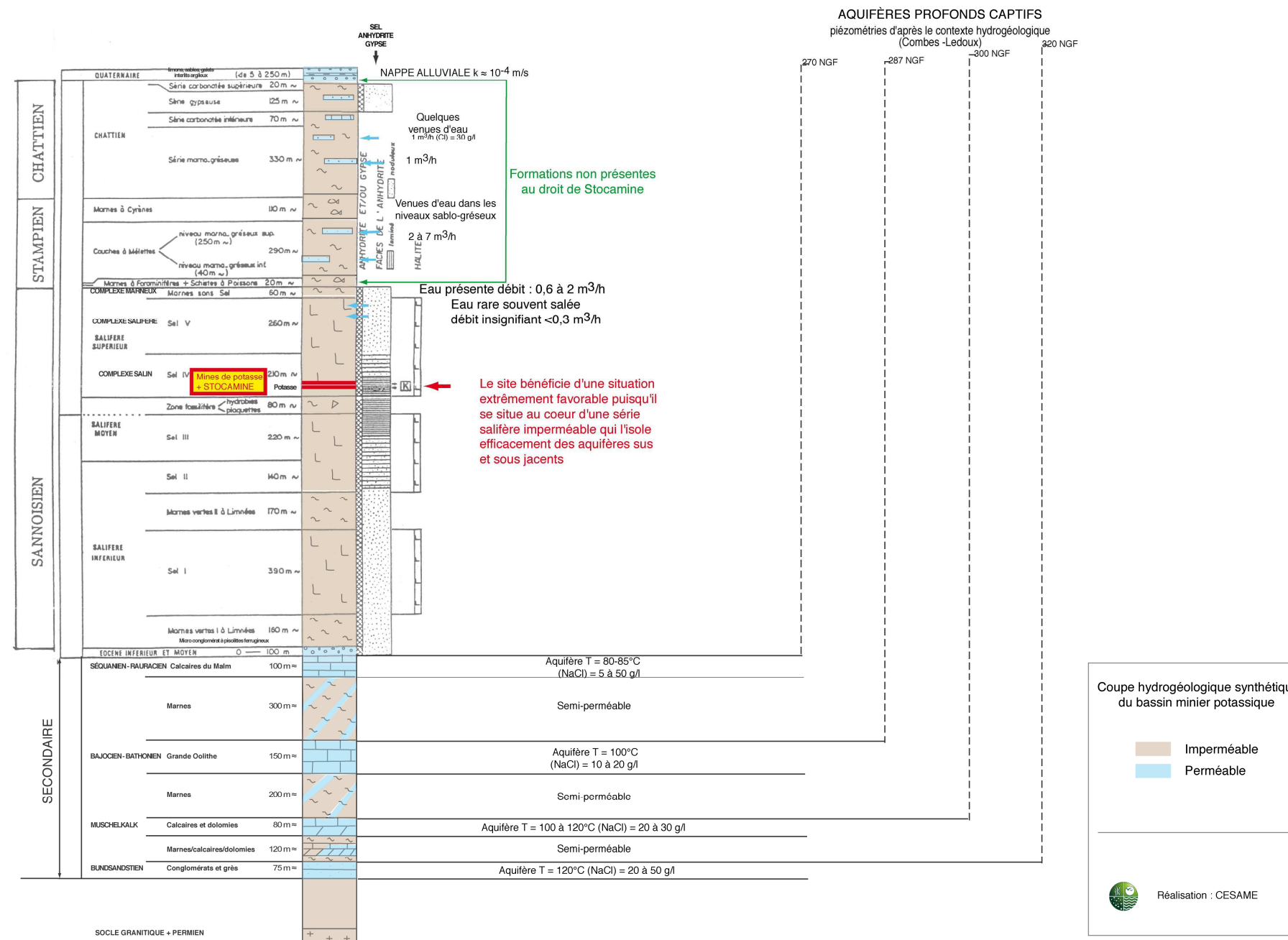


Figure 15 : Log hydrogéologique du bassin minier.

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 de NaCl.

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].

Les sondages pétroliers réalisés dans le bassin potassique et qui ont atteint ces aquifères profonds étaient pour la plupart légèrement artésiens » lors de leur foration [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 16.

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 16) :**
 - o **environ 200 m de partie basale (c'est-à-dire les terrains juste au-dessus du stockage) sans venue d'eau ;**
 - o **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 ;**
 - o **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.

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).

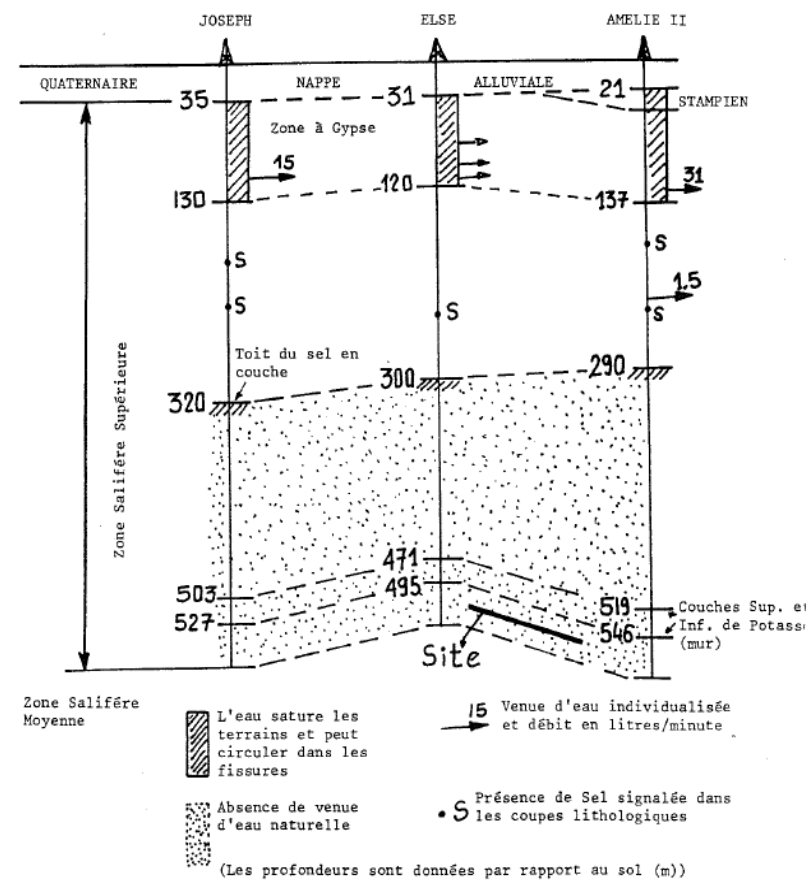


Figure 16 : Schéma synthétique de l'hydrogéologie de la zone salifère supérieure à l'aplomb du site de stockage [4].

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 forage. 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.

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 et localement par des industriels. A l'aval des terrils issus de l'activité d'extraction de la potasse, des pompages interceptent les eaux salées qui sont générées par le lessivage des terrils¹⁴ et qui s'infiltrent dans la nappe.

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 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.

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

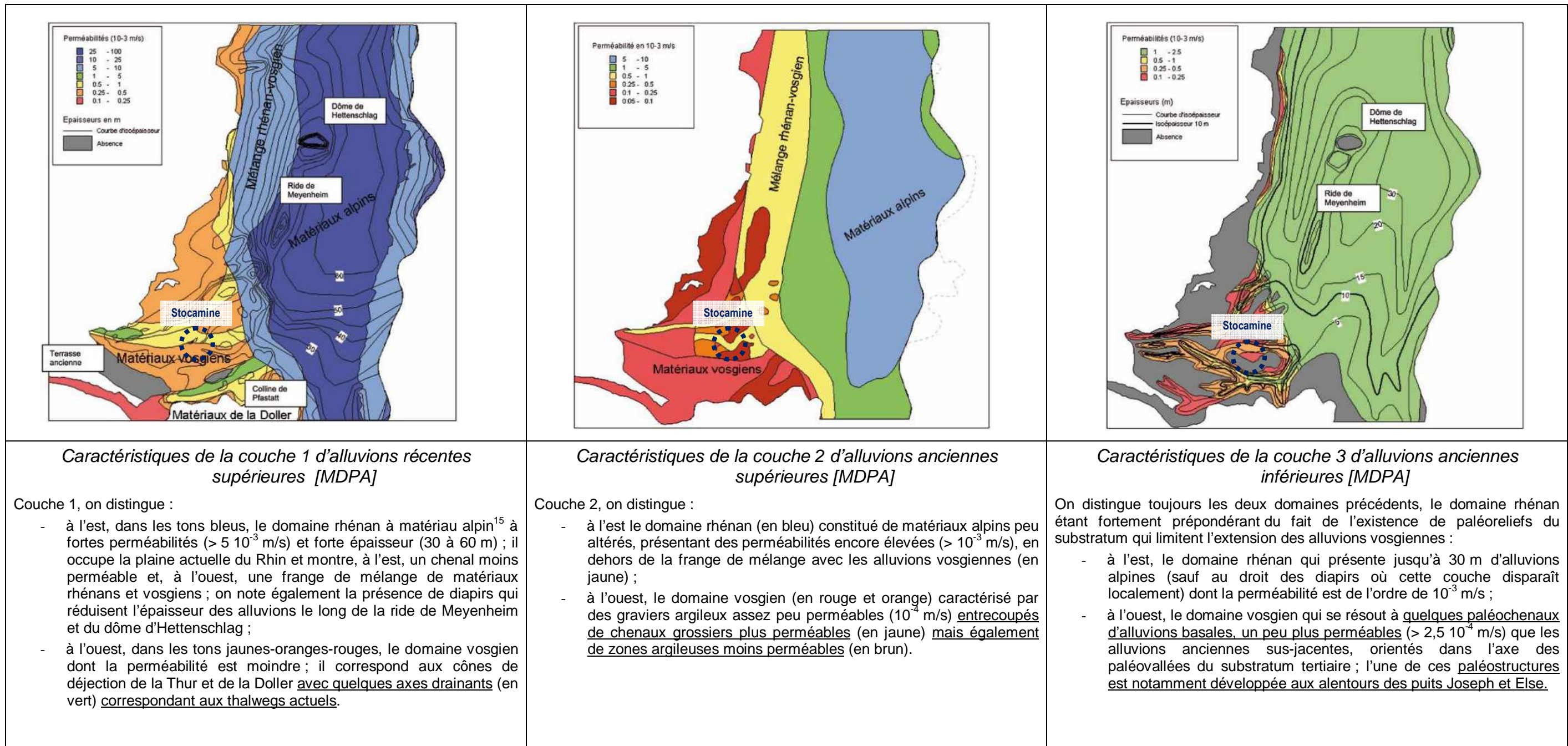


Figure 17 : Caractéristiques des différentes couches d'alluvions de la nappe.

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

b - PIEZOMETRIE

La figure 18 représente la piézométrie de juin 2002 utilisée par le BRGM dans l'étude réalisée pour StocaMine [62]. Cette piézométrie est représentative de conditions moyennes.

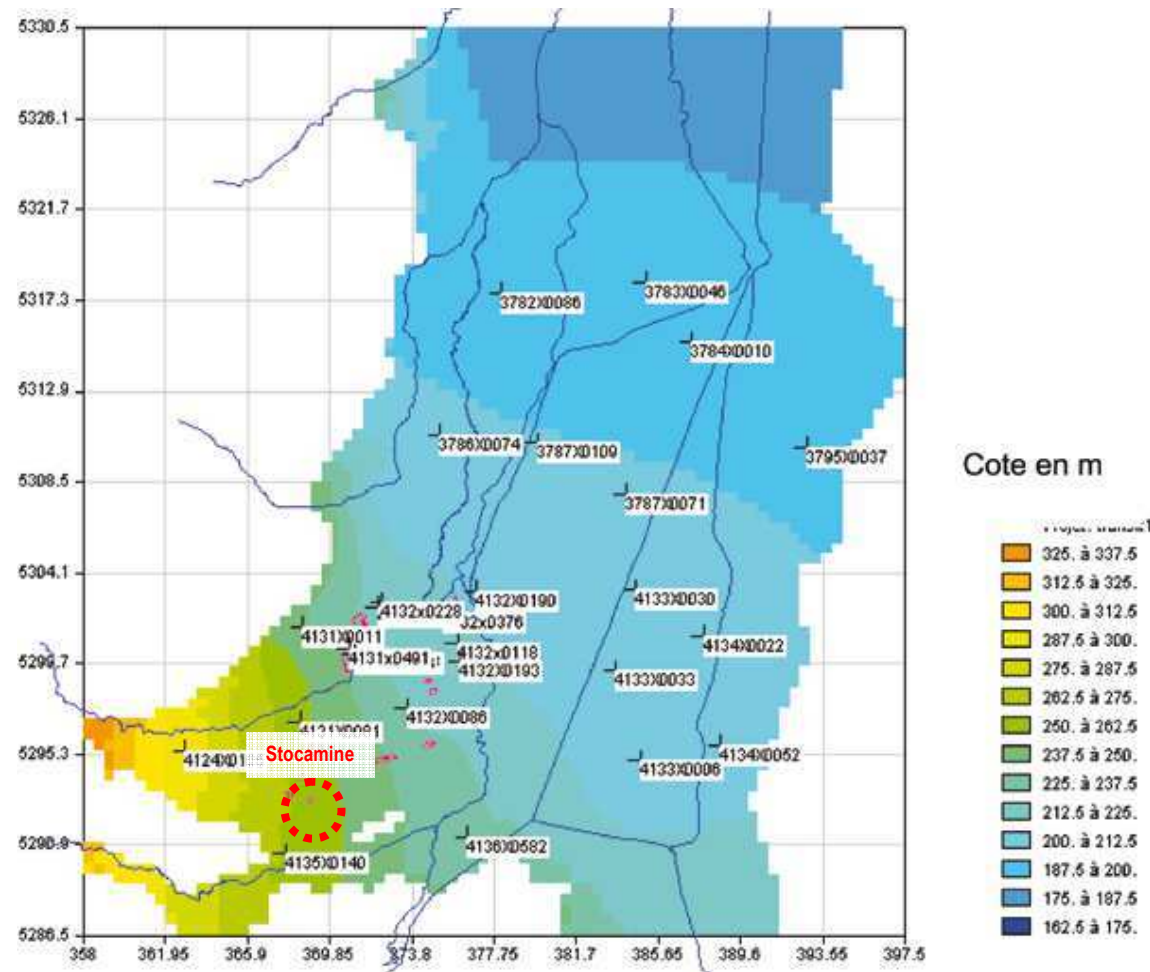


Figure 18 : Carte piézométrique de référence de juin 2002 [MDPA].

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 18), le niveau piézométrique à l'aplomb du site de stockage se trouve à environ 260 m NGF.

La piézométrie au-dessus du site de stockage est illustrée plus précisément ci-dessous (figure 19), 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. Le niveau d'eau est entre 4 et 6 mètres de profondeur (selon la cote précise du sol).

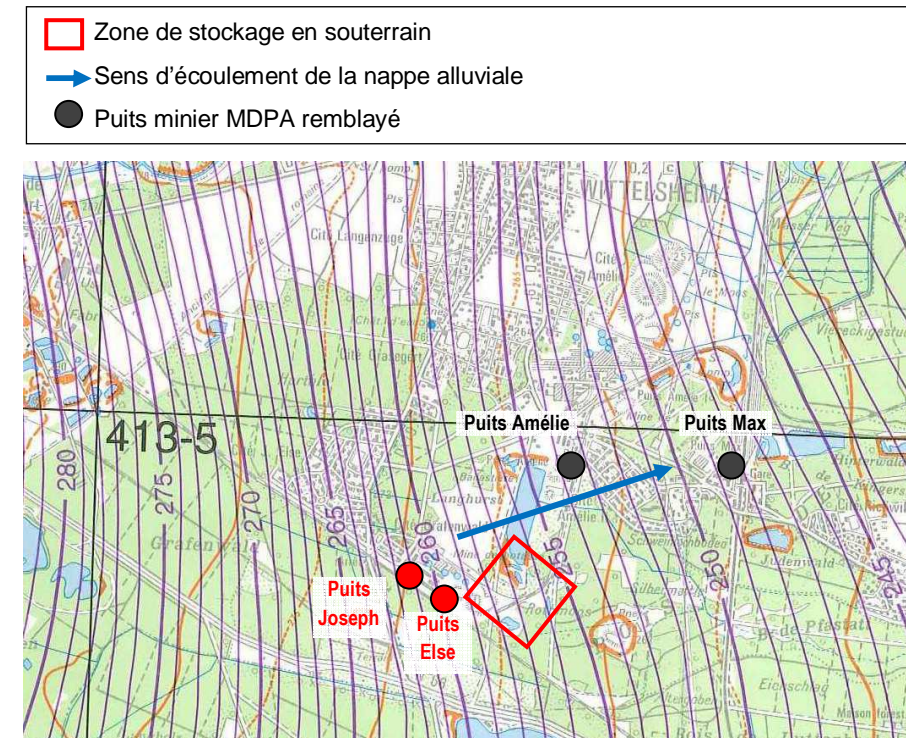


Figure 19 : Extrait de la carte piézométrique du bassin potassique (piézométrie en m NGF).

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 au droit du site.

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 :

- o 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.
- o Des objectifs de limitation d'introduction de substances polluantes sont également fixés.

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

- o Des surveillances ou restrictions de rejets plus strictes sont instaurées au niveau de zones dites « protégées ».
- o 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 ».

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

<p>Le texte et ses ambitions</p>	<p>La DCE a pour ambition d'établir un cadre unique et cohérent pour la politique et la gestion de l'eau en Europe.</p>	<p>Les ambitions affichées sont de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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.
<p>Les objectifs</p> <p>Ils se décomposent en trois catégories :</p> <ul style="list-style-type: none"> - des objectifs à appliquer aux masses d'eau - des objectifs relatifs aux substances, - des objectifs relatifs aux zones protégées. 	<p>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.</p>	<p>Dans tous les cas :</p> <ul style="list-style-type: none"> - aucune masse d'eau ne doit se dégrader, - au plus tard en 2015, toutes les masses d'eau naturelles doivent atteindre le bon état : <ul style="list-style-type: none"> - 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 ;
		<p>Concernant les objectifs relatifs aux substances, il s'agit :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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.
	<p>Les zones protégées comprennent :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. 	<p>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.</p>
<p>La mise en place de ces objectifs (lien avec le SDAGE)</p>	<p>Pour atteindre les objectifs environnementaux qu'elle impose, la DCE demande que chaque district hydrographique soit doté :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. 	<p>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.</p>

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 et figure 23 page 49) :

- o **Eaux souterraines :**
[Masse d'eau FRCG001 : Pliocène d'Haguenau et nappe d'Alsace](#)

- o **Eaux superficielles :**
 Dans un environnement très large autour du site d'étude, on recense les masses d'eau suivantes :

- au sud :
 - o La Doller (ici tronçon Doller 5, FRCR57) et son affluent le Steinbaechlein (FRCR62)
- à l'est :
 - o L'III (ici tronçon III 4, FRCR19)
- au nord :
 - o La Thur (Thur 4, FRCR69), le canal de Thann-Cernay (FRCR76) et la Vieille Thur (FRCR81)
 - o 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	FRCG001
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 (en cours d'approbation et qui concerne notamment 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 (PAGD et règlement approuvés par la CLE en septembre 2013)	Préservation de la nappe phréatique rhénane Préservation des eaux superficielles Restauration des milieux aquatiques

Tableau 6 : SAGE 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 FRCG001 Pliocène d'Haquenau 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 dans les terrains du Secondaire sont isolés du stockage.

Les formations situées au-dessus du stockage (complexe salifère) 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

Sources des données :

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 20 : **aucune exploitation d'eau 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, Pfstatt).

- 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.

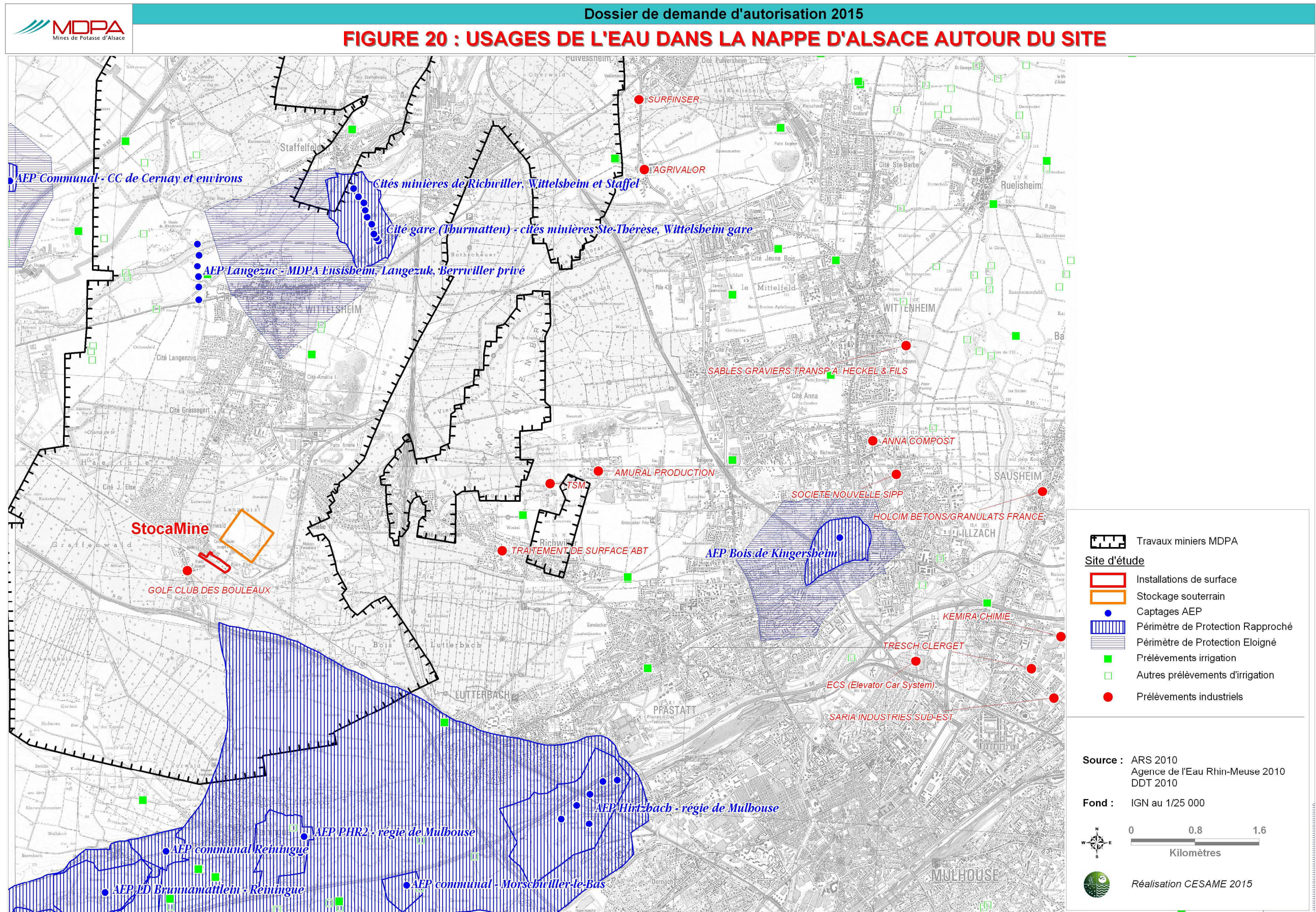
Les captages destinés à l'irrigation sont essentiellement concentrés au nord d'un parallèle passant par la cité Amélie, ils sont donc éloignés d'environ 2 km de StocaMine.

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.



b - QUALITE DE L'EAU SOUTERRAINE

Sources des données : Agence de l'Eau Rhin – Meuse, APRONA, Système d'Information sur l'Eau Rhin Meuse (SIERM)

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.

Dans « l'Etat des Lieux du district Rhin » édité en 2013 (document arrêté par le préfet coordinateur de bassin, novembre 2013), il est confirmé que l'état qualitatif de la masse d'eau n'est pas bon du fait des paramètres nitrates, phytosanitaires, chlorures.

Nitrates et phytosanitaires

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

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

La synthèse de l'Etat des Lieux précise de plus que la tendance est à la hausse des concentrations en nitrates dans la nappe. La contamination par les produits phytosanitaires est attribuée à l'activité agricole.

Chlorures

A Wittelsheim, et dans le bassin potassique, des stériles issus de l'exploitation de la potasse ont été déposés sous forme de terrils en surface. La dissolution du sel des terrils par la pluie et son infiltration dans la nappe a engendré une contamination de la nappe 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). En aval immédiat des terrils, les taux de chlorures peuvent atteindre plus de 2 000 mg/l (jusqu'à 20 000 mg/l).

Deux panaches d'eaux souterraines salées de plus de 20 km de longueur, connus sous les noms de « langues salées », étaient ainsi apparus (figure 21) :

- la langue salée « Est », issue du terril de l'Ochsenfeld²¹ (secteur de Thann) et se prolongeant ensuite sous les terrils des secteurs Joseph-Else, Amélie, Anna, Fernand, Ensisheim ;
- la langue salée « Ouest », issue des terrils Marie-Louise, Alex et Rodolphe ; ces trois secteurs de terrils étant relativement proches la langue salée associée était plus courte.

Pour résorber le phénomène, les terrils ont été traités pour limiter les possibilités d'infiltration vers la nappe et des pompages ont été mis en place pour capter les eaux salées et les diriger vers le Rhin.

A l'arrêt de l'activité minière, la surveillance et l'entretien de ces différents ouvrages et équipements a été reprise par le Département de Prévention et de Sécurité Minière (DPSM) du BRGM.

La figure 21 (page suivante) illustre l'évolution de la situation avec la représentation des langues salées en 2004 et en 2012.

Dans le SAGE III nappe Rhin, il est indiqué que les langues salées, qui s'étendaient initialement sur une superficie de 150 km², ne représentent plus de 50 km² et devraient disparaître dans les prochaines années.

La nappe d'Alsace présente par endroits des teneurs élevées en nitrates, produits phytosanitaires, chlorures ou solvants.

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.

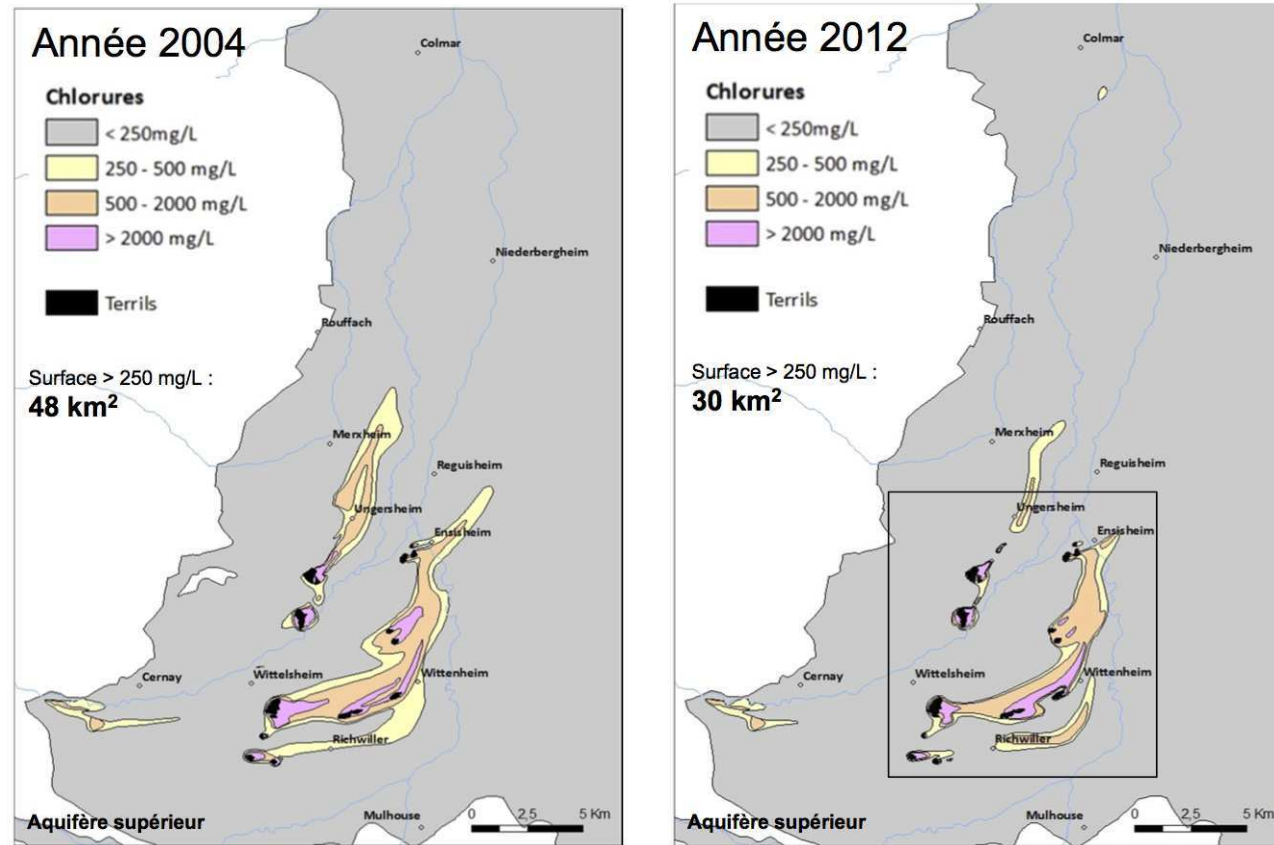


Figure 21 : Carte de la salure de la nappe en 2004 et en 2012 (source : BRGM).

Objectif de qualité

Le SAGE III Nappe Rhin, datant de 2005, est en cours de révision. Un nouveau document sera prochainement adopté (enquête publique réalisée en janvier 2014). Concernant la nappe phréatique rhénane l'enjeu identifié est de « garantir la qualité des eaux souterraines sur l'ensemble de la nappe alluviale rhénane d'Alsace afin de permettre partout, au plus tard d'ici 2027, une alimentation en eau potable sans traitement. »

L'Etat des Lieux 2013 qui fait référence pour le SDAGE indique que la pression liée aux chlorures est actuellement significative et de nature à compromettre l'usage eau potable. De plus, la pression sur les paramètres phytosanitaires est considérée comme forte. La présence de Lénacile (herbicide) et de tétrachloroéthène (solvant) contribuent à dégrader l'état de la masse d'eau. Ainsi, le risque de ne pas atteindre le bon état en 2015 (échéance du SDAGE en cours) et 2021 (échéance du prochain SDAGE) est retenu pour les paramètres chlorures, pesticides et nitrates.

La masse d'eau souterraine FRCG001 est classée en « Risque de Non Atteinte de l'Objectif de bon Etat » (RNAOE) pour 2021. Le SDAGE Rhin-Meuse (2010-2015) fixait ainsi l'objectif d'un bon état global à l'échéance 2027 pour la masse d'eau.

N.B. : En 2015 un nouveau SDAGE actualisera les objectifs pour le secteur Rhin-Meuse.

Qualité de la nappe autour de Wittelsheim

Globalement dans la commune de Wittelsheim, l'eau de la nappe alluviale est plutôt douce (TH <20 °F), la teneur en chlorures dans 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).

Le SIERM (Système d'Information sur l'Eau Rhin Meuse) fournit des résultats d'analyses pour les qualimètres appartenant à différents réseaux de suivis. On peut ainsi citer de manière non exhaustive les suivis réalisés à Cernay (code BSS 04124X0059), Pulversheim (code BSS 04131X0138), Wittelsheim (codes BSS 04131X0173 et 04131X0174), Reningue (codes BSS 04135X0060 et 04135X0063). Les qualités moyennes observées entre 2006 et 2011 sont récapitulées dans le tableau 7 page suivante. Quelques analyses complémentaires ont été réalisées en 2012 et 2013 (essentiellement sur le paramètre phytosanitaire ; il n'y a pas eu de nouvelles données pour les piézomètres de Wittelsheim).

Le SIERM traduit les résultats avec un code couleur indiquant si les valeurs mesurées sont beaucoup plus faibles que la valeur de référence (couleur : bleu, vert), l'atteignent presque (jaune, orange) ou la dépassent (rouge). La valeur de référence retenue pour chaque élément ou « valeur seuil » (VS) correspond à la concentration limite pour des eaux brutes destinées à la production d'eau potable.

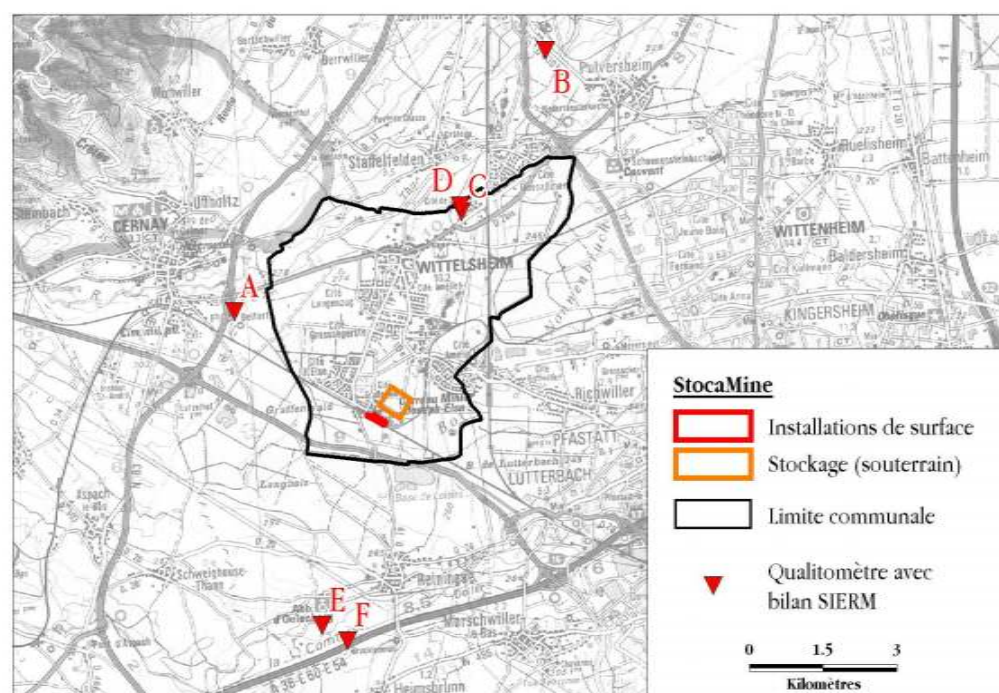
On constate que :

- d'après le suivi 2006-2011, 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 ; cette forte valeur est attribuable à une langue salée,
- à Cernay et Wittelsheim les teneurs en nitrates sont plus élevées (respectivement environ 35 et environ 45 mg/l) que dans les secteurs voisins (10 à 20 mg/l environ),
- des pesticides sont détectés à Cernay, Pulversheim et Wittelsheim, avec des valeurs supérieures aux valeurs seuils pour ces deux derniers sites,
- par contre le secteur est globalement épargné par la pollution au trichloroéthylène et tétrachloroéthène légèrement présente à Cernay,
- les teneurs en métaux (As, Pb, Cd, Hg) sont faibles.

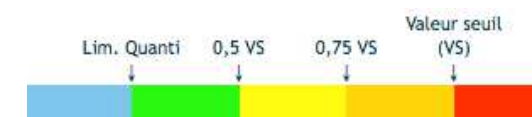
Autour de Wittelsheim, des teneurs élevées en chlorures peuvent être constatées, en lien avec les langues salées. A Wittelsheim, valeurs élevées en nitrates et présence de pesticides sont parfois mesurées.

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.

			Alluvions de la plaine d'Alsace à Cernay (04124XX0059)				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)			
Localisation (cf. carte)			A				B				C		D		E			F			
Paramètre	unité	VS	2006-2010	2011	2012	2013	2006-2010	2011	2012	2013	2006-2010	2011	2006-2010	2011	2006-2010	2011	2012	2006-2010	2011	2012	2013
Chlorures	mg/l	200	84,6	80,2	n.m.	n.m.	1012	1037	n.m.	n.m.	75,13	75,67	62,25	70,33	19,7	19	n.m.	35,15	42	n.m.	n.m.
Sulfates	mg/l	250	42,17	43,19	n.m.	n.m.	51,7	59,9	n.m.	n.m.	41,2	41,87	41,14	40,57	16	16,63	n.m.	16,74	14,15	n.m.	n.m.
NO3	mg/l	50	36,4	36,45	n.m.	n.m.	7,1	21,53	n.m.	n.m.	48,68	47,77	47,54	45,77	21,89	20,17	n.m.	15,6	20,7	n.m.	n.m.
NH4	mg/l	0,5	0,02	< 0,03	n.m.	n.m.	0,03	0,03	n.m.	n.m.	0,02	< 0,03	0,02	< 0,03	0,02	< 0,03	n.m.	< 0,03	< 0,03	n.m.	n.m.
As	µg/l	10	1,16	1,1	0,8	n.m.	6,75	1,53	1,25	n.m.	0,76	< 1	0,7	1,17	0,54	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	n.m.
Pb	µg/l	10	< 0,64	< 0,4	< 1	n.m.	4,62	1,63	< 1	n.m.	0,57	< 0,4	0,41	1,5	< 0,4	< 0,4	< 1	< 0,64	< 0,4	< 1	n.m.
Cd	µg/l	5	< 0,13	< 0,08	< 0,03	n.m.	0,15	0,12	0,11	n.m.	0,05	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,03	< 0,13	< 0,08	< 0,03	n.m.
Hg	µg/l	1	< 0,13	n.m.	< 0,01	n.m.	< 0,2	n.m.	0,01	n.m.	< 0,05	n.m.	< 0,05	n.m.	< 0,05	n.m.	< 0,01	< 0,13	n.m.	< 0,01	n.m.
Somme des pesticides	µg/l	0,5	0,06	n.m.	0,28	0,14	0,05	0,15	0,54	0,31	0,4	0,49	0,23	1,66	0,04	n.m.	0,04	0,04	0,02	0,1	0,04
Trichloroéthylène	µg/l	10	0,81	0,45	0,85	n.m.	< 0,2	< 0,2	< 0,2	n.m.	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	n.m.	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	n.m.
Tétrachloroéthène	µg/l	10	3,98	2,23	4,74	n.m.	< 0,2	< 0,2	< 0,2	n.m.	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	n.m.	< 0,2	< 0,16	< 0,2	< 0,2	n.m.



Seuils SIERM



n.m. : non mesuré

Tableau 7 : Données SIERM sur la nappe alluviale.

Suivi réalisé par StocaMine (MDPA)

Autour des installations de surface la qualité de la nappe phréatique fait l'objet d'un suivi régulier conformément aux obligations réglementaires de StocaMine MDP.

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 22) :

- **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).

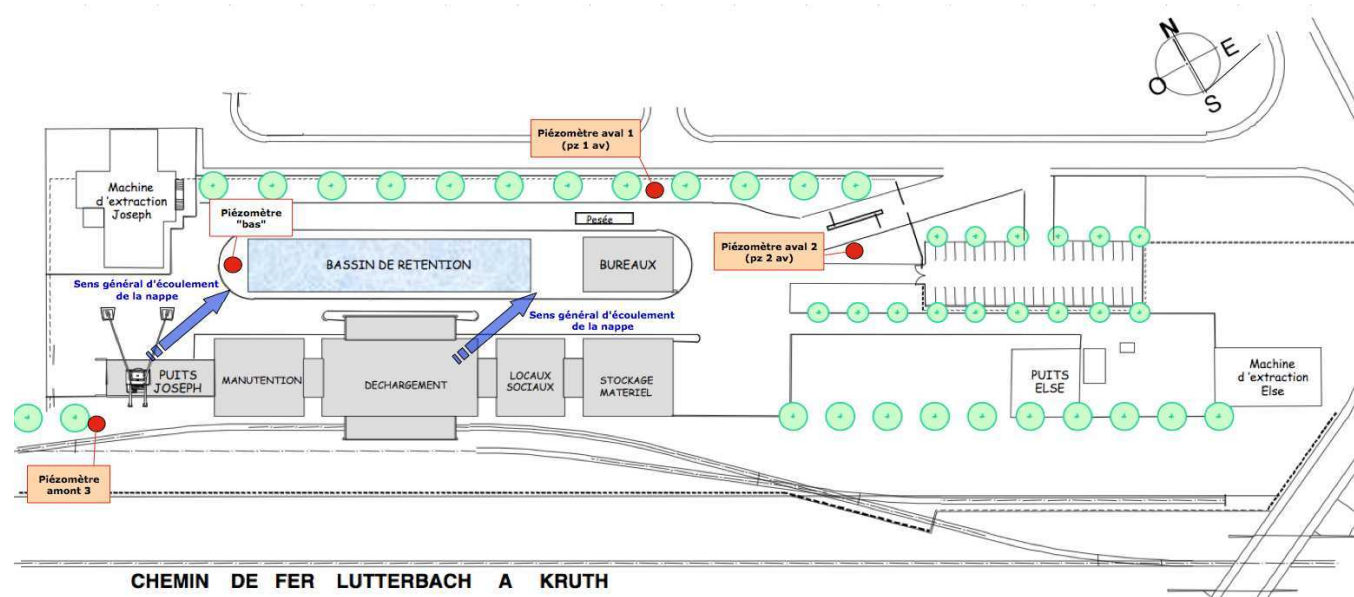


Figure 22 : Localisation des piézomètres existants sur le site de StocaMine.

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 2013 sont fournis dans les tableaux 8, 9 et 10.

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

- Dans les piézomètres 3 (amont) et 2 (aval, entrée du site), 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 µS/cm
- Dans le piézomètre 1 (proche pesée), la conductivité est systématiquement plus élevée, et ce dès 1999, et atteint occasionnellement des valeurs très élevées (1000 à 4000 µS/cm). 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 majorité du temps et pour les trois piézomètres suivis, en dessous des seuils de détection des méthodes analytiques mises en œuvre. Les limites de quantification sont un peu moins fines que dans le tableau 7 (la nappe autour de Wittelsheim), mais elles permettent de préciser que lorsque des éléments traces métalliques ont été détectés les valeurs sont restées en dessous des critères de qualité réglementaires (on peut noter toutefois une valeur élevée en hydrocarbures dans le piézomètre 1 en 2014).

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 (salage des voiries ou anciens dépôts salés parfois lessivés).

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

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
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
Conductivité	µS/cm		660	697	335	550	630	601	412	2718	398	636	895	1483	535	3810	810
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
Arsenic	µg/L	<60	<5	<5	<3	<3	<3	<3	3,1	<3	3	<3	<3	<3	<3	<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
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
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
Cuivre	µg/L	<10	<2	<2	<0,03	<1	<1	3,8	5,6	1,3	<1	<1	<1	<1	<1	<5	<5
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	<0,1	<0,1
Etain	µg/L		<10	<10	<10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<20	<20
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
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
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
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
Nickel	µg/L	<20	<5	<5	<0,1	<2	<2	<2	<2	6	<2	<2	<2	2,9	<2	<5	<5
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
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

Piézomètre 1 aval	Unités	1998	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	2 Mai 2013	14 Oct. 2013	23 Mai 2014
pH			6,7	6,5	6,8	6,6	6,65	6,6	6,6	6,5	6,5	6,45	6,1	6,5	6,55	6,5	6,54
Conductivité	µS/cm		985	790	860	760	1125	495	860	675	490	540	3840	1855	1385	936	487
Aluminium	mg/L		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,016	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	0,055	<0,005	<0,005	0,055	0,561
Arsenic	µg/L	<60	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<15
Cadmium	µg/L	<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	<0,5	<5
Chrome	µg/L	<30	<2	<2	<2	<2	5	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<5
Chrome VI	mg/L	<0,02	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Cuivre	µg/L	<10	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	3	<2	<2	<2	<10
Cyanures libres	mg/L	<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	<0,05
Etain	µg/L		<20	21	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	16	28
Fer	mg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,037	0,018	0,013	<0,01	0,006	<0,002	0,003	0,008	0,004	<0,002	0,052	0,402
Fluorures	mg/L	0,17	0,16	0,2	0,21	0,18	0,21	0,28	0,2	0,17	0,15	0,19	0,04	0,19	0,12	0,25	0,21
Hydrocarbures totaux	mg/kg	<0,2	<0,05	0,22	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	2
Mercure	µg/L	<0,2	<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	<0,05	0,48
Nickel	µg/L	<20	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<2	<2	<2	3	<2	<2	<2	<5
Plomb	µg/L	<50	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	11
Zinc	mg/L	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	0,015	<0,005	0,055

< : Limite de Quantification

A partir d'avril 2006: méthode CPG au lieu d'infrarouge pour les HCT. La CPG mesure les hydrocarbures C10-C40 dont les aromatiques, tandis que l'infrarouge signalait aussi les hydrocarbures plus courts, mais donnait une réponse moindre pour les liaisons C-H des aromatiques
Hydrocarbures totaux : unité mg/kg puis mg/L à partir d'octobre 2004.

Tableau 8 : Qualité de la nappe phréatique à l'aplomb du site (pz 1), analyses de novembre 1998 et suivi postérieur.

Piézomètre 2 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
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
Conductivité	µS/cm		424	398	431	457	316	304	342	296	336	346	363	435	403	410	685
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
Arsenic	µg/L	<60	5	<5	3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<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
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
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
Cuivre	µg/L		<2	<2	<0,03	<1	<1	3,3	19	<1	1,3	<1	<1	<1	<1	<5	<5
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
Etain	µg/L		<10	<10	<10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<20	<20
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
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
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
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
Nickel	µg/L	<20	<5	<5	<0,1	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	29	<2	<5	<5
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
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

Piézomètre 2 aval	Unités	1998	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	2 Mai 2013	14 Oct. 2013	23 Mai. 2014
pH			6,15	6,15	6,2	5,3	6,1	5,95	6,2	6,1	6,15	6,1	6,05	6,05	6,25	5,9	6
Conductivité	µS/cm		335	380	590	330	285	305	265	345	275	310	320	430	430	385	262
Aluminium	mg/L		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,005	<0,005	0,015	<0,005	<0,005	0,590	1,200
Arsenic	µg/L	<60	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<15
Cadmium	µg/L	<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	<0,5	<5
Chrome	µg/L	<30	<2	<2	5	<2	5	3	<2	25	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<5
Chrome VI	mg/L	<0,02	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Cuivre	µg/L		<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2	9	<2	11
Cyanures libres	mg/L	<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	<0,05
Etain	µg/L		<20	16	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	16	43
Fer	mg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,019	<0,01	<0,01	<0,01	0,003	<0,002	0,002	0,004	0,003	0,002	0,330	1,420
Fluorures	mg/L	0,15	0,1	0,11	0,1	0,1	0,1	<0,1	0,12	<0,1	0,09	0,11	0,10	0,12	0,1	0,1	<0,1
Hydrocarbures totaux	mg/kg	<0,2	<0,05	0,34	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1
Mercure	µg/L	<0,2	<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	<0,05	0,4
Nickel	µg/L	<20	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<5
Plomb	µg/L	<50	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<10
Zinc	mg/L	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,015	0,014	<0,01	0,031	0,018	0,016	<0,005	0,011	0,019	<0,005	0,012

< : Limite de Quantification

A partir d'avril 2006: méthode CPG au lieu d'infrarouge pour les HCT. La CPG mesure les hydrocarbures C10-C40 dont les aromatiques, tandis que l'infrarouge signalait aussi les hydrocarbures plus courts, mais donnait une réponse moindre pour les liaisons C-H des aromatiques
Hydrocarbures totaux : unité mg/kg puis mg/L à partir d'octobre 2004.

Tableau 9 : Qualité de la nappe phréatique à l'aplomb du site (pz 2), analyses de novembre 1998 et suivi postérieur.

Piézomètre 3 amont	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
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
Conductivité	µS/cm		317	283	270	263	241	274	254	280	236	267	288	358	284	285	350
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
Arsenic	µg/L	<60	<5	<5	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<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
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	<0,5	<5
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
Cuivre	µg/L	<10	<2	2,4	<0,03	<1	<1	4,3	7,2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<5	<5
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
Etain	µg/L		<10	<10	<10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<20	<20
Fer	mg/L		0,51	0,77	1,18	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,02	<0,02
Fluorures	mg/L	0,08	0,09	0,11	0,09	0,06	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
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
Mercure	µg/L	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	<0,1	<0,1
Nickel	µg/L		<5	<5	<0,1	<2	<2	<2	<2	<2	2,2	2,3	<2	3,7	<2	<5	<5
Plomb	µg/L		13	<2	4	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<10	<10
Zinc	mg/L		<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,017	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Piézomètre 3 amont	Unités	1998	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	2 Mai 2013	14 Oct. 2013	23 Mai 2014
pH			6,1	5,95	6	5,8	6,25	6	6	6,2	5,95	6,00	6,00	6,00	6,1	6,0	5,96
Conductivité	µS/cm		320	325	300	300	325	265	590	325	500	300	370	300	440	326	334
Aluminium	mg/L		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,006	<0,005	<0,005	0,009	<0,005	0,010	0,010	0,326
Arsenic	µg/L	<60	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<15
Cadmium	µg/L	<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	<0,5	<0,5	<5
Chrome	µg/L	<30	<2	<2	<2	<2	7	<2	<2	<5	<10	<10	<10	<10	<10	<2	<5
Chrome VI	mg/L	<0,02	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Cuivre	µg/L	<10	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	3	<2	<2	<10
Cyanures libres	mg/L	<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	<0,05
Etain	µg/L		<20	14	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<2	10	44
Fer	mg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,11	<0,01	<0,01	<0,01	0,006	<0,002	<0,002	<0,002	0,006	<0,002	0,039	0,214
Fluorures	mg/L	0,08	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,06	0,08	0,06	0,11	0,07	0,08	<0,1
Hydrocarbures totaux	mg/kg	<0,2	<0,05	0,2	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1
Mercure	µg/L	0,2	<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	<0,05	0,18
Nickel	µg/L		<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	2	2	<2	2	2	<2	<5
Plomb	µg/L		<5	<5	<5	7	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	12
Zinc	mg/L		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,015	0,013	0,014	0,049	0,019	0,009	<0,005	0,013	0,030	<0,005	<0,005

< : Limite de Quantification

A partir d'avril 2006: méthode CPG au lieu d'infrarouge pour les HCT. La CPG mesure les hydrocarbures C10-C40 dont les aromatiques, tandis que l'infrarouge signalait aussi les hydrocarbures plus courts, mais donnait une réponse moindre pour les liaisons C-H des aromatiques
Hydrocarbures totaux : unité mg/kg puis mg/L à partir d'octobre 2004.

Tableau 10 : Qualité de la nappe phréatique à l'aplomb du site (pz3), analyses de novembre 1998 et suivi postérieur.

2.1.4.3. Eaux de surface

a - HYDROGRAPHIE

Contexte (cours d'eau)

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 (cf. figure 23) :

- 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 installations de StocaMine sont localisées à 3 km au sud de la Thur (donc en-dehors de son bassin versant). Le site de StocaMine se trouve dans le **bassin versant de l'Hagelbach, qui devient Dollerbaechlein en aval et constitue un ancien bras de la Doller (affluent de l'III).**

Les principales caractéristiques de ces cours d'eau sont les suivantes :

	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

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 :

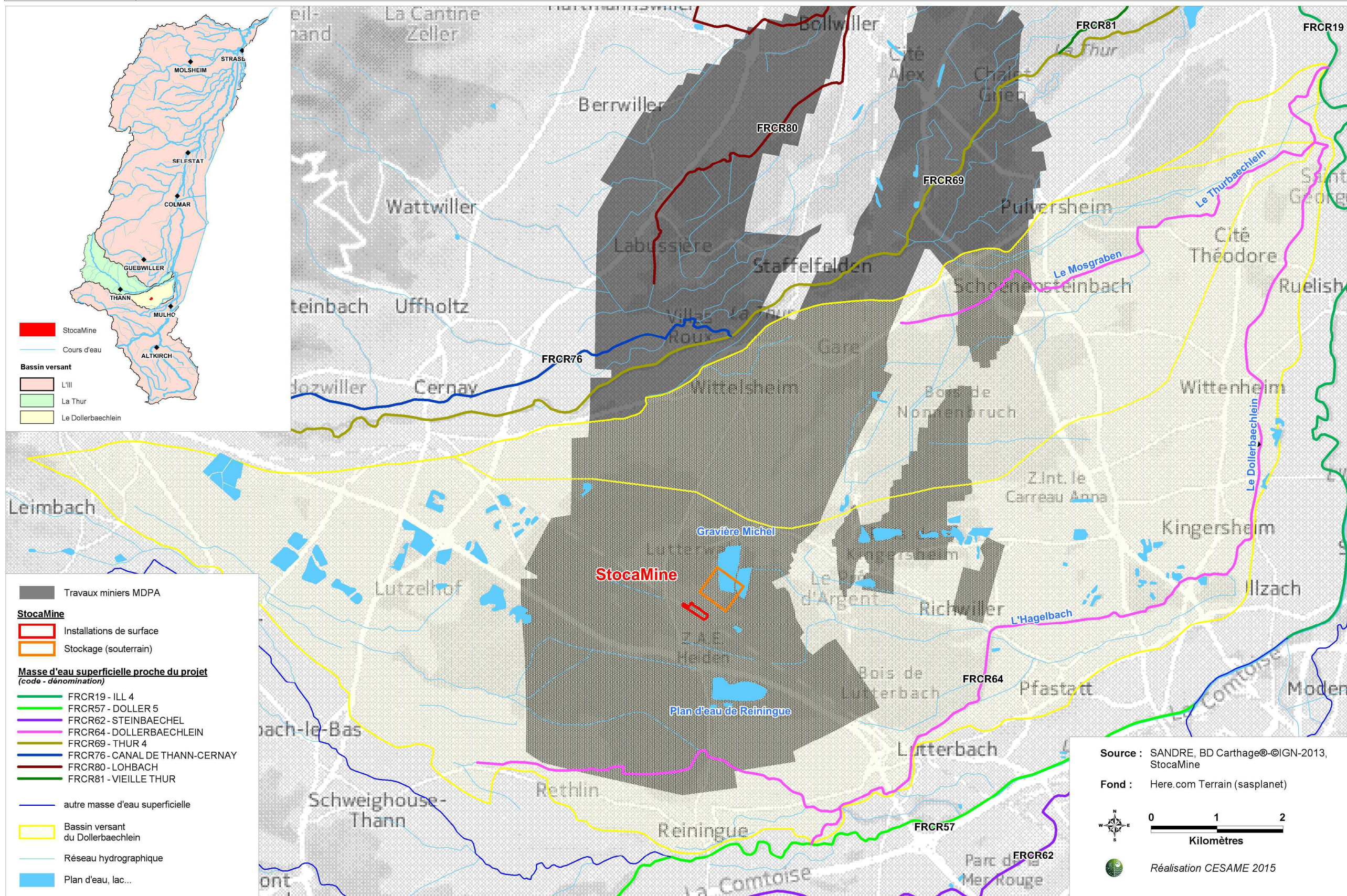
- les deux plans d'eau de la **gravière Michel, au nord-est** ;
ces plans d'eau sont des dépressions créées par l'exploitation des matériaux alluviaux ; ils constituent des fenêtres sur la nappe alluviale ; leurs trop-pleins s'écoulent par de petits chenaux vers l'est.
- le **marais de Rothmoos**, à l'est du terroir 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 privées (eaux de toitures et eaux pré-traitées des parkings) et les réseaux d'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).

Dossier de demande d'autorisation 2015
FIGURE 23 : CONTEXTE HYDROLOGIQUE, MASSES D'EAU SUPERFICIELLES



b - QUALITE DES COURS D'EAU ET OBJECTIFS

Cours d'eau proches de StocaMine

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 (« état initial 2007 », cf. tableau 11 ci-contre). Cet état initial a été actualisé pour l'état des lieux 2013 du SDAGE (données cartographiques) mais il sert toujours de référence détaillée (SIERM).

Pour le Dollerbaechlein, en 2007 comme en 2013, le bon état chimique n'est pas atteint (paramètres déclassants non précisés) et l'état écologique est considéré comme moyen (saturation en oxygène moyenne, notes IBD et IBGN moyennes, ...).

Pour la Thur (tronçon 4), en 2007 comme en 2013, le bon état chimique n'est pas atteint (mercure, phosphore) et l'état écologique est considéré comme mauvais (indice IBD médiocre, ...).

Pour l'III (tronçon 4), l'état chimique est bon en 2007, non atteint en 2013 (HAP, cuivre) et l'état écologique est dans les deux cas mauvais (phosphore, cuivre, IBD moyen).

Du fait des dégradations écologiques actuelles, **l'objectif d'un état global de bonne qualité dans ces cours d'eau est reporté à une date plus tardive**, plus précisément (d'après données 2007) :

- pour le Dollerbaechlein : bon potentiel écologique attendu en 2015 et bon état chimique en 2027,
- pour la 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 les bilans réalisés par l'Agence de l'Eau, les cours d'eau (masses d'eau) proches présentent 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.

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 11 : Synthèse des masses d'eau superficielles 2007 (source : SIERM²⁴).

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 terril est.

Les points de prélèvements (P1 et P2) sont localisés sur la figure 24.

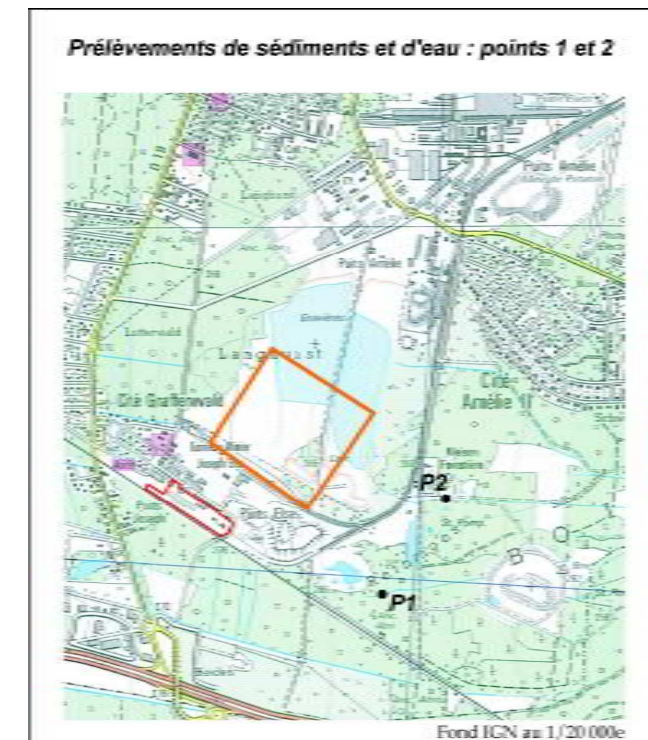


Figure 24 : Localisation des points de prélèvements.

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

Le tableau 12 présente les résultats des analyses réalisées sur ces ruisseaux, les concentrations sont corrélées avec la grille de qualité du Seq-Eau version 2.

En mg/l pour l'eau et mg/kg MS pour les sédiments	Eau		Sédiment		Qualité des eaux
	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	
Mercurure	< 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	

Tableau 12 : Résultat des analyses eau et sédiments de l'état initial 1998.

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.

Dans l'état initial de 1998, la présence de métaux avait été constatée localement dans les sédiments ou l'eau des petits cours d'eau situés immédiatement en aval du carreau Joseph Else. Depuis, 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.

2.1.5. L'air

2.1.5.1. Données locales de l'ASPA sur la qualité de 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.

La figure 25 présente l'implantation des différentes stations de mesures et les paramètres qui y sont mesurés (SO₂ (dioxyde de soufre), NO/NO₂ (monoxyde et dioxyde d'azote), particules (PM) en suspension (PM 10 < 10 µm et « PM 2,5 < 2,5 µm), O₃ (ozone), benzène, CO (monoxyde de carbone), radioactivité, toluène / m-p-o xylènes, métaux lourds, HAP, COV, Hg).

Les résultats des mesures sont comparés à des valeurs de référence :

- valeur limite (niveau de concentration à ne pas dépasser afin de prévenir ou réduire les effets nocifs des substances concernées sur la population et l'environnement dans son ensemble),
- seuil d'informations et de recommandations (niveau au-delà duquel une exposition présente un risque pour les populations sensibles),
- seuil d'alerte (niveau au-delà duquel une exposition présente un risque pour l'ensemble de la population).

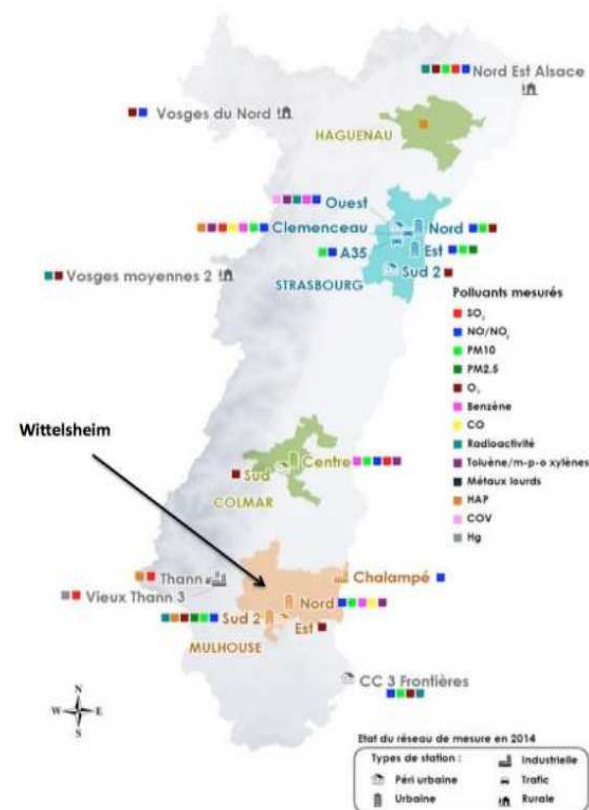


Figure 25 : Réseau de suivi air ASPA.

Le tableau 13 récapitule le bilan de l'année 2013 établi par l'ASPA pour le Haut-Rhin.

Paramètre	Résultats pour le Haut-Rhin en 2013
NO ₂ (origine : trafic, transport routier, engins agricoles, ...)	Aucune station du département n'a dépassé la valeur limite dioxyde d'azote ; Mis à part la station industrielle de 'Chalampé' (Nord-Est de Mulhouse), le niveau d'information et de recommandations a été respecté sur toutes les stations. Le niveau d'alerte a également été respecté sur l'ensemble du département.
PM ₁₀ (origine : érosion naturelle, pollens, particules chimiques, fumées, ...)	La valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine a été respectée en 2013 dans les agglomérations de Mulhouse et Colmar. Le niveau d'information et de recommandations pour la population (50 µg/m ³ sur 24h) a été dépassé 37 jours en situation de fond. Le niveau d'alerte (80 µg/m ³ sur 24h) a été également dépassé 2 jours sur Colmar.
PM _{2,5} (origine : érosion naturelle, pollens, particules chimiques, fumées, ...)	Les teneurs en PM _{2,5} ont été inférieures aux valeurs réglementaires (valeurs limite et cible).
O ₃ (origine : transformation de l'O ₂ sous l'action du soleil et des températures élevées, ...)	La météorologie a été plus favorable à la formation d'ozone en 2013 qu'en 2012. Les objectifs de qualité de l'air et valeurs cibles relatifs à la protection de la santé humaine et à la protection des végétaux ne sont pas respectés. Le niveau d'information et de recommandations pour la population fixé à 180 µg/m ³ sur 1 heure a été dépassé 1 jour sur Colmar. Le seuil d'alerte entraînant une information spécifique de la population (240 µg/m ³ sur 1 heure) n'a pas été dépassé.
SO ₂ (origine : combustion du charbon, fioul domestique, fioul lourd, ...)	Les objectifs de qualité de l'air et les valeurs limites sont respectés sur l'ensemble des stations de mesure de la pollution de fond et de proximité pour le SO ₂ .
Benzène (origine : combustion ou évaporation d'essence, fioul, ...)	Les niveaux de benzène se maintiennent en situation de fond sous la valeur limite européenne et l'objectif national de qualité de l'air.
HAP (origine : mauvaise combustion d'énergies fossiles, ...)	La valeur cible fixée à 1 ng/m ³ en moyenne annuelle pour le benzo(a)pyrène a été dépassée sur Thann (1,27 ng/m ³) et respectée sur Mulhouse (0,4 ng/m ³).

Tableau 13 : Qualité de l'air dans le Haut-Rhin (ASPA 2013).

L'ASPA conclut ainsi que la qualité de l'air peut être qualifiée de bonne pour certains indicateurs de pollution primaire sur le Haut-Rhin en 2013.

Les niveaux d'oxydes d'azote ont légèrement baissé à Mulhouse et Colmar par rapport aux années précédentes.

Les niveaux de **particules** ont quant à eux légèrement augmenté dans les deux villes et des **dépassements de seuils d'information et d'alerte** sont enregistrés.

Des **dépassements** de normes de qualité de l'air (valeur limite ou objectif long terme) sont encore constatés notamment **pour l'ozone**.

En étudiant les cartes de modélisation de l'air autour de Mulhouse, on constate que l'éloignement des grands axes routiers et de l'agglomération de Mulhouse permet de préserver des concentrations faibles en NO₂, benzène (carte présentée figure 26 : exemple du dioxyde d'azote 2013).

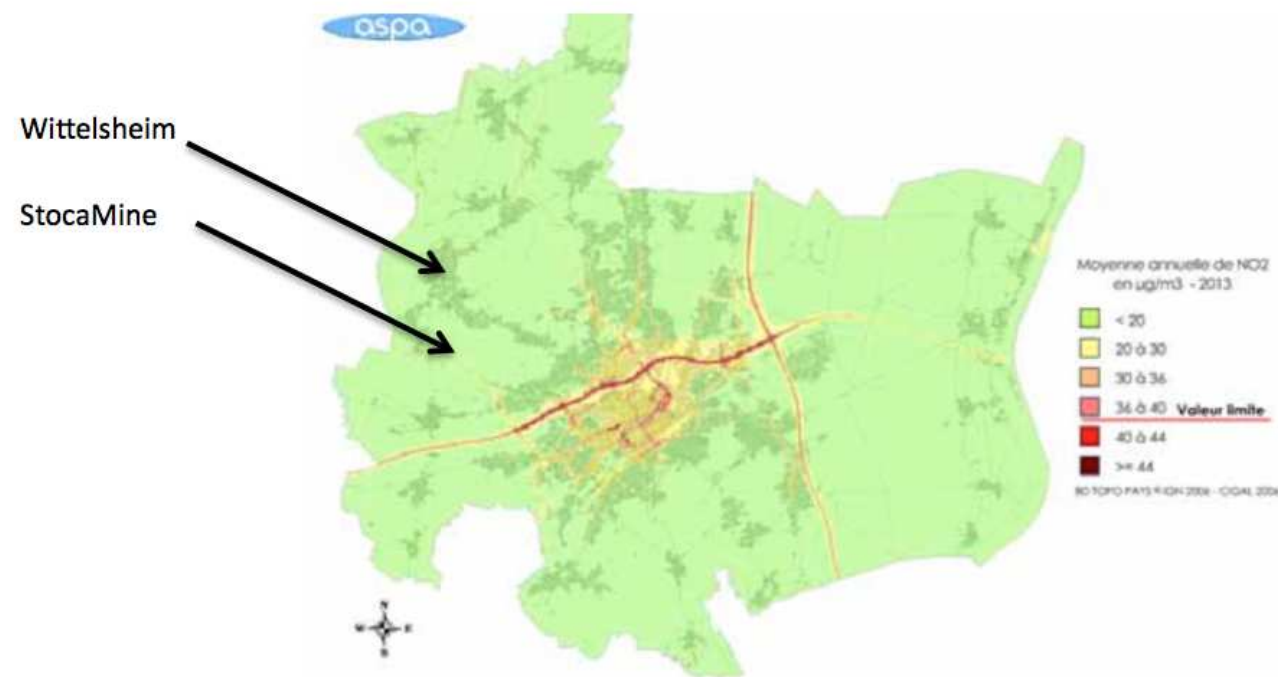


Figure 26 : Moyennes annuelles de NO₂ autour de Mulhouse (ASPA 2013).

2.1.5.2. Etat des lieux de 1998

Avant le début de l'activité de StocaMine, 5 prélèvements d'air ambiant ont été réalisés sur le site StocaMine en surface et aux alentours du puits Else.

Les mesures (mars 1998) 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 27.

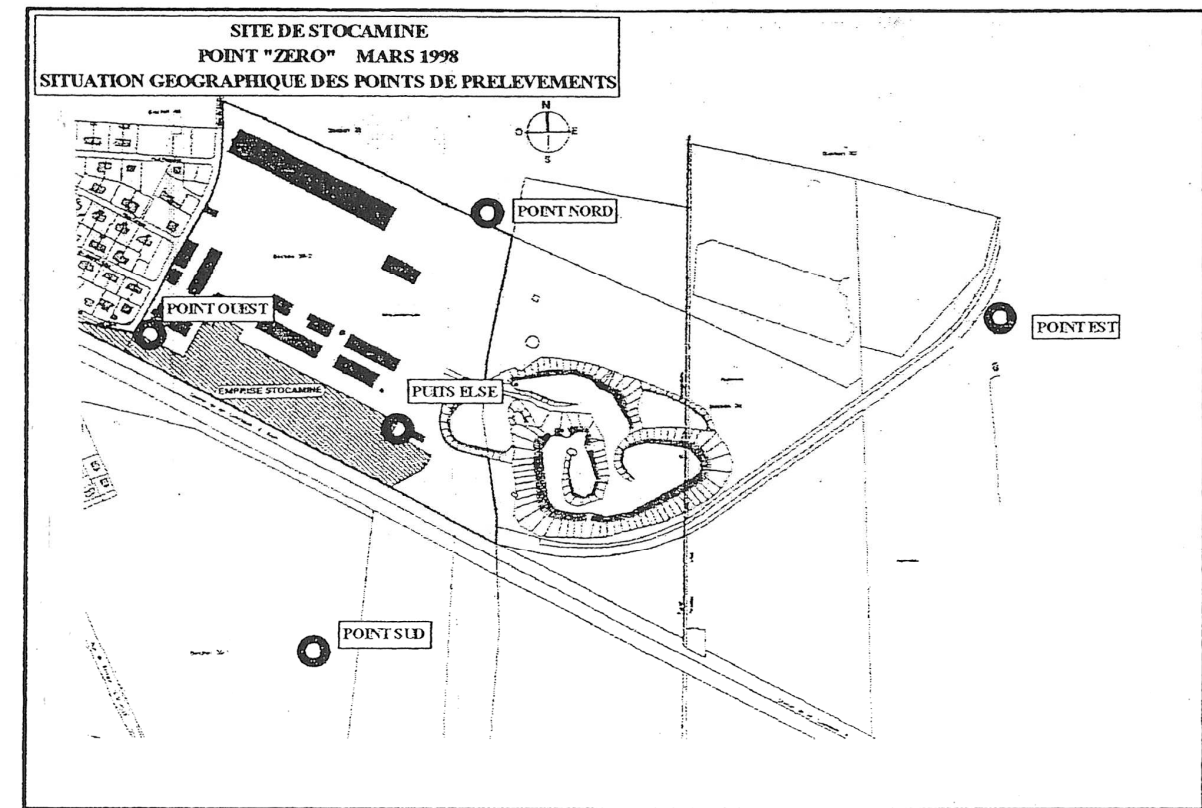


Figure 27 : Localisation des mesures « air » en surface.

Cette situation initiale **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

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

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 ($\approx 7000 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ contre 40 à $100 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dans l'air ambiant) et hydrocarbures totaux (HCT 162 ppm éq. CH_4 - soit $107,7 \text{ mg}/\text{m}^3$ - contre 4 à 5,7 ppm éq. CH_4 - 2,7 à $3,3 \text{ mg}/\text{m}^3$ - dans l'air ambiant), poussières ($\approx 7500 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ contre $140 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dans l'air ambiant).
 - o Dans une moindre mesure : NH_3 , zinc et chrome particulaires.

2.1.5.3. Rejets atmosphériques liés à l'activité de StocaMine

Dans les galeries souterraines, la qualité de l'air est suivie pour la sécurité des différents intervenants. L'air des galeries est renouvelé par aspiration : la sortie d'air se fait par le puits Else (puits de « retour d'air »). Les rejets du puits Else font l'objet d'une surveillance.

a - SUIVI SPECIFIQUE SUITE A L'INCENDIE DE 2002

Pendant toute la durée de l'incendie (10 septembre 2002 à novembre 2002), 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 (SO_2 , CO, NO_2 , CH_4 , NH_3 , 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.

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].

L'étude BMG Engeneering de 2004 [30] fait le bilan des différentes mesures et indique que :

« 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 $1\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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.

b - SUIVI COURANT

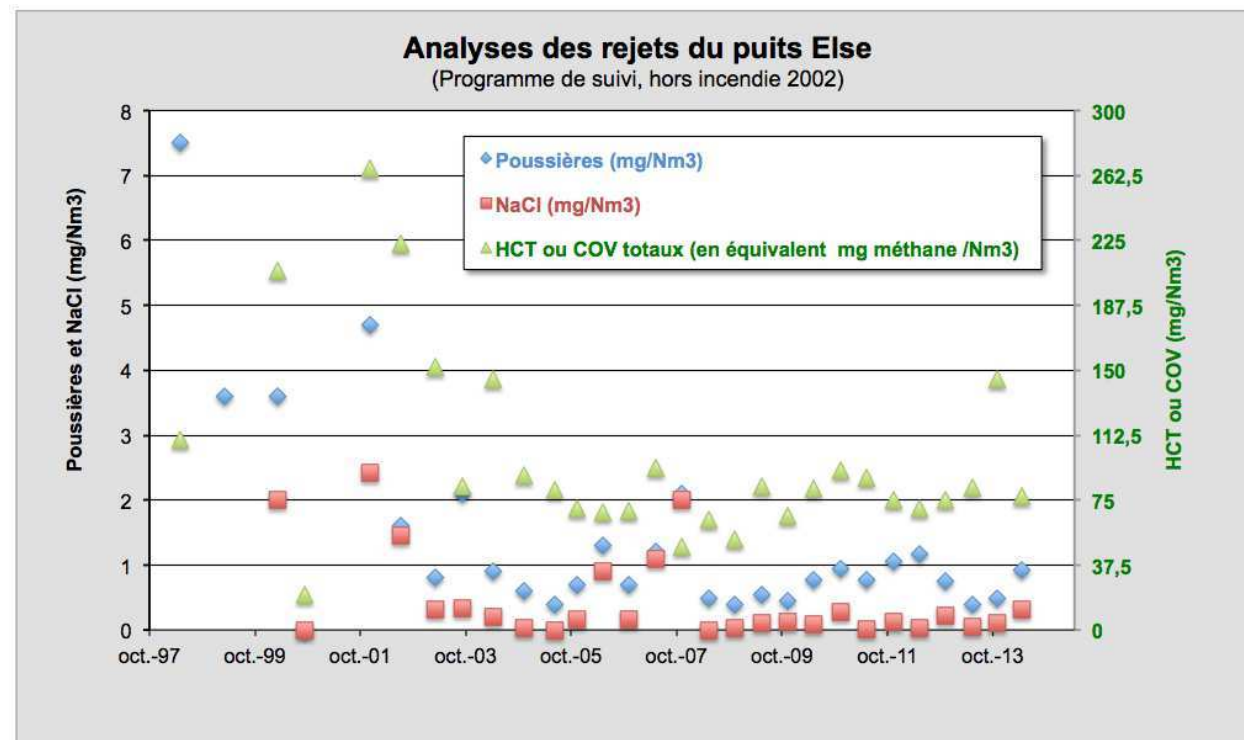
La surveillance air liée à l'activité de StocaMine consiste à analyser une fois tous les 6 mois les rejets du puits Else avec les paramètres suivants : poussières, sel (NaCl), débit d'air rejeté. Entre 2000 et 2003, la teneur en hydrocarbures (HCT) était analysée. Depuis 2003, l'analyse porte sur le carbone organique volatile (exprimé en équivalent méthane). En 2013 et 2014, une distinction a été faite entre la part non méthanique (COVNM) et méthanique (CH_4).

Les résultats du suivi entre 1999 et 2014 sont présentés dans le tableau 14 (page suivante) et reportés sur le graphique 3.

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).

ANALYSES DES REJETS DU PUIIS ELSE									
		Organisme	Poussières (mg/Nm ³)	NaCl (mg/Nm ³)	Débit (Nm ³ /h) sec	Débit (Nm ³ /s) sec	HCT ou COV totaux (en équivalent mg méthane /Nm ³)	dont CH4 (mg/Nm ³)	et COVNM (en équivalent mg méthane /Nm ³)
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		
2013	Juin	Apave	0,2 à 0,6	0,05	172 000	48	82	20,7	57,6
	Nov.	Apave	0,277 à 0,691	0,106	178 000	49	145	43,3	94,3
2014	Mai	Apave	0,717 à 1,118	0,312	178 000	49	77	18,7	54,9

Tableau 14 : Suivi des rejets atmosphériques des puits Else.



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 situation actuelle, la ventilation du site de stockage rejette des concentrations faibles en poussières salées et carbone organique volatile (méthaniques ou non).

c - SUIVI SPECIFIQUE AU DESTOCKAGE PARTIEL

Les opérations de déstockage sont susceptibles de conduire à des dégagements de gaz ou de particules toxiques que les dispositifs de confinement doivent permettre de maîtriser. C'est ainsi que toutes les opérations comportant des forts risques d'émanation de polluants sont réalisées avec des dispositifs de protection spécifique pour les opérateurs, mais aussi en dépression par rapport au reste de la mine, les rejets d'air passant par une installation de dépoussiérage adaptée. Les particules fines riches en arsenic ne pourront donc pas se disperser dans la mine et encore moins sortir par le puits Else, puits de retour d'air.

Le gaz toxique susceptible de se dégager pendant les opérations et qui est le plus redouté est le mercure. La teneur en mercure total, gazeux et particulaire, est mesurée en continu à la sortie de la ligne de ventilation du bloc en cours de déstockage afin de ne pas dépasser la V.M.E. (Valeur Moyenne d'Exposition) qui est de 20 µg/m³. Cette limite constitue la limite de faisabilité du déstockage si bien qu'aucun rejet toxique ne sortira de la mine par le puits Else, sachant par ailleurs que la ventilation de la mine par le puits Else dilue 10 fois la teneur sortant du bloc.

Le déstockage partiel est générateur de dégagements toxiques qui sont limités, mesurés en continu et ne pénalisent pas l'environnement.

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 28, 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.

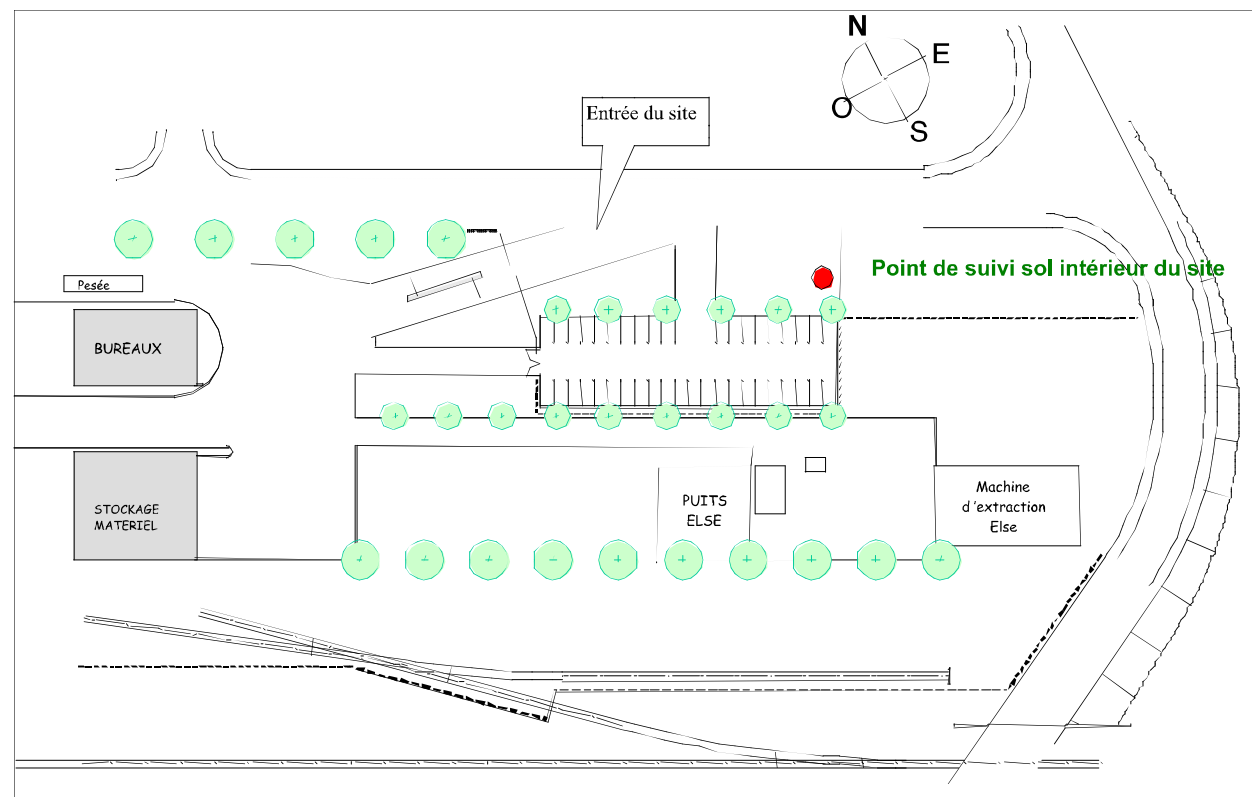


Figure 28 : Localisation du point de suivi sol intérieur site pendant l'activité de Stocamine

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 15.

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
Mercurure (µg/kg)	-	-	0,054	< 0,05

Tableau 15 : 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 16.

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	Fév. 2014
		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	à -10 cm
Organisme	Poliden	Tredi		Apave		Apave		IRH	IPL	Eurofins	Eurofins
Hydrocarbures totaux (mg/kg)	< seuil de détection sauf 4 valeurs	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 200	240	< 200	47,6
Fluorures (mg/kg MS)	20 à 50	12	12	1,2	1,8	25	34	7	< 2	7	< 20
Cyanures totaux (mg/kg MS)	< 4	CN libres < 2	CN libres < 2	CN libres < 0,13	CN libres < 0,12	< 0,22	< 0,23	< 0,1	CN libres < 2	< 0,1	< 0,5
Arsenic (mg/kg MS)	15 à 30	8	9	< 0,72	0,08	2	2,7	16	16	16	14,8
Cadmium (mg/kg MS)	1 à 4	< 1	< 1	< 4,8	< 4,7	0,39	4,2	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,4
Chrome VI (mg/kg MS)	Cr tot. 39 à 55	39	43	CrVI < 0,098	CrVI < 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	Cr tot. 26,5
Cuivre (mg/kg MS)	17 à 65	17	17	< 7,2	21	11	12	16	19	16	20,7
Nickel (mg/kg MS)	27 à 47	27	28	< 24	33	21	21	39	35	39	25
Plomb (mg/kg MS)	44 à 230	24	28	< 24	31	19	29	28	29	28	25,6
Zinc (mg/kg MS)	80 à 350	60	61	43	80	38	40	61	78	61	73,8
Mercurure (µg/kg)		< 0,2	< 0,2	0,09	0,08	0,051	0,14	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1

Tableau 16 : Suivi sols, à l'intérieur du site.

Avant le début de l'activité de StocaMine, il existait quelques points avec des concentrations élevées en métaux sur l'emprise du site. On citera la remarque de BMG Engineering [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, et les deux analyses suivantes ont montré des teneurs plus faibles.

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 17, tableau 18).

Habitats du site Natura 2000 FR4201810 Vallée de la Doller (source : INPN)
3150 - Lacs eutrophes naturels avec végétation du <i>Magnoptamion</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>Ulmenion 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 17 : 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

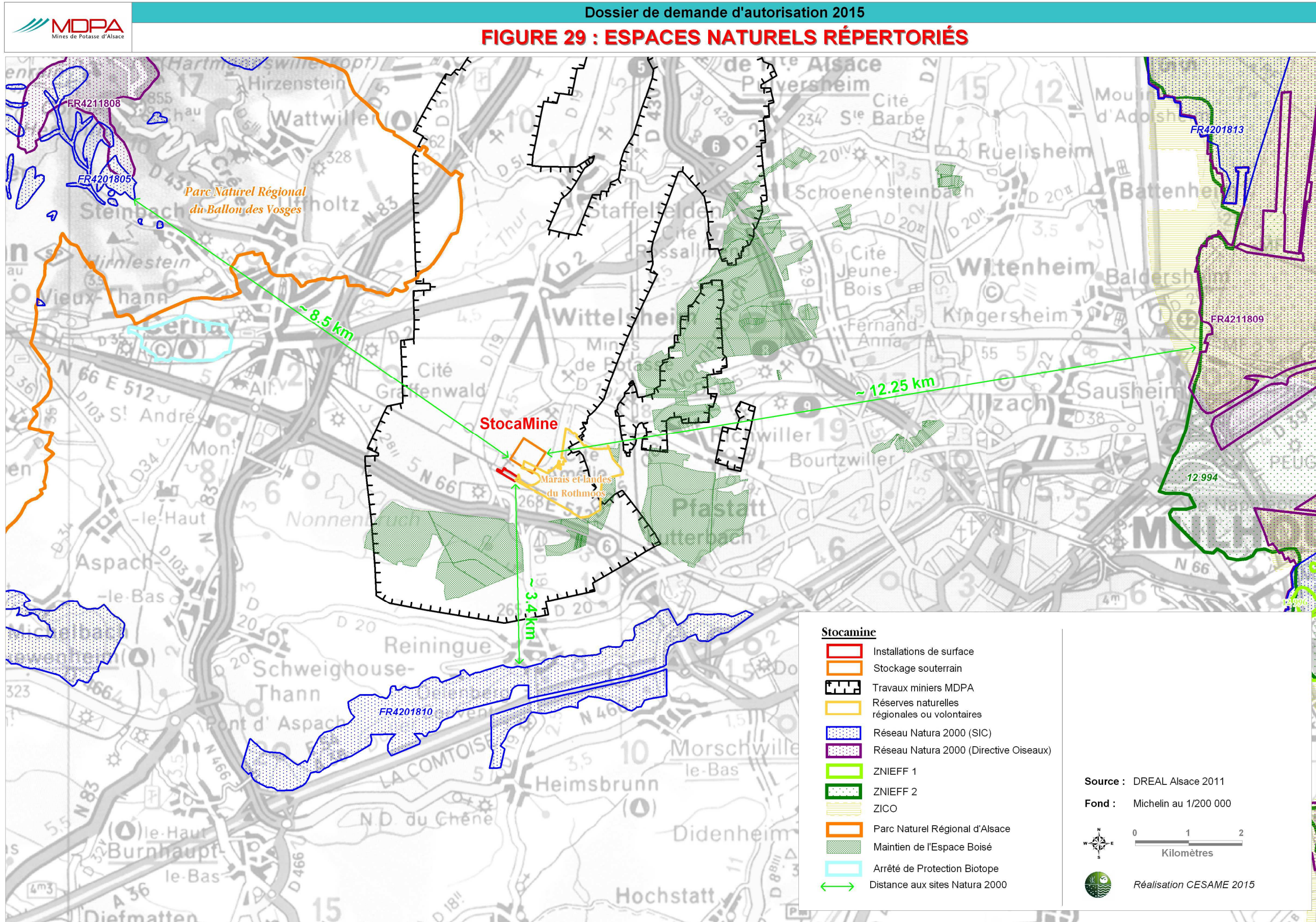
Tableau 18 : Site Natura 2000 le plus proche (espèces).

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 29) 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. Dans ces espaces, un cahier des charges précise les pratiques sylvicoles à appliquer pour favoriser la 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 30.

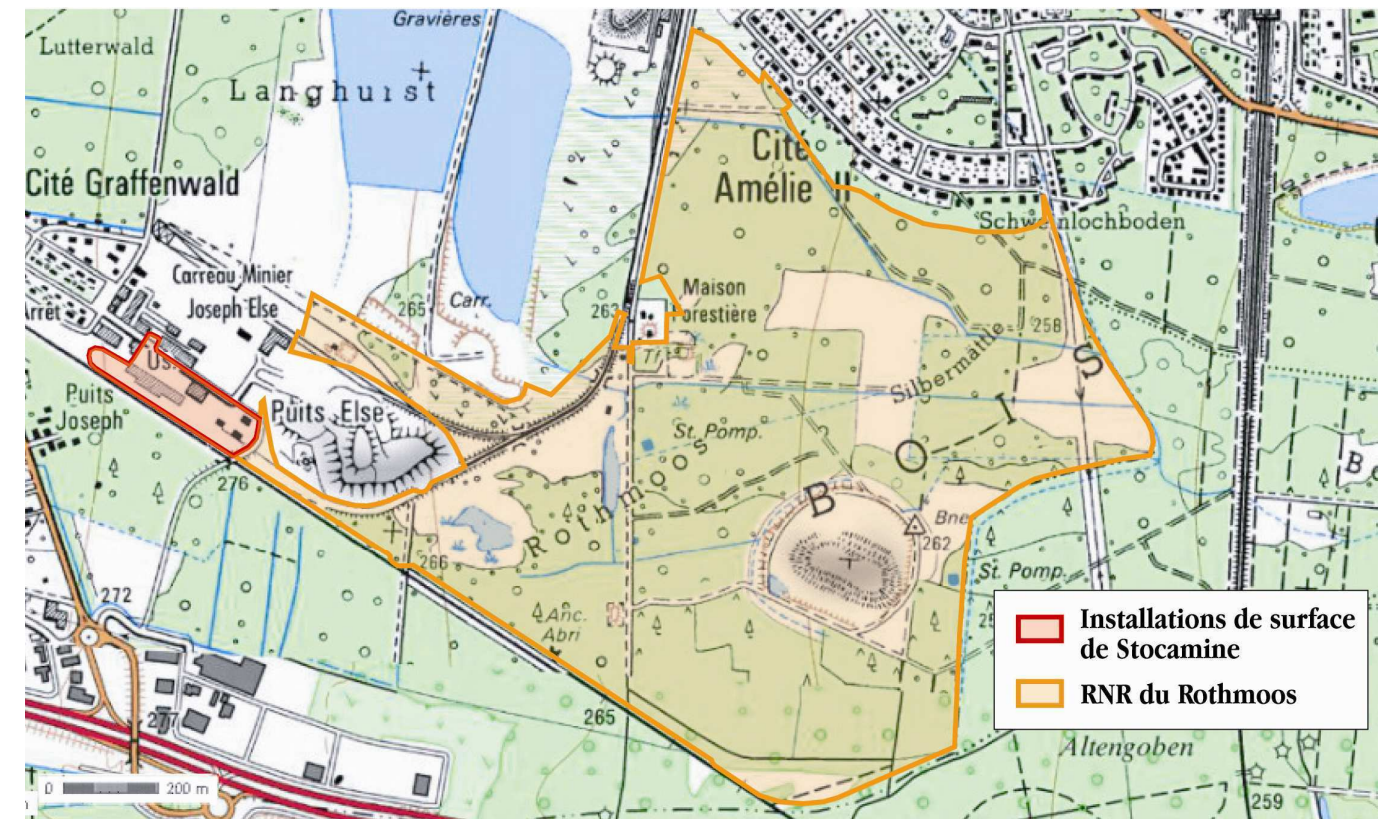


Figure 30 : Emprise de la réserve naturelle régionale du Rothmoos.

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 a été rédigé par le Conservatoire des Sites Alsaciens, la procédure d'approbation est en cours.

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

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.

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 terail 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 des bâtiments 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 terail « 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 31.

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 19) les habitats rencontrés avec :

- leur dénomination selon le code Corine Biotopes 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 acidophile.	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 19 : 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 migrateurs).

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

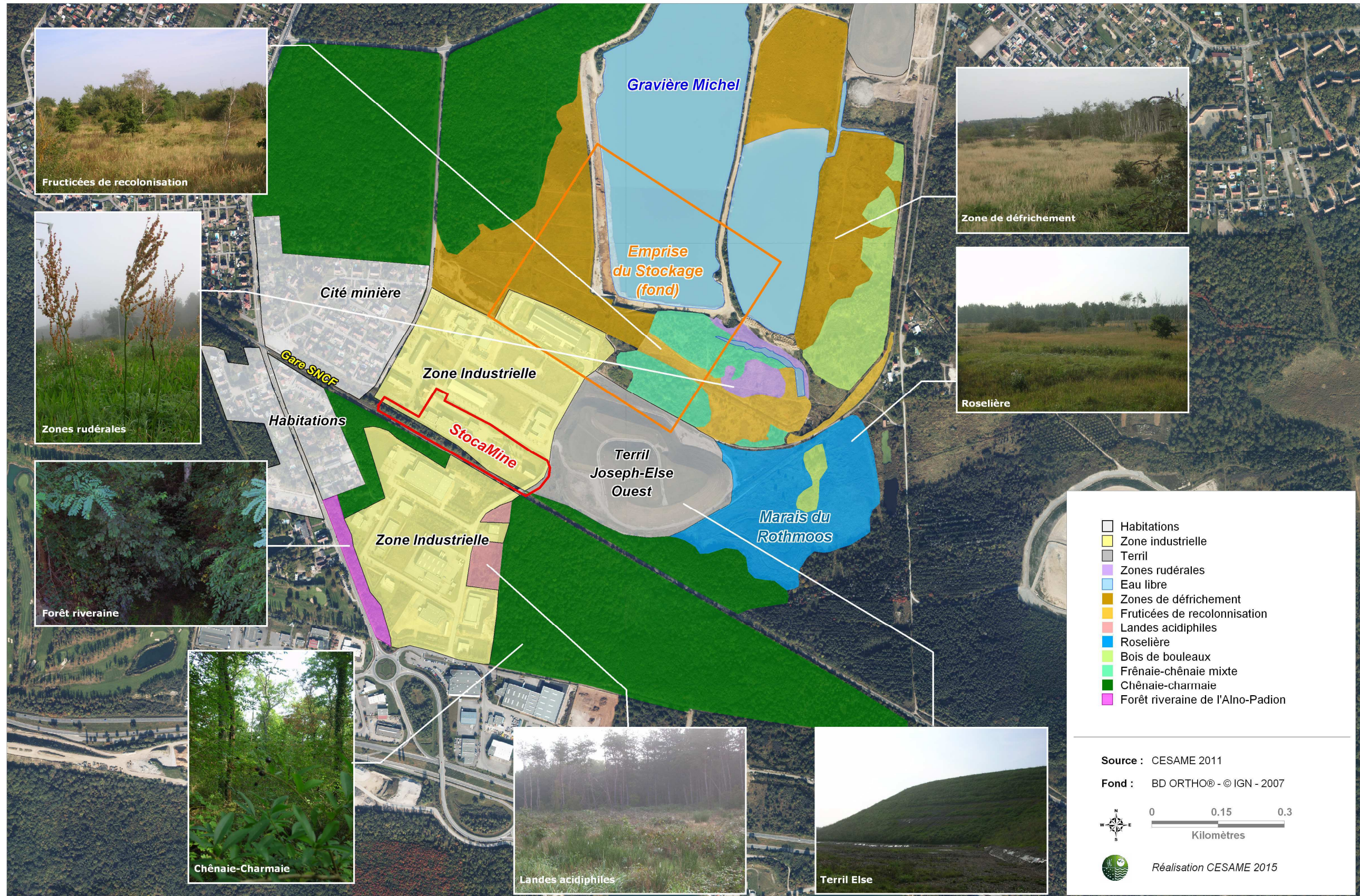
Les chevalements des puits n'abritent pas de faune spécifique mais seulement quelques pigeons et autres oiseaux communs (source : StocaMine).

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 31 : OCCUPATION DU SOL - MILIEU NATUREL



- Habitations
- Zone industrielle
- Terril
- Zones rudérales
- Eau libre
- Zones de défrichement
- Fruticées de recolonisation
- Landes acidiphiles
- Roselière
- Bois de bouleaux
- Frênaie-chênaie mixte
- Chênaie-charmaie
- Forêt riveraine de l'Alno-Padion

Source : CESAME 2011
 Fond : BD ORTHO® - © IGN - 2007

0 0.15 0.3
 Kilomètres

Réalisation CESAME 2015

2.3. Environnement humain

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

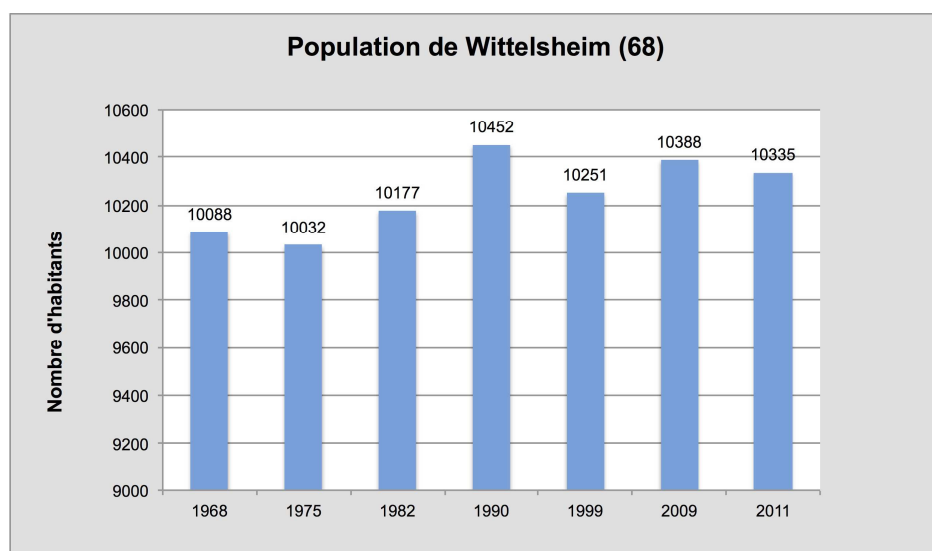
L'activité minière liée à l'extraction de la potasse a laissé une empreinte marquée sur la commune aux niveaux du développement économique, paysager (8 cités minières, terrils, puits de mine), historique.

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 2011 (source : INSEE)

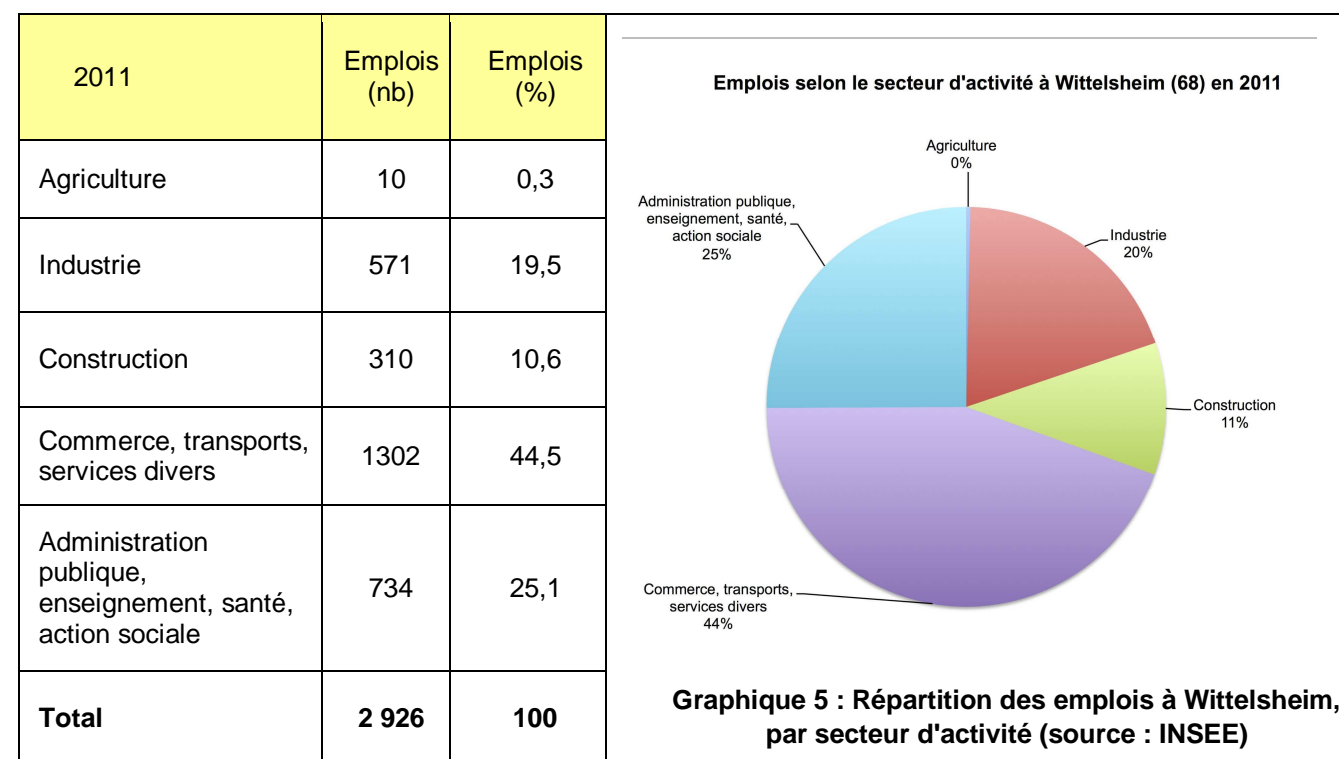
La population de la commune de Wittelsheim est estimée à 10 335 habitants en 2011.

Entre 1968 et 2011, la population de Wittelsheim a connu globalement une évolution positive de 2,4 % 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.



La commune de Wittelsheim compte 2 926 emplois (données 2011) et plus de 280 sociétés (source : *annuaire des entreprises, site internet dansmaville.org*).

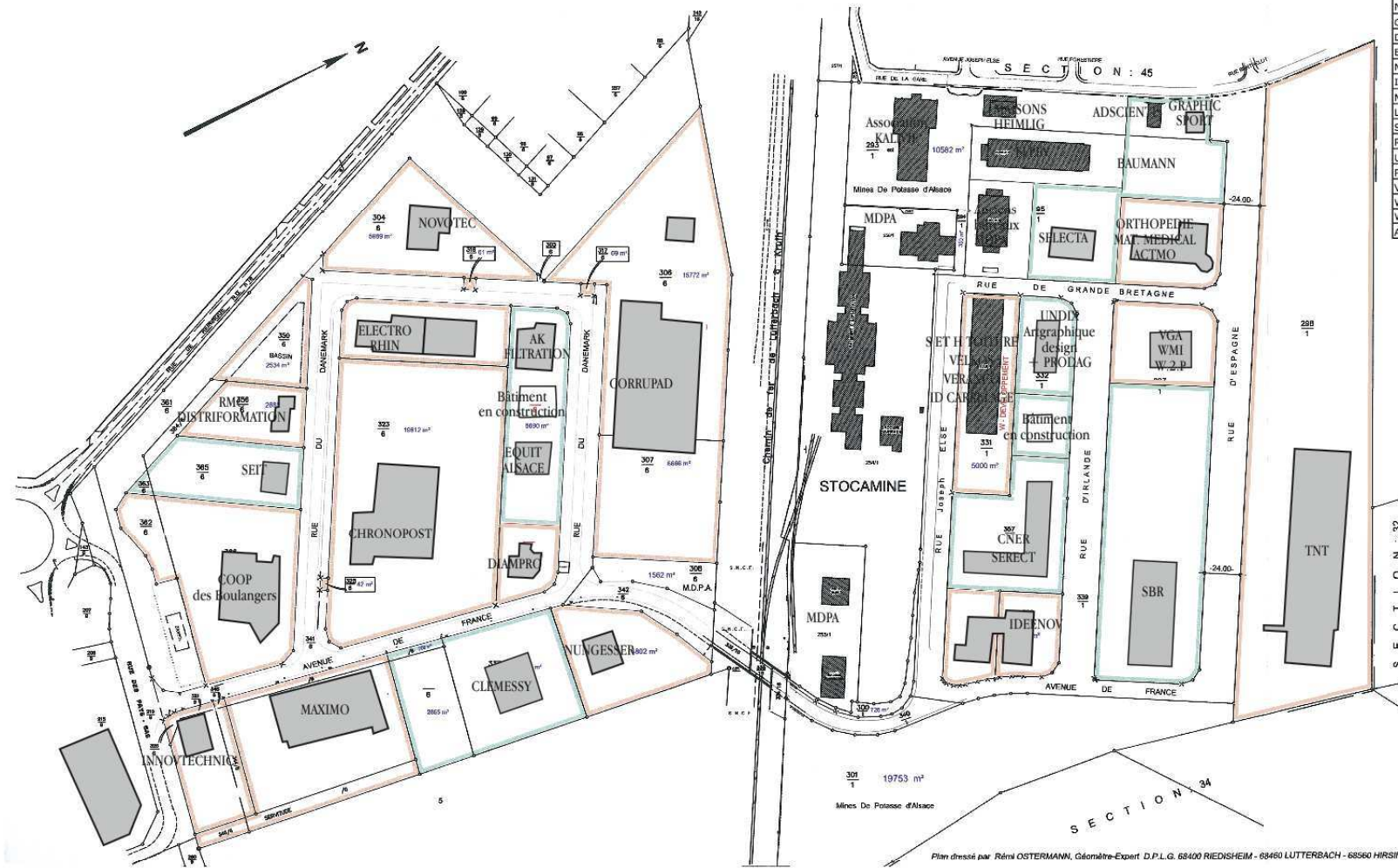
Avec plus de 1 700 emplois, le **secteur tertiaire est dominant** (environ 60% des emplois).

Dans un périmètre d'environ 1 km autour du site 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 MDPA (voir détail figure 32),
- 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.

FIGURE 32 : 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
BEKDA		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 puis MDPA (la société StocaMine ayant été absorbée par les MDPA) a toujours été voisin d'une vingtaine de personnes (cf. tableau 20).

EFFECTIF STOCAMINE (puis MDPA à partir de 2014)																	
1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1	8	17	19	23	27	23	22	22	21	20	18	18	16	16	16	16	25

Tableau 20 : Effectif de StocaMine de 1997 à 2014.

Le nombre d'emploi de la société StocaMine représentait environ 3-4% de l'emploi industriel à Wittelsheim et moins de 1‰ de l'emploi total sur la commune.

Ces proportions sont toujours valables, mais la société StocaMine a été absorbée par les MDPA.

2.3.1.3. Tourisme – Loisirs

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

- un musée dédié à l'histoire des MDPA et à sa géologie, KALIVIE, à 50 mètres du site des bâtiments des MDPA, qui reçoit 3500 visiteurs par an,
- 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 terriil 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).

Le site touristique le plus proche (50 mètres) est le musée dédié à l'histoire des MDPA.

Les autres 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 33) :

- 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 terriil Joseph Else Ouest 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 la cité Joseph-Else, qui se situe à environ 100 m à l'ouest des bâtiments de StocaMine.

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

FIGURE 33 : OCCUPATION DU SOL, ENVIRONNEMENT URBAIN



Source : CESAME 2012
 Fond : BD ORTHO® - © IGN - 2007
 0 0.15 0.3
 Kilomètres
 Réalisation CESAME 2015

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 34).

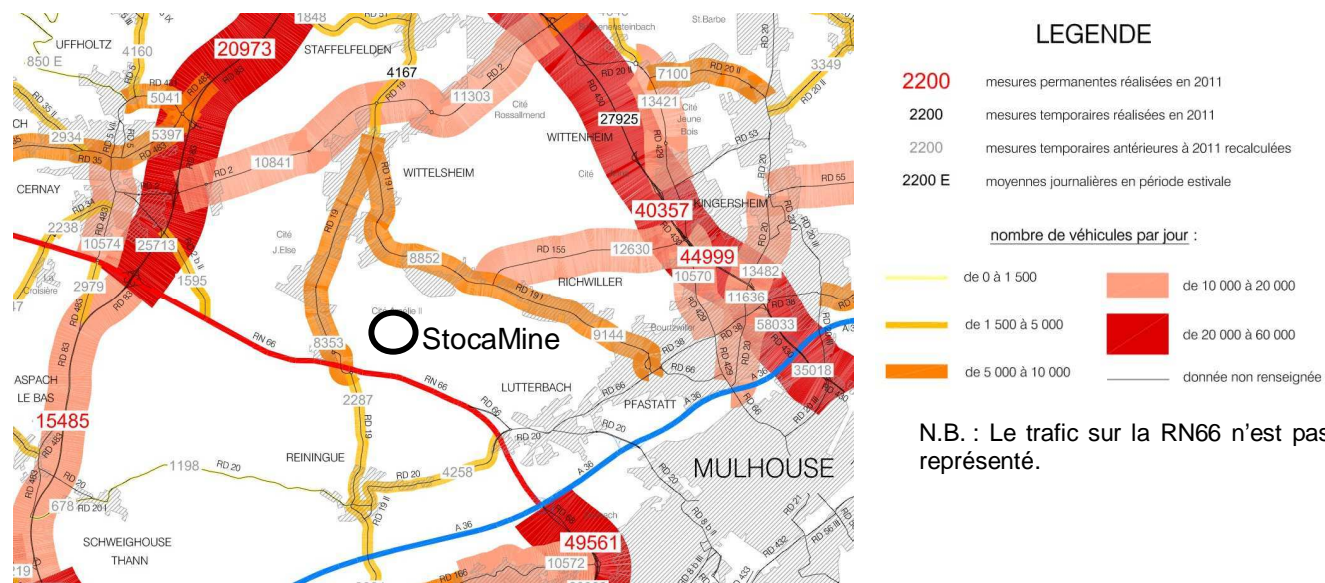


Figure 34 : Trafic des axes principaux les plus proches (source : Direction des Routes 68)

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 35).

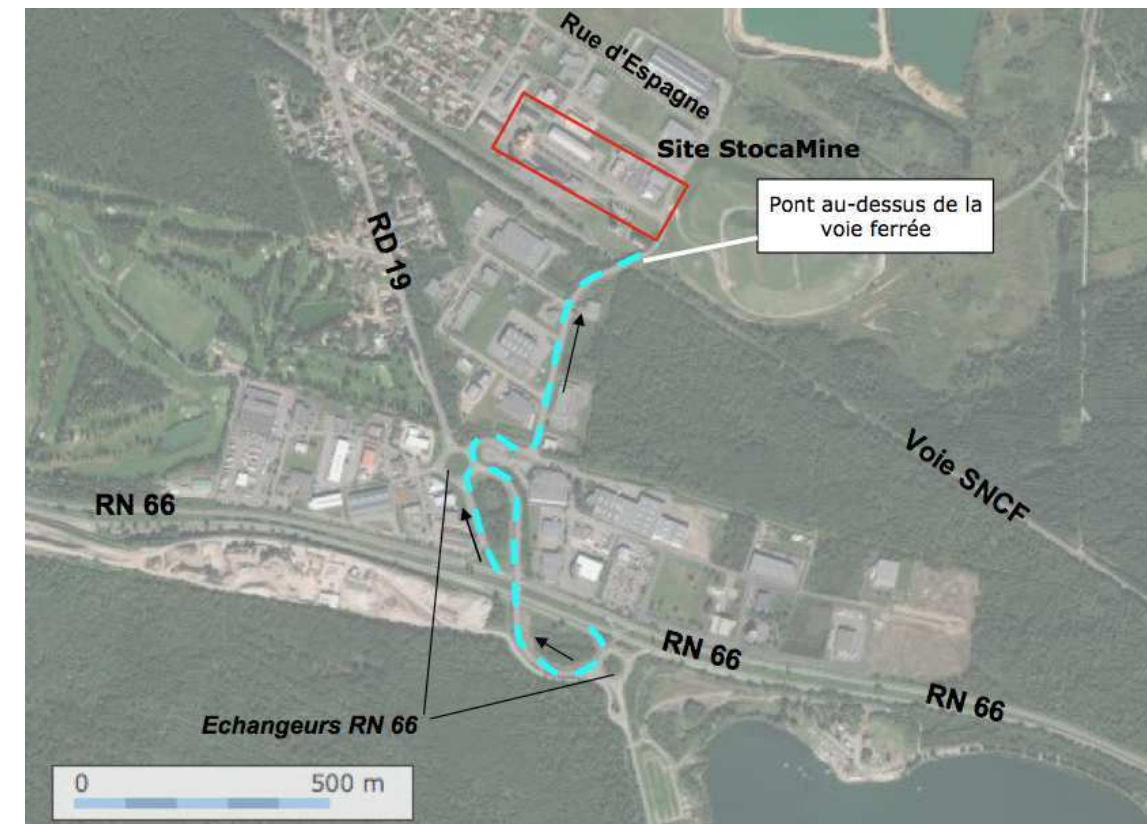


Figure 35 : Accès au site par le sud (sans traversée d'agglomération)

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 ($\approx < 10$ camions/j) par rapport à la circulation locale notamment sur la RN66.

En situation actuelle, avec les travaux de déstockage, le trafic pour desservir le site de StocaMine MDPa n'est pas notablement plus important (55 personnes travaillant au déstockage, 2 à 5 départs de camion / semaine).

Le trafic routier lié à la desserte des bâtiments de StocaMine est actuellement réduit à celui des véhicules du personnel travaillant sur le site (MDPA et ses sous-traitants soit une centaine de personnes).

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).

2.3.3.1. Suivi StocaMine

Les émergences sonores issues de l'activité de StocaMine font l'objet d'un suivi.

a - RAPPEL DE LA REGLEMENTATION

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 laquelle on ajoutera les termes correctifs C_T et C_Z .

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

avec :

C_T = correction correspondant à la période de mesures :

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

C_Z = 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 :

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

L_R 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.

b - RESULTATS DU SUIVI

En surface, les sources de bruit liées à l'activité du stockage sont principalement dues :

- aux bruits résultants de la marche du puits Joseph (circulation des cages),
- **au mouvement des véhicules du personnel,**

Pendant l'activité de stockage (jusqu'en 2003) et pour l'activité de déstockage (depuis 2014), s'ajoutent les bruits liés :

- au trafic des camions,
- aux opérations de manutention.

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.

Entre 2003 et 2013, l'activité de StocaMine était réduite et ne concernait que quelques travaux occasionnels de **maintenance** ainsi que l'**activité des services techniques et administratifs** situés dans le bâtiment principal.

Les résultats des mesures de bruit de 1999, 2001, 2003, 2009 et 2013 sont repris dans le tableau 21 et les graphiques page suivante, avec pour comparaison les valeurs de 1997.

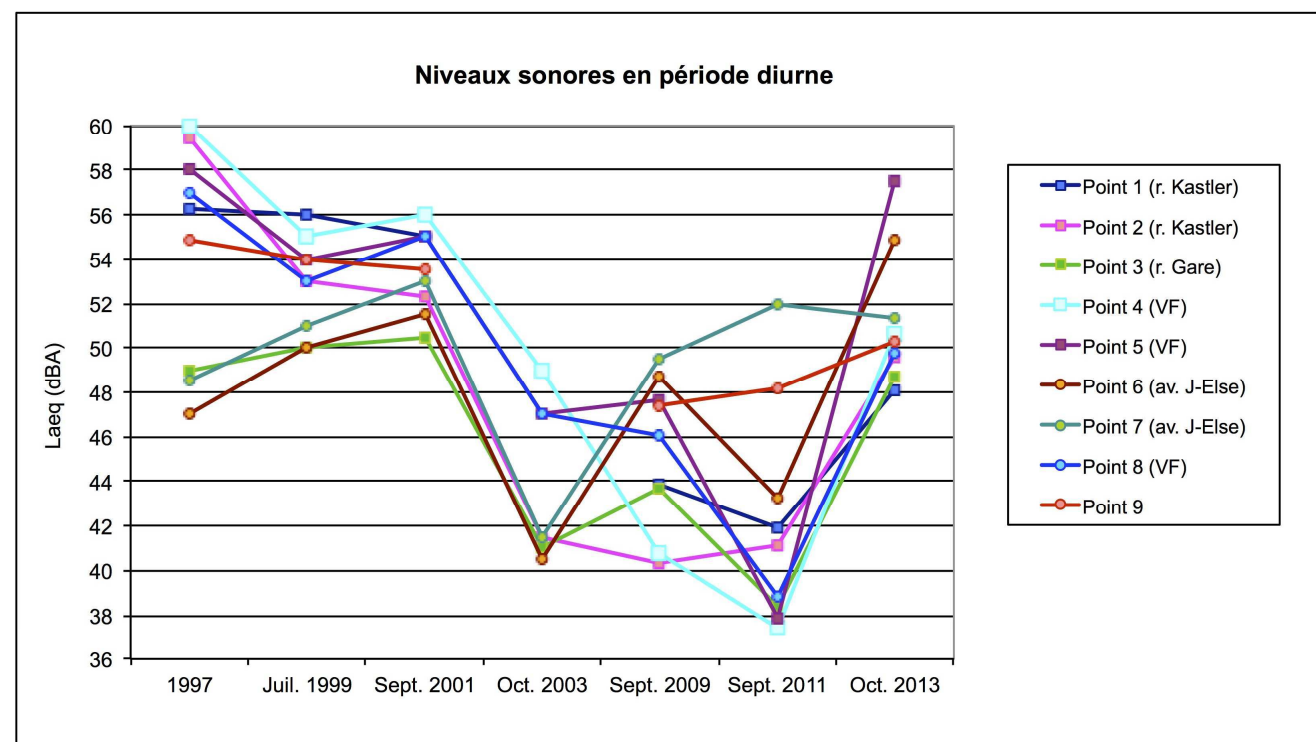
N.B. : A partir de 2009, des résultats en phases intermédiaires (6h-7h et 20h-22h) ont été distingués. Pour faciliter les comparaisons seules les mesures jour et nuit sont reprises dans le tableau 21 (pour plus de détail, voir Compte-rendu d'analyse acoustique, site de Stocamine, DBI 2009 et 2011).

³¹ : Organisme en charge du suivi acoustique.

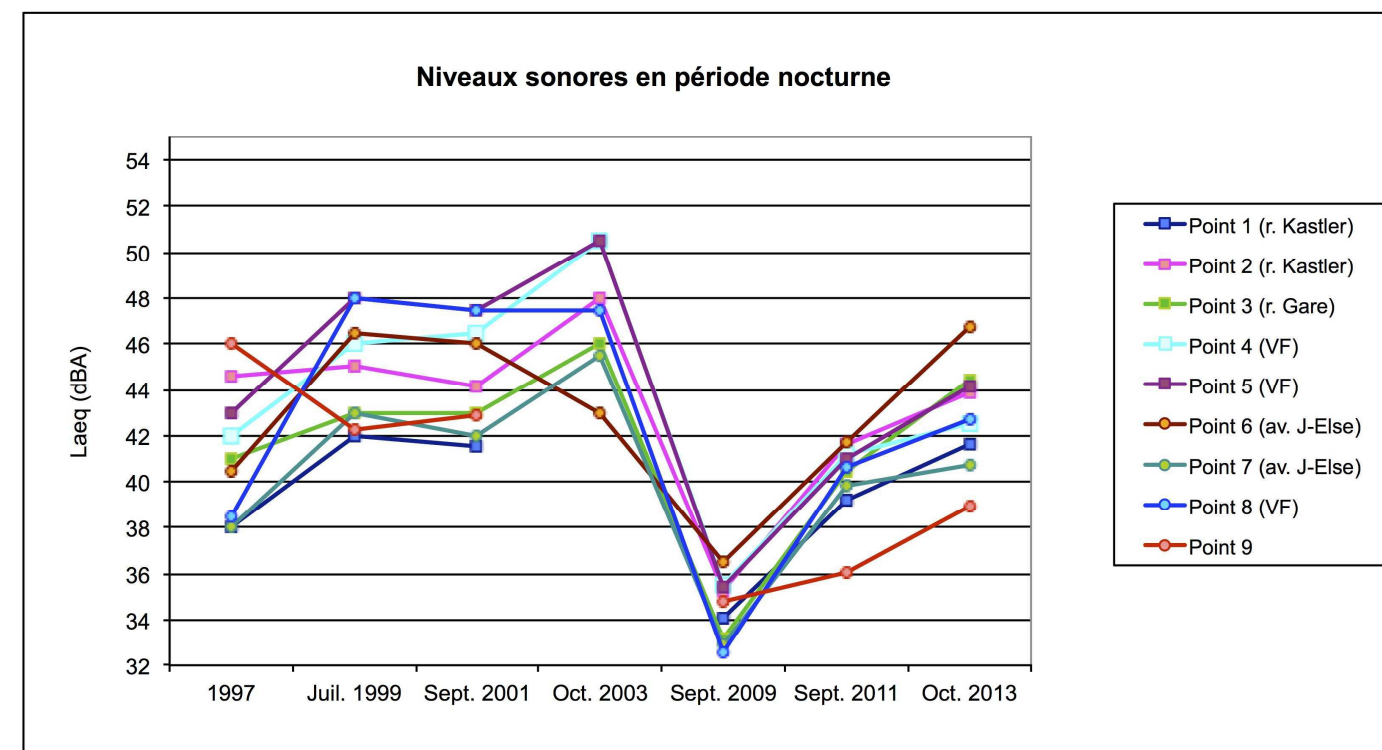
Unité	Etat initial 1997		Juil. 1999		Sept. 2001		Oct. 2003		Sept. 2009		Sept. 2011				Oct. 2013					
	Laeq, T (dBA)		Laeq, T (dBA)		Laeq, T (dBA)		Laeq, T (dBA)		Laeq, T (dBA)		Laeq, T (dBA)				Laeq, T (dBA)					
	Période	Point de mesure	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne	Inter. jour	Diurne	Inter. Nuit	Nocturne	Inter. jour	Diurne	Inter. Nuit	Nocturne
1			56,3	38	56	42	55	41,5	-	-	43,9	37,8	46,3	41,9	40,2	39,2	46	48,1	43	41,6
2			59,4	44,6	53	45	52,3	44,1	41,5	48	40,3	38,1	46,2	41,1	40,8	41,6	47,4	49,6	50	43,9
3			49	41	50	43	50,5	43	41	46	43,7	39,4	42,6	38,4	40,9	40,5	45,5	48,7	51	44,4
4			60	42	55	46	56	46,5	49	50,5	40,8	37,5	52,5	37,4	40,9	41,2	47,4	50,6	48	42,5
5			58	43	54	48	55	47,5	47	50,5	47,6	38,3	47,9	37,9	39,7	41	42,4	57,5	53	44,1
6			47	40,5	50	46,5	51,5	46	40,5	43	48,7	35,1	48,9	43,2	40,5	41,7	45,9	54,9	50	46,7
7			48,5	38	51	43	53	42	41,5	45,5	49,5	37,8	46,6	52	37,8	39,8	44	51,3	48	40,7
8			57	38,5	53	48	55	47,5	47	47,5	46,1	35	49,3	38,8	48,1	40,6	42,9	49,8	47	42,7
9			54,9	46	54	42,3	53,5	42,9	-	-	47,4	43,9	50,9	48,2	39,2	36,1	46	50,3	66,7	38,9

Niveaux limite réglementaires actuelles :
Intermédiaire (Inter.) jour ou nuit : 55, diurne : 60, nocturne : 50.
66,7 : Bruits non liés à StocaMine

Tableau 21 : Résultat des mesures bruit.



Graphique 6 : Résultats des mesures bruit (jour).



Graphique 7 : Résultats des mesures bruit (nuit)

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).

Pour les travaux de déstockage, le travail de nuit est envisagé. Des mesures seront prises pour respecter les niveaux fixés par l'arrêté préfectoral.

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.

– **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 immédiats 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, RD83, 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 fret est peu fréquent).

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.

- 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'invasion 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 implantés 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).

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 Grassegert (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.

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

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 des 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 terril Joseph Else Ouest : ce terril 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.

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 la mine Amélie (exploitation de potasse)** ; la mine Amélie appartient aux anciens travaux des MDPAs secteur ouest : l'ancienne mine de potasse et le stockage souterrain sont donc en interaction ;
- 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 localement remblayage mais le plus souvent 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'exploitations 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 37 ci-dessous présente l'étendue des concessions minières des MDPAs, l'emprise des travaux miniers souterrains du secteur ouest ainsi que la localisation du site de stockage des déchets.

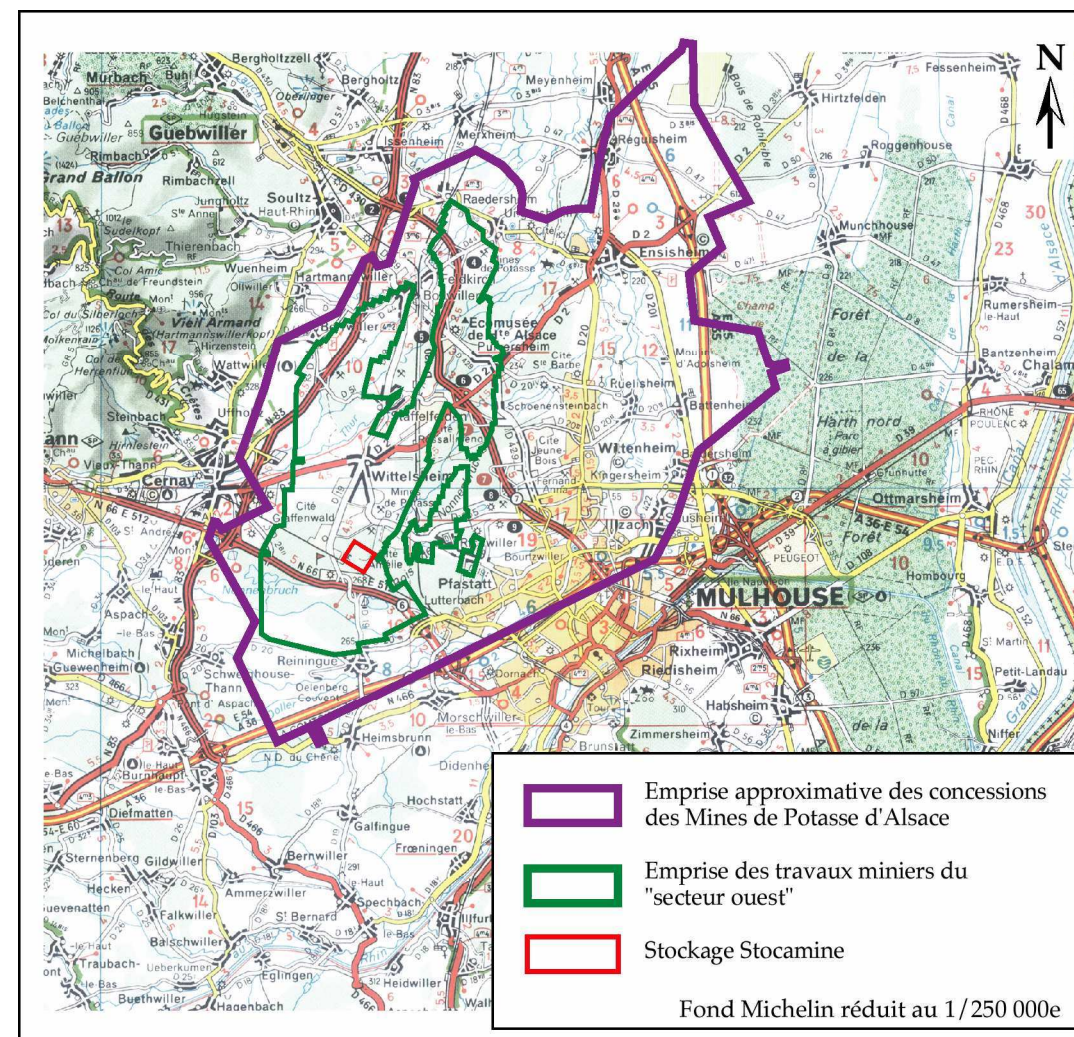


Figure 37 : Localisation du stockage dans l'environnement minier.

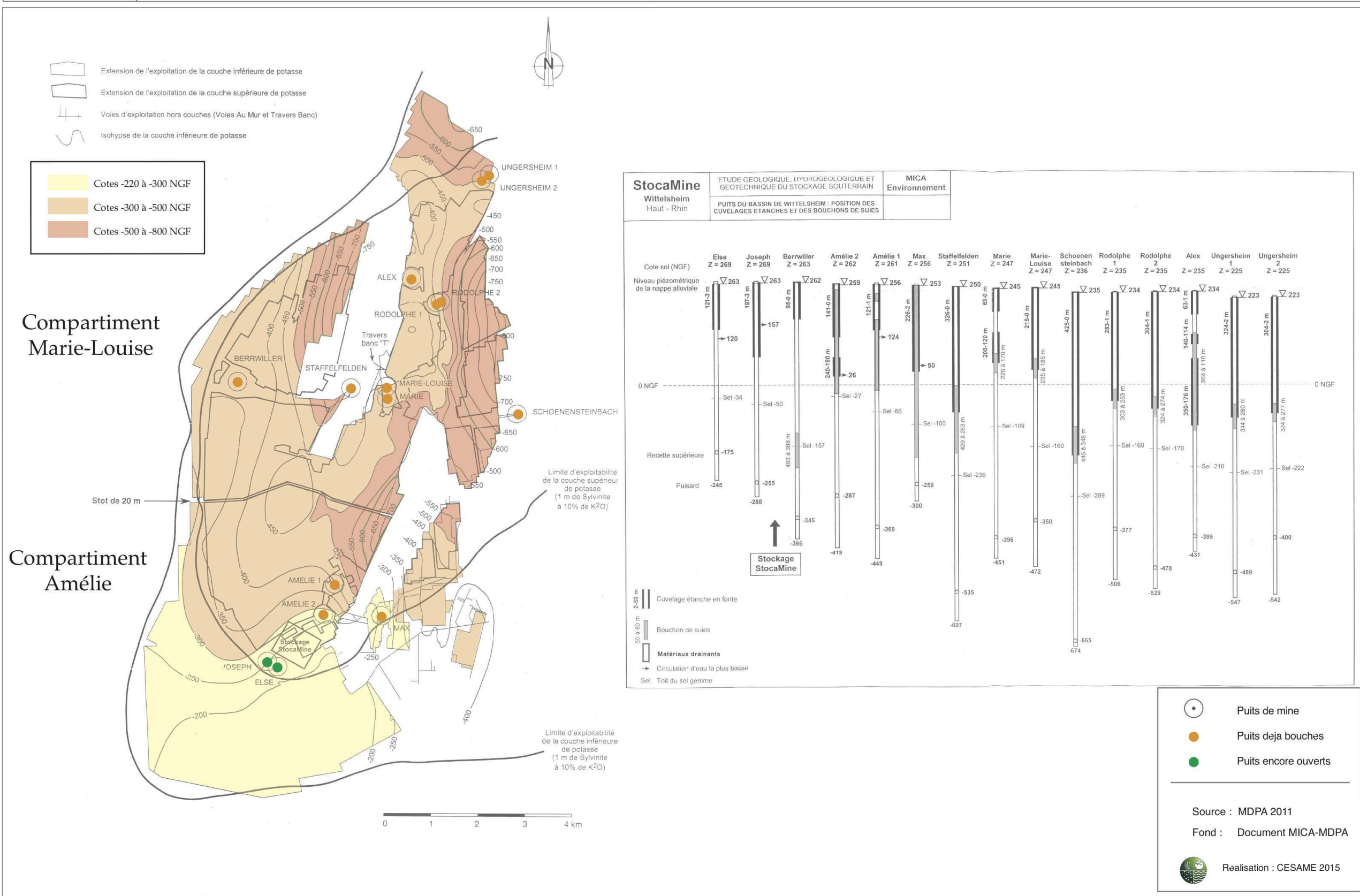
La figure 38 (page suivante) présente la cartographie des puits et l'emprise des travaux du secteur Ouest suivant la profondeur exploitée.

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 reliés entre eux par des galeries ou pourraient être reliés par la fissuration liées à la proximité des panneaux exploités. **Un stot d'environ 20 m de large 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, la mine Amélie (qui accueille le stockage souterrain) et la mine Marie-Louise.**

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

Dossier de demande d'autorisation 2015
FIGURE 38 : LES TRAVAUX MINERS 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 (très faible) va pouvoir s'infiltrer 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'envoyage des vides miniers résiduels.

Dans le même temps, un deuxième phénomène se produira : le fluage du massif salifère³⁶ qui entraînera la convergence des parois des galeries et la 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 se refermera en conséquence du fluage. La saumure pourrait être mobilisée par le phénomène de rapprochement des parois et être ainsi repoussée vers la surface (nappe alluviale).

N.B. : Une fois envoyés les « vides » sont remplis. On garde le terme de « vides » pour parler des porosités et interstices résiduels.

Les différents phénomènes accompagnant l'envoyage 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'envoyage de la mine de potasse Secteur ouest, CESAME, septembre 2006 [43]*
- *Synthèse critique des études hydrogéologiques sur l'envoyage 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'envoyage du site, INERIS, mars 2011 [55].*

Les parties ci-après s'appuient sur ces différentes études. Elles détaillent les phénomènes liés à l'envoyage 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 39 propose une représentation schématique 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 salifères, 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.

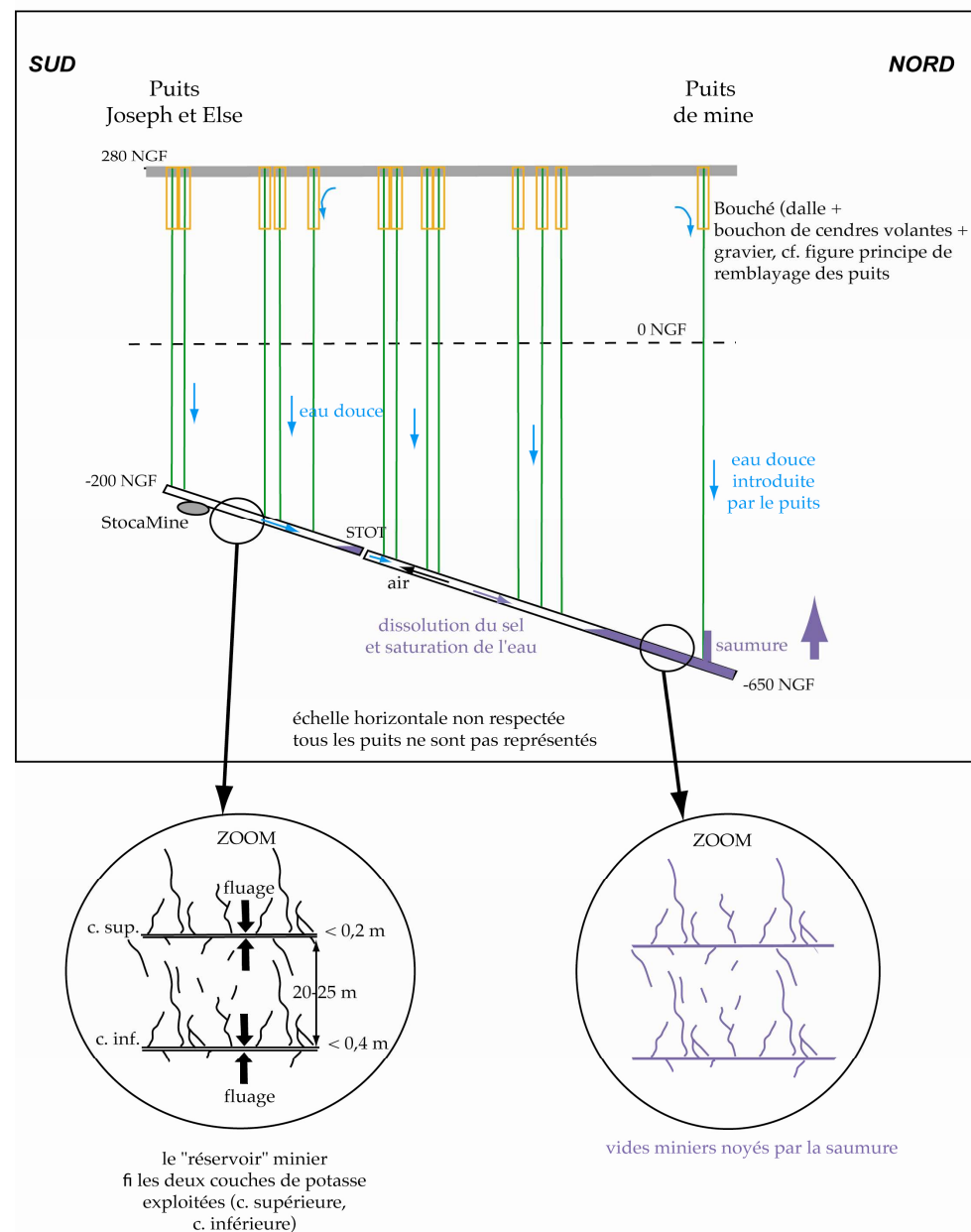


Figure 39 : Schéma de principe de l'ennoyage des MDPAs.

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

- le volume des vides miniers résiduels et son 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

Les vides laissés par l'extraction de la potasse se ferment progressivement. 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 (ce qui représente 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 se reporte 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 soit l'ensemble du secteur ouest (volume exploité 200 Mm³), soit seulement la mine Amélie (90 Mm³) au sein de laquelle se trouve le site de stockage de StocaMine. Ce second scénario qui conduirait à un ennoyage de la mine Amélie beaucoup plus tardif (670 ans) n'a pas été retenu par prudence.

- 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 le fluage du sel (déformation irréversible différée).

Pour les champs d'exploitation il y aura rapprochement du toit et de la sole des champs d'exploitation en « écrasant » les matériaux de foudroyage (phénomène de compaction des terrains foudroyés). Pour les galeries les parois horizontales mais également verticales vont se rapprocher (convergence).

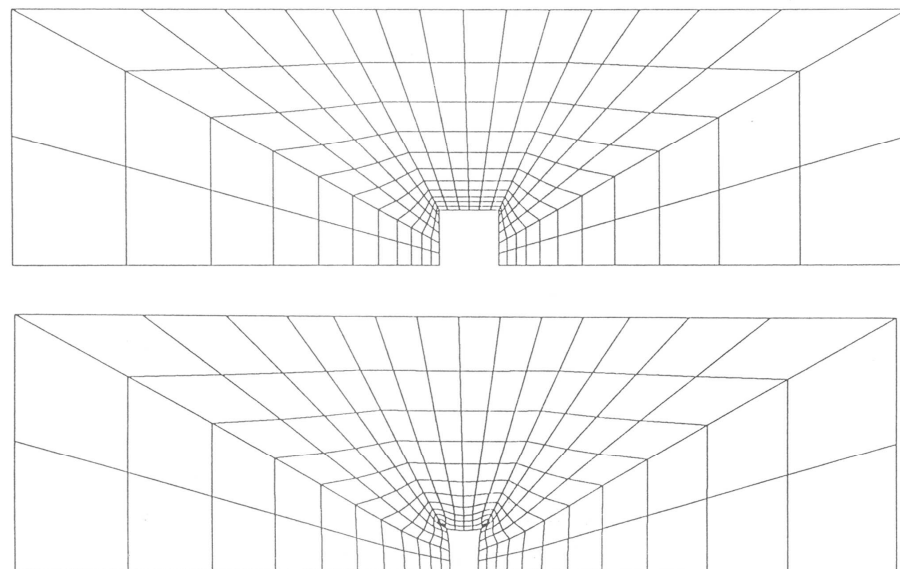


Figure 40 : Illustration du phénomène de fluage sur une galerie.

Après foudroyage et arrêt de l'exploitation, les phénomènes de compaction et de convergence 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 ennoyés :

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**. La fermeture des vides par convergence ou compaction se ralentit alors.

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 galeries 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
Galeries à la profondeur du stockage	1% par an	0,1% par an
Tailles foudroyées	0,1% par an	0,01% par an

Tableau 22 : 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 (en « rognant » les parois). 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 (Lourdé, 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).

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 restera 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 l'INERIS, l'ennoyage devrait durer environ 300 ans dans le secteur ouest où l'eau peut pénétrer par 15 puits de mine, ce qui amènerait la fin théorique de l'ennoyage vers l'an 2310 (tableau 23).

Rappel des hypothèses		Durée d'ennoyage
Volume de vide créé par l'exploitation (V _i)	200 M m ³	≈ 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 m ³ /an	

Tableau 23 : 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 (Lourdé, 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 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 différents scénarios découlant de ces hypothèses de remontée de saumure afin de déterminer le scénario à la fois probable et le plus défavorable.

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, université de Lille). 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 douce passant par les puits de mine auront donc tendance à s'accumuler au-dessus de la saumure.

Autrement dit, à la fin de l'ennoyage, 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 (lié aux différences de densité).

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.

La figure 41 présente de façon schématisée le déséquilibre ou l'équilibre qui peuvent se mettre en place suivant les hauteurs de colonnes d'eau salée ou d'eau douce.

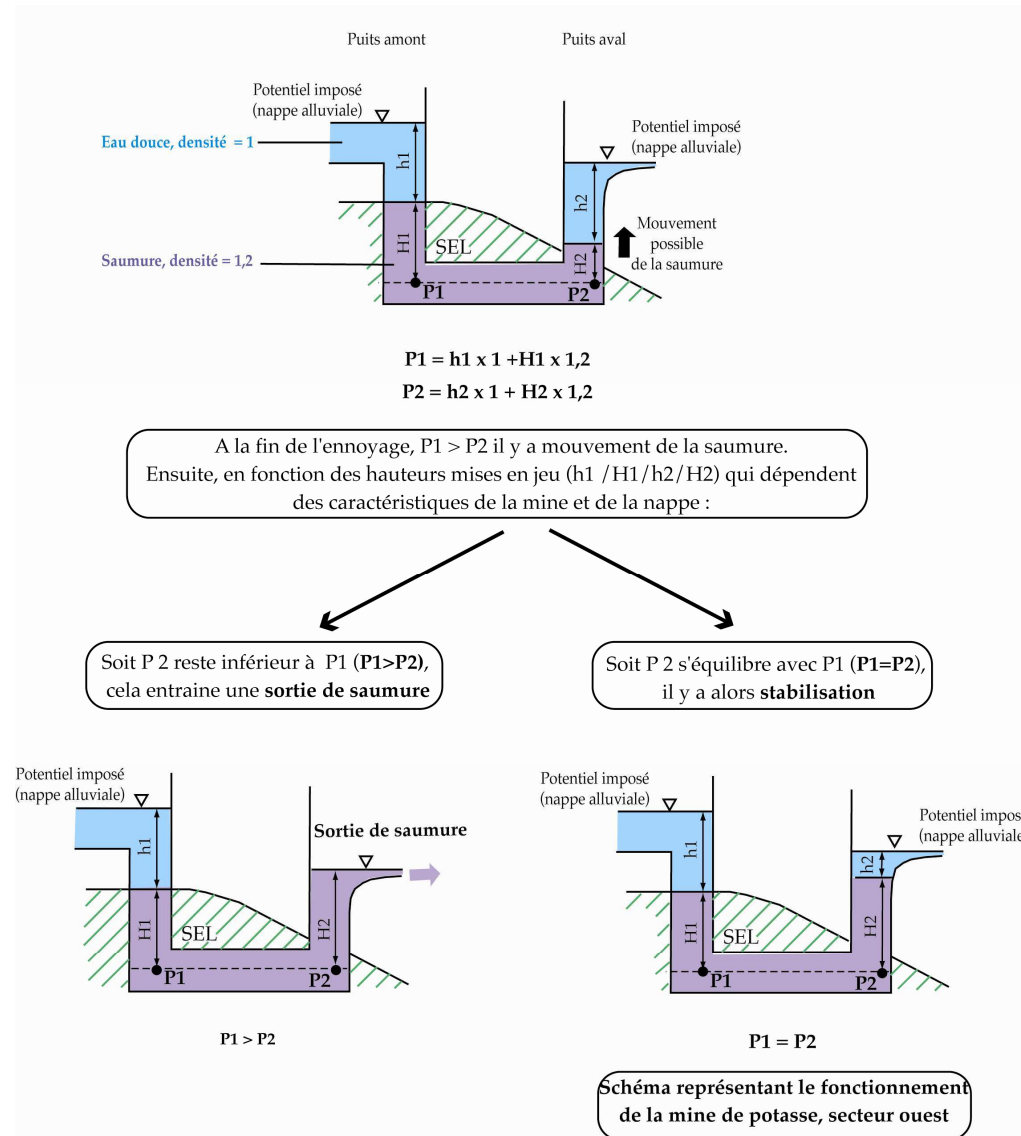


Figure 41 : Schématisation du comportement de l'interface eau/saumure en fin d'ennoyage.

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 figure 42, 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).

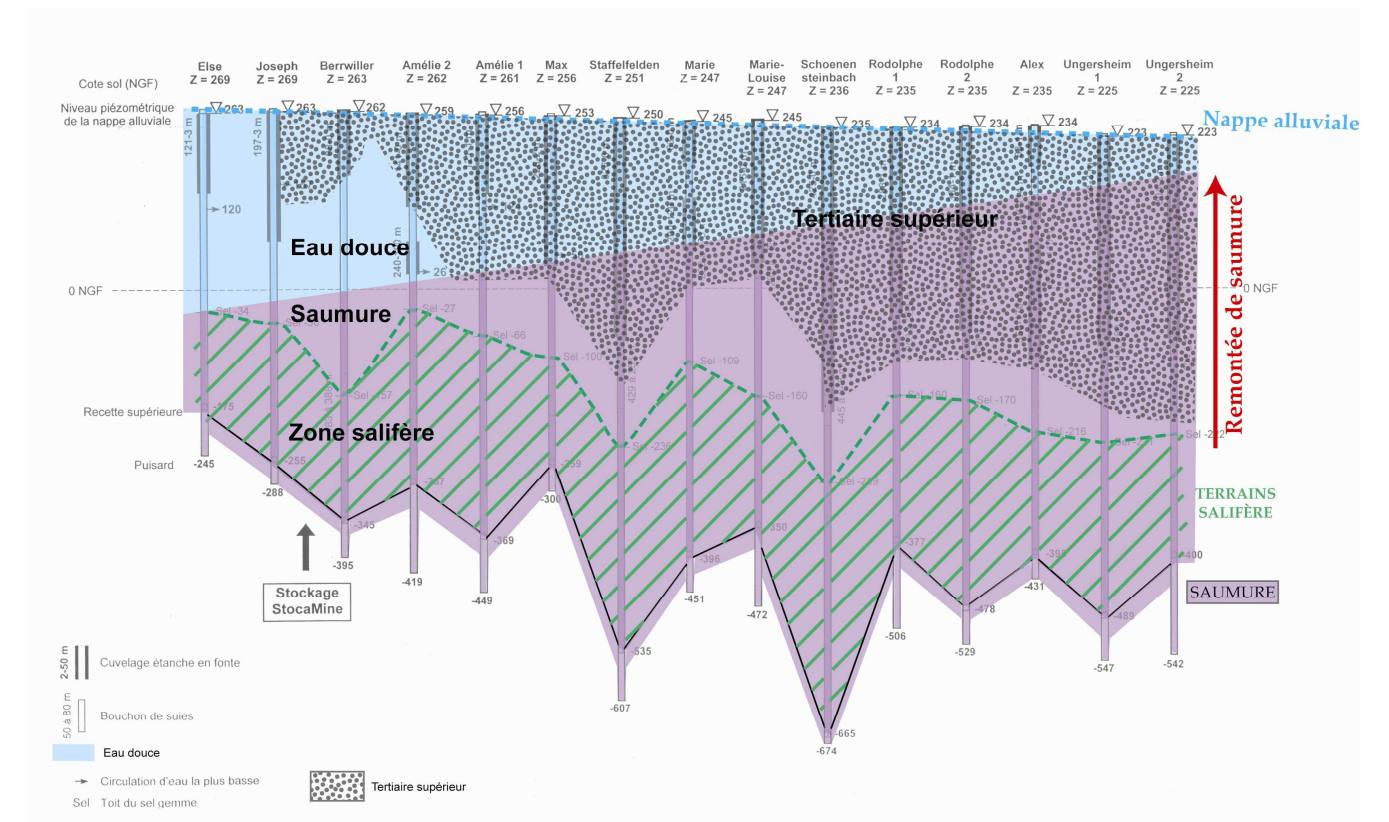


Figure 42 : Niveau de remontée de la saumure dans le secteur ouest.

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 lecture.

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 42), 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 Eise. 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 ennoyées 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 et continuerait d'affecter les vides miniers résiduels même après leur ennoyage.

Cette réduction de volume (bien que ralentie par la présence de saumure) 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 d'un peu moins de 30 Mm³ dans le secteur ouest (sur la base des hypothèses d'affaissement, compaction, etc. précédemment présentées).

Une fois la mine pleine de saumure, le volume annuel d'épanchement de saumure serait égal à la diminution de volume liée à la compaction résiduelle des travaux souterrains. 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 pour les tailles foudroyées et 0,1% par an pour les voies doubles (cf. page 80).

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 avec 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 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, professeur à l'Institut de Physique du Globe de Paris).

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 43, 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.

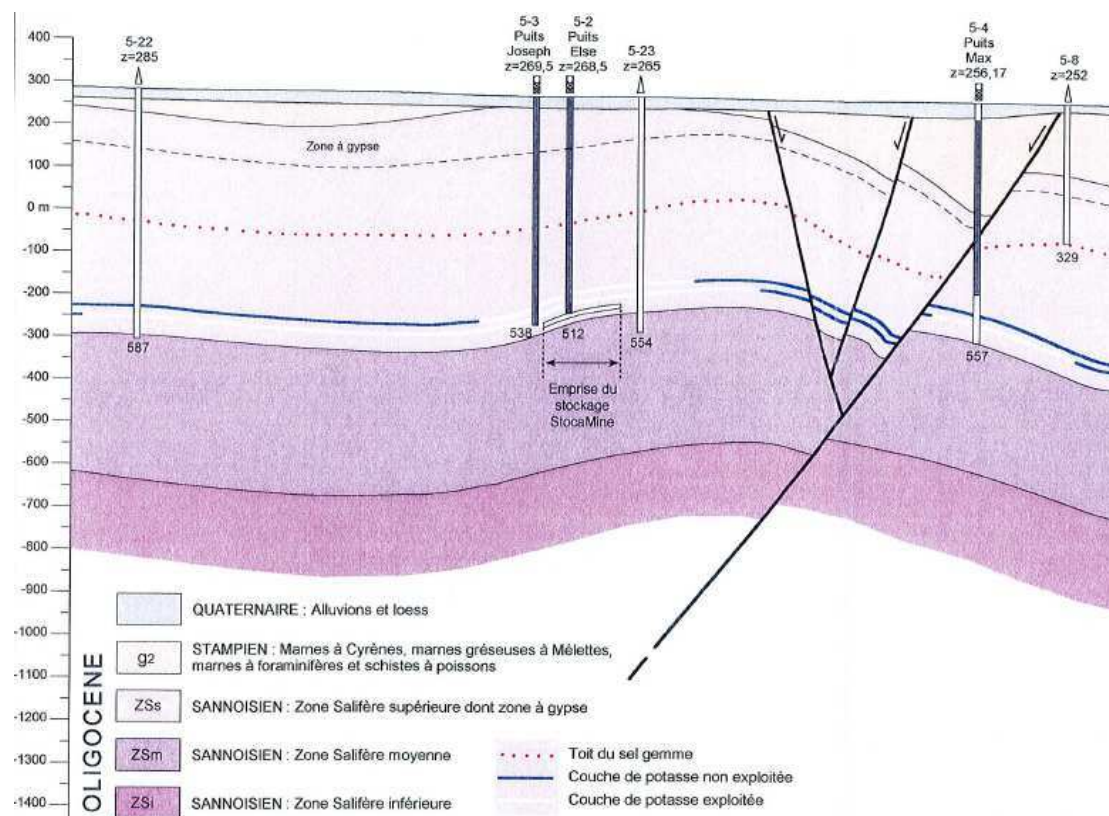


Figure 43 : Extrait de la coupe ouest-est du bassin potassique au droit du site de stockage [28].

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.

Le scénario défavorable conduit donc à retenir l'hypothèse qu'un séisme important (magnitude 5 à 6) réactive une faille traversant la couche de sel et la rende perméable.

Pour apprécier l'impact de cette hypothèse, il a été admis que le séisme augmenterait la perméabilité de la faille jusqu'à une valeur de l'ordre de 10^{-4} m/s et qu'un déséquilibre hydraulique pourrait se mettre 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, soit un débit inférieur à celui estimé précédemment pour les 5 puits de la mine Amélie (dans le cas du scénario d'un écoulement par poursuite de la compaction via les puits remblayés).

En retenant l'hypothèse qu'un séisme pourrait modifier les caractéristiques des failles locales (globalement imperméables), le débit de saumure qui pourrait passer par une faille est considéré comme inférieur au débit qui pourrait transiter par les puits de mine.

De plus, ce phénomène paraît peu probable (et drainerait potentiellement uniquement la saumure des vides miniers proches de la faille).

⁴¹ : Soit un séisme modéré à fort, causant des dégâts en surface. La base de données 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 :**

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.

Près de 200 sondages ont été réalisés dans le bassin potassique. Il s'agit de forages partant de la surface :

- pour rechercher la potasse :

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.

- pour rechercher des indices d'hydrocarbures, à des profondeurs variables :

Les forages de reconnaissances réalisés avant l'exploitation de la potasse sont considérés comme ayant été colmatés (procédure normale à l'abandon d'un trou de forage, surtout dans le contexte local). Seul le sondage FEL 101 serait resté ouvert depuis son creusement en 1978, du fait d'un projet d'exploitation géothermique, mais il est situé hors zone d'exploitation minière,

L'exploitation minière a recoupé un certain nombre de ces anciens sondages, ce qui a donné lieu à des suintements ou à des venues d'eau qui sont restées limitées. Ceci indique donc que les anciens sondages ne peuvent être le siège que de circulations d'eau très minimales entre la surface et l'ancienne mine (sans commune mesure avec les puits de mine).

Parmi ces sondages, un seul a atteint le secteur du site de stockage de déchets : le sondage « Wittlesheim III » (W III). Il avait été traité lorsqu'il avait été recoupé par l'exploitation de potasse au-dessus du stockage, en 1952 pour la couche supérieure et en 1959 pour la couche inférieure.

En 2013, des travaux spécifiques ont été engagés pour localiser précisément ce trou de sonde et le traiter. L'ouvrage a été retrouvé il faisait 15 centimètres de diamètre et était totalement sec (confirmant l'efficacité des traitements des années 50 et donc l'absence de lien avec la surface). Par sécurité le trou de sonde a été injecté avec un ciment magnésien.

L'étude réalisée par l'INERIS conclut que la principale voie de communication hydraulique avec l'extérieur est constituée par les puits d'accès à la mine et au stockage. La part éventuelle liée aux anciens sondages de reconnaissance est négligeable devant le chemin de transit offert à l'extrados des puits.

d - CONCLUSION – SCENARIO DE REFERENCE D'EVOLUTION DU CONTEXTE MINIER

Il a été retenu que l'ancienne mine de potasse (plus précisément les vides souterrains laissés par l'exploitation de la potasse) pouvait se remplir de saumure si des suintements d'eau passent par les puits de mine remblayés.

Des études ont été menées pour préciser quels phénomènes pourraient entraîner ensuite une remontée de saumure jusqu'en surface.

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 un autre phénomène potentiel : l'épanchement lié à la poursuite de la compaction des travaux souterrains. C'est ce dernier phénomène qui pourrait le plus probablement entraîner une remontée de saumure vers la surface avec des débits proportionnels à l'évolution des vides miniers et estimés autour de 3000 m³/an pour l'ensemble du secteur Ouest de la mine de potasse (puis se réduisant au fil du temps).

Considéré comme à la fois probable et le plus défavorable, ce scénario a servi de référence pour déterminer les impacts potentiels du projet de confinement de StocaMine sur la nappe aquifère d'Alsace et fixer les mesures à prendre pour assurer en conséquence la préservation de cette nappe.

Concernant les voies de transfert jusqu'en surface, ce sont les puits de mine qui sont considérés comme la principale voie de communication hydraulique potentielle.

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. L'ensemble des vides miniers résiduels pourraient être ainsi remplis de saumure au bout de 300 ans.

Les galeries de stockage étant positionnées à une cote plus élevée que la majorité des anciens travaux miniers souterrains qui s'étendent plus au Nord (cf. figure 39), l'INERIS estime que le niveau de saumure atteindrait le stockage au bout de 240 ans.

A cette échéance, les galeries dans lesquelles les déchets sont stockés se seront partiellement refermées, les parois venant au contact des emballages des déchets (cf. schéma ci-contre).

Il resterait toutefois le volume de vides correspondant à la porosité des déchets, par lequel 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.

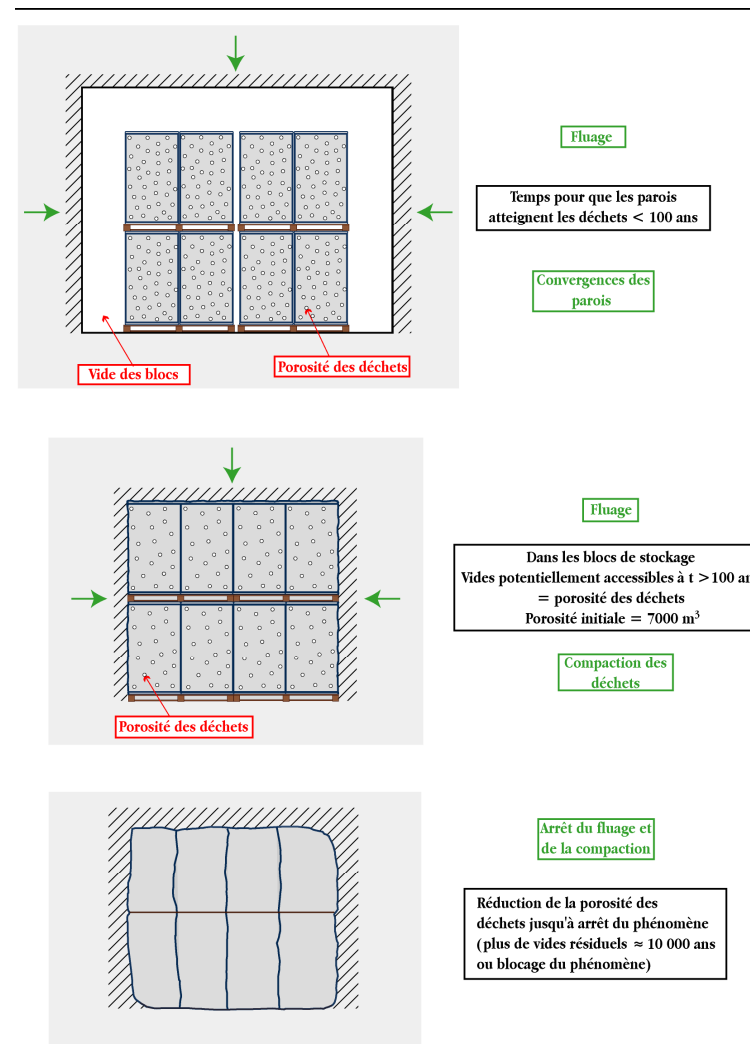


Figure 44 : Représentation schématique des phénomènes de convergence des parois et compaction des déchets du fait du fluage du sel.

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 qui pourrait alors s'insinuer à travers la porosité des déchets et dissoudre des contaminants.

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 anciens vides résiduels.

N.B. : Le terme de « vides » est utilisé ici pour parler des porosités et interstices résiduels bien que ceux-ci ne soient pas vides mais pleins de saumure.

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 les débits de saumure qui pourraient remonter par les puits de mine correspondent aux réductions de volumes résiduels restants dans le stockage et dans la mine (porosité, interstices, etc. ennoyés par la saumure). Ces réductions de volume, diminuent avec le temps (volumes en jeu progressivement plus faibles et résistance à la compaction plus forte).

Pour mettre à profit cette baisse au fil du temps des débits mobilisables (notamment le débit potentiellement contaminé), il convient donc de retarder autant que possible l'ennoyage du stockage et la sortie de saumure du stockage, 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'ennoyage (phénomène hydrogéologique) et le transport des contaminants (phénomène hydrogéo-chimique).

Plus les barrières permettront de retarder un potentiel passage de saumure (d'abord depuis la mine de potasse vers les déchets puis dans le sens inverse depuis la zone confinée vers les puits de mine), plus les débits mobilisables par le phénomène de compaction seront faibles et ne pourront pas engendrer d'impact sur la nappe alluviale.

En tenant compte de l'ensemble des déchets qui avaient été stockés, l'INERIS conclut 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.

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.

N.B. :

Pour que les débits mobilisés soient suffisamment faibles l'INERIS précise :

- qu'il faut 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,
- 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.

Le déstockage préalable d'une partie des déchets est considéré comme une sécurité supplémentaire.

- **Au fil du temps, la réduction du 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.**

Suite aux études de l'INERIS, plusieurs données récentes indiquent que le scénario sur lequel a été basé le dimensionnement des barrières est sécuritaire :

- un forage profond a été réalisé en 2013 (cf. page 167) et a atteint les anciens travaux foudroyés de la mine de potasse à plus de 900 mètres de profondeur ; il a montré la présence de vides importants : les vides résiduels miniers pourraient être plus importants que ce qui a été retenu dans les hypothèses de l'INERIS, dans ce cas l'ennoyage de la mine serait beaucoup plus lent qu'annoncé,
- dans le scénario INERIS, il est considéré que le stockage est rapidement envahi par la saumure dès que celle-ci a traversé les barrières, or les galeries du stockage seront remblayées avec des matériaux poreux (cf. page 164), le volume des vides associé ralentira de façon très significative l'éventuelle progression de saumure dans le stockage.

Ainsi, si les vides résiduels souterrains se ferment finalement très lentement, l'ennoyage de la mine sera beaucoup plus long et n'atteindra la cote du stockage qu'au bout de nombreux siècles. De plus, si la saumure ne progresse que lentement dans le stockage, la sortie de saumure polluée pourrait être retardée suffisamment par ce seul phénomène.

Les impacts du projet sont étudiés dans la suite de ce rapport en tenant compte d'un ennoyage de la mine en 300 ans environ, de la présence de barrières de confinement autour du site de stockage (dans les études INERIS scénario appelé « scénario de référence »), sans tenir compte de l'effet de retard apporté par le remblayage des galeries du stockage et en tenant compte d'une porosité relativement faible des déchets.

Scénario de référence :

Etape 1 : 0 à 300 ans

- **La mine de potasse se remplit progressivement de saumure qui s'introduit par les puits remblayés.**
- **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. A ce moment la pression de saumure devant les barrières de confinement du stockage atteint son maximum.

Etape 2 :

- **L'ennoyage des vides résiduels de la mine de potasse 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 la saumure qui l'avait envahie .**
- **Les barrières de confinement mises en place autour de StocaMine sont progressivement saturées puis traversées par la saumure 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 (= la porosité des déchets et des matériaux de remblayage des galeries) puis retransverse les barrières en direction de la mine sous la pression du compactage des vides résiduels de StocaMine.**

Etape 4 : Au-delà de 1000 ans

- **La saumure potentiellement contaminée est poussée vers les puits de mine et peut atteindre la nappe, avec un débit qui diminue toutefois au fil du temps.**
- La contraction des vides miniers par le fluage s'achève progressivement.
- L'expulsion vers la nappe d'Alsace de la saumure issue de la mine, incluant une part de saumure polluée issue de StocaMine devient progressivement nulle (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 la mobilisation qu'a pu engendrer le fluage.**

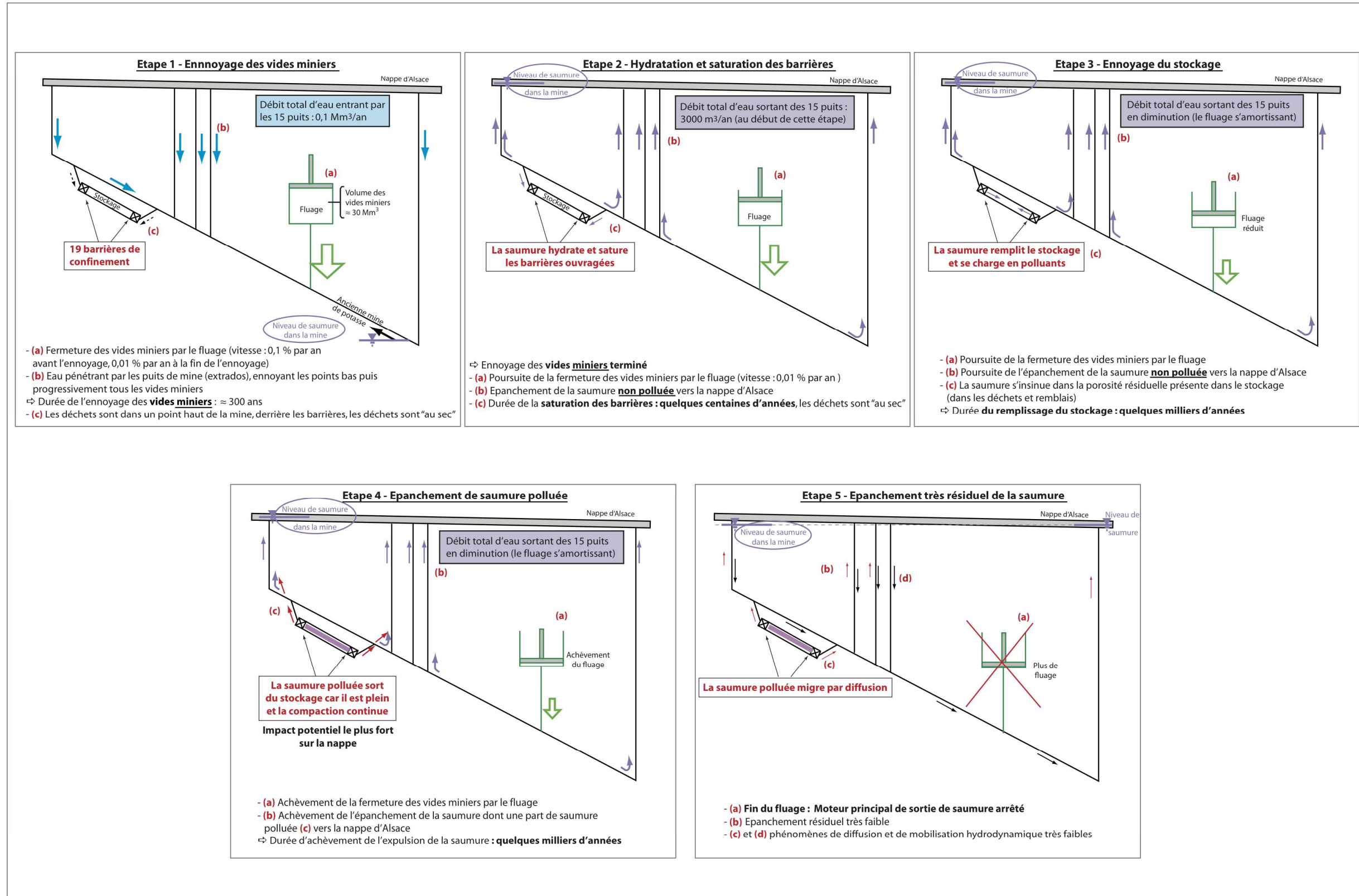


Figure 45 : Evolution du système, scénario avec barrières de confinement du stockage (d'après INERIS [68]).

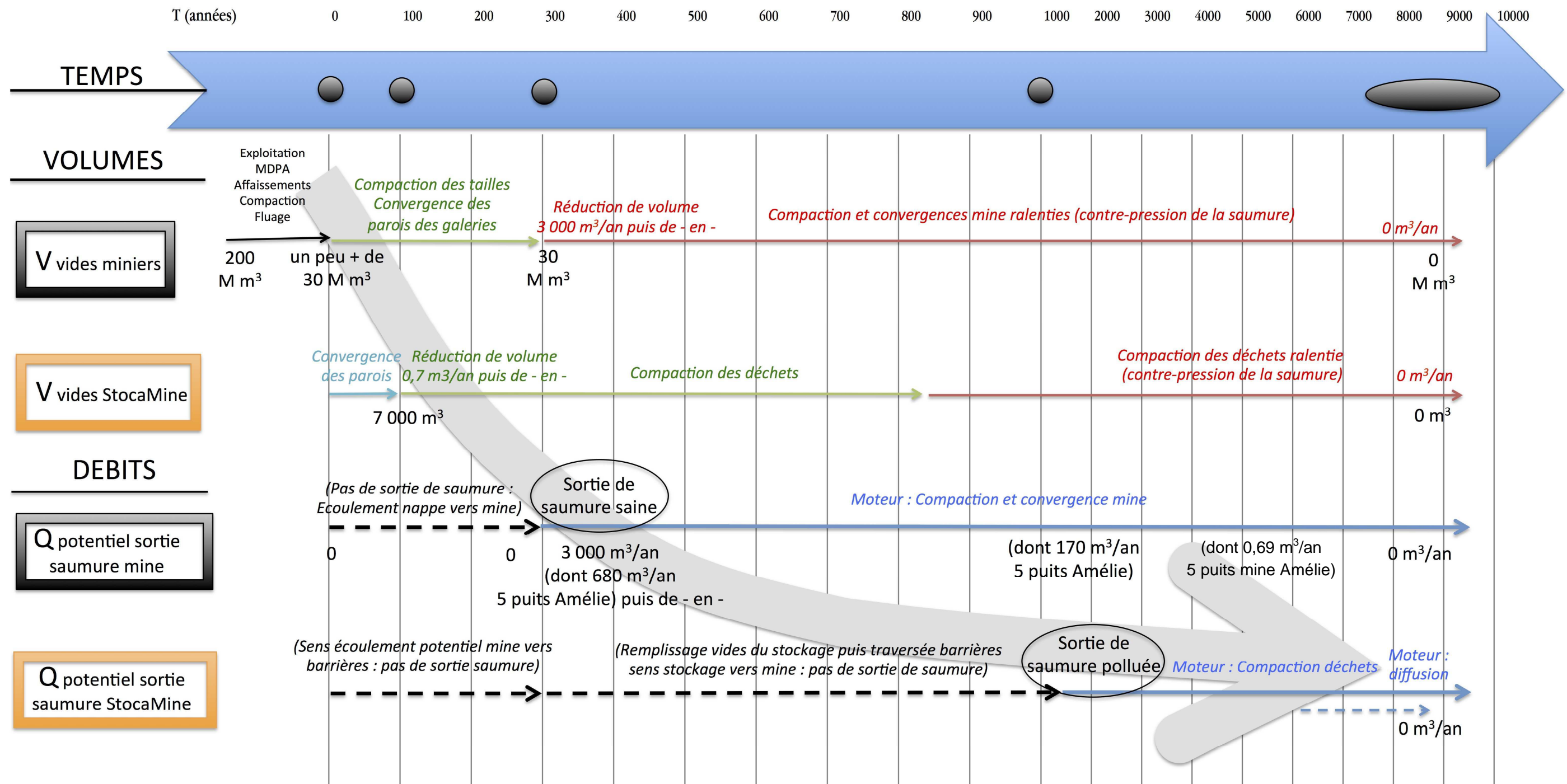


Figure 46 : Chronogramme du scénario de référence utilisé par l'INERIS.

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 46).

Dans un premier temps, 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 géochimique [56] a ainsi mis en évidence les polluants mobilisables et concentrations associées, ce qu'on appelle en modélisation le « terme source ». Plusieurs cas ont été étudiés, en tenant compte soit de la totalité des déchets soit des tonnages résiduels après déstockage partiel.

Il a ensuite été 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 alluviale 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 alluviale par rapport 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 présente 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

3.1.1. Types de déchets et quantités initiales stockées

Les déchets pouvant être admis dans le stockage ont été définis à l'origine du projet dans l'article 12 de l'arrêté initial d'autorisation d'ouverture du site. Treize groupes ou catégories de déchets ont ainsi été définis. Le tableau ci-après reprend les tonnages admis entre 1999 et 2002 dans le stockage pour chacun des groupes.

Catégories	Quantités totales stockées en 2002 (en tonnes)
A1 - Sels de trempe	2 154,88
A2 - Sels de trempe non cyanurés	1 214,64
B3 - Déchets arséniés	6 964,40
C4 - Déchets chromiques	427,96
B5 - Déchets mercuriels	2 254,94
B6 - Terres polluées	5 250,97
D7 - Résidus de l'industrie	137,50
C8 - Déchets de galvanisation	642,50
E9 - Résidus d'incinération	20 670,69
B10 - Produits phytosanitaires	127,60
D12 - Déchets de laboratoire	221,92
E13 - Déchets amiantés	3 851,06
Somme	43 970,96

Tableau 24 : Les déchets, quantités totales stockées.

⁴³ : c'est-à-dire en prenant en compte les normes mais aussi la qualité réelle de la nappe d'Alsace (suivis existants).

3.1.2. Le déstockage partiel

Les études réalisées par l'INERIS sur l'option de « réversibilité » (c'est-à-dire de sortie des déchets pour un restockage dans un autre site souterrain) et sur l'option de maintien en place de tous les déchets ont conclu qu'il est **possible de laisser tous les déchets en place sans risque pour la nappe alluviale en réalisant des barrières de confinement de très faible perméabilité.**

D'après les bureaux d'études et instituts spécialisés dans le domaine, il est techniquement réaliste de mettre en place des barrières de confinement avec des perméabilités suffisamment faibles pour qu'elles permettent de retarder de 1000 ans l'éventuelle sortie de saumure du stockage, par l'intermédiaire des puits de mine.

En retenant la mise en place de barrières et le maintien in situ de tous les déchets, le scénario d'évolution du site (scénario « de référence » décrit dans le chapitre précédent) conduit à des teneurs en polluants dans la nappe alluviale inférieures à toutes les valeurs de référence. **Pour l'élément mercure, la marge de sécurité est toutefois plus faible** que pour les autres contaminants. Le retrait d'une partie des déchets contenant du mercure, décidé par l'Etat, assurera une **sécurité supplémentaire par rapport au scénario initial sans déstockage.**

Ce retrait partiel correspond à une demande de l'Etat dans le but de répondre aux inquiétudes émises durant la concertation publique.

Cette décision prend ainsi en compte la majorité des avis du Comité de Pilotage qui avait suivi l'avancement des différentes études du site en 2010 et 2011, et répond partiellement aux préoccupations de la population locale (qui souhaiterait un déstockage total).

Le retrait des déchets est toutefois une opération délicate car les galeries de stockage se sont déjà partiellement refermées autour des déchets. La manipulation des déchets est donc beaucoup plus difficile qu'au moment de leur entreposage. Parce que les emballages ont pu également s'altérer, le personnel qui manipule des déchets doit prendre des précautions supplémentaires (équipements de protection individuelle, ...). Enfin, certains toits de galeries présentent des décollements qui pourraient s'accroître en retirant les déchets. De plus, une fois remontés au jour les déchets devront de toute façon être stockés en souterrain : ils seront transportés vers une autre mine de sel, en Allemagne.

Pour toutes ces raisons, le déstockage doit être organisé de façon optimisée c'est-à-dire en minimisant les manipulations pour sortir le maximum de déchets concernés (catégorie B3 et B5). Ainsi, on peut préciser que (cf. figure 47 qui représente schématiquement les différents blocs de stockage et les masses de mercure dans chaque bloc) :

- le bloc 22 contient à lui seul 56% de la masse de mercure totale,
- les blocs 12, 21, 23 renferment au total 38%.

Les déchets manipulés lors du déstockage seront ré-étiquetés, ré-analysés avant restockage et la base de données des quantités laissées en place sera régulièrement réactualisée.

Le déstockage ⁴⁴ n'a débuté qu'en septembre 2014, du fait du retard pris par les autorités allemandes pour délivrer les autorisations nécessaires. Le bloc en cours de déstockage est le bloc 21.

L'objectif est de retirer 93% de la masse de mercure, en intervenant dans les blocs 21, 22, 23 et 12. Le bilan du déstockage permettra de déterminer précisément les quantités qui auront pu être évacuées et les quantités résiduelles. Il n'est pas totalement exclu que certains colis soient plus difficiles à extraire que prévu. C'est pourquoi nous présenterons par la suite l'estimation des impacts sur la base des quantités résiduelles de contaminants avec l'objectif de retrait fixé, mais également dans une situation intermédiaire.

BLOC 11 : 3% du Hg total	Voie centrale	BLOC 21 : 13,6% du Hg total
BLOC 12 : 10,2% du Hg total		BLOC 22 : 56% du Hg total
BLOC 13 : 1,3% du Hg total		BLOC 23 : 14,2% Hg total
<i>Recoupe</i>		
BLOC 14 : 1,1% du Hg total	Voie centrale	BLOC 24 : 0,2% du Hg total
BLOC 15 (Rempli partiellement, incendie 2002) : 0,02% du Hg total		(BLOC 25 : bloc vide, pas de déchet)
(BLOC 16 : bloc vide, pas de déchet)		(BLOC 26 : bloc vide, pas de déchet)

Figure 47 : Répartition des masses de mercure dans les différents blocs du stockage (source : BMG).

Remarque :

Les déchets produits lors des opérations de déstockage (combinaisons, gants, masques, fûts vides comprimés, anciennes palettes souillées, etc.) seront entreposés dans l'un des blocs de stockage.

⁴⁴ L'administration (DREAL) a été informée de la décision de commencer le déstockage qui, pour être réalisé, 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).

3.1.3. Contaminants mobilisables dans la saumure

Préalablement à son stockage, chaque lot de déchets a été analysé afin de préciser sa composition. StocaMine dispose ainsi d'une base de données 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.

Les déchets sont sous forme solide, emballés dans des big-bags ou des fûts. **Après confinement du site, la seule possibilité de transfert de polluants depuis le stockage jusqu'au milieu superficiel est un passage de certains éléments dans la saumure (par dissolution) et, dans une très faible mesure, dans l'air de la mine (par dégazage), puis leur mobilisation jusqu'aux puits de mine.**

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. L'INERIS [56] a identifié 50 éléments considérés comme polluants mobilisables⁴⁵. **Tous les éléments ont été étudiés, seuls quelques-uns présentent à la fois un tonnage, une toxicité et une mobilité qui constituent un risque pour le milieu superficiel.**

A long terme, à l'issue de l'envoyage complet du système (cf. Figure 45) La concentration d'un polluant dans la saumure dépendra de la quantité présente dans le stockage au moment du confinement (c'est-à-dire après déstockage partiel) et des réactions possibles avec la saumure.

L'effet protecteur des emballages, fûts doublés ou munis de saches, big bags à double enveloppe, a été négligé. Il a été considéré que les emballages seront détruits à terme par la pression des terrains, mettant directement les déchets au contact de la saumure.

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.

Les concentrations à l'équilibre [56] ont été calculées avec le logiciel Visual MINTEQ et la base de données MINTEQ v3.0. et v.4. La modélisation géochimique 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.

⁴⁵ Ag, Al, As, Au, Ba, Bi, Br, Ca, Cd, Cl, Co, Cr, Cr hexavalent, Cs, Cu, CN, Eu, Fe, Ga, Ge, Hg, I, In, K, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Se, Si, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn, Zr.

Parmi les contaminants présents dans le stockage, 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 plus solubles : 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 (l'INERIS en identifie 13) et leurs concentrations associées sont présentés dans le tableau 25 ci-après.

Le volume de saumure dépend du volume résiduel de déchets. Ce paramètre et les équilibres géochimiques peuvent ainsi conduire à des concentrations plus élevées alors que la masse résiduelle est plus faible (cas du cadmium par exemple).

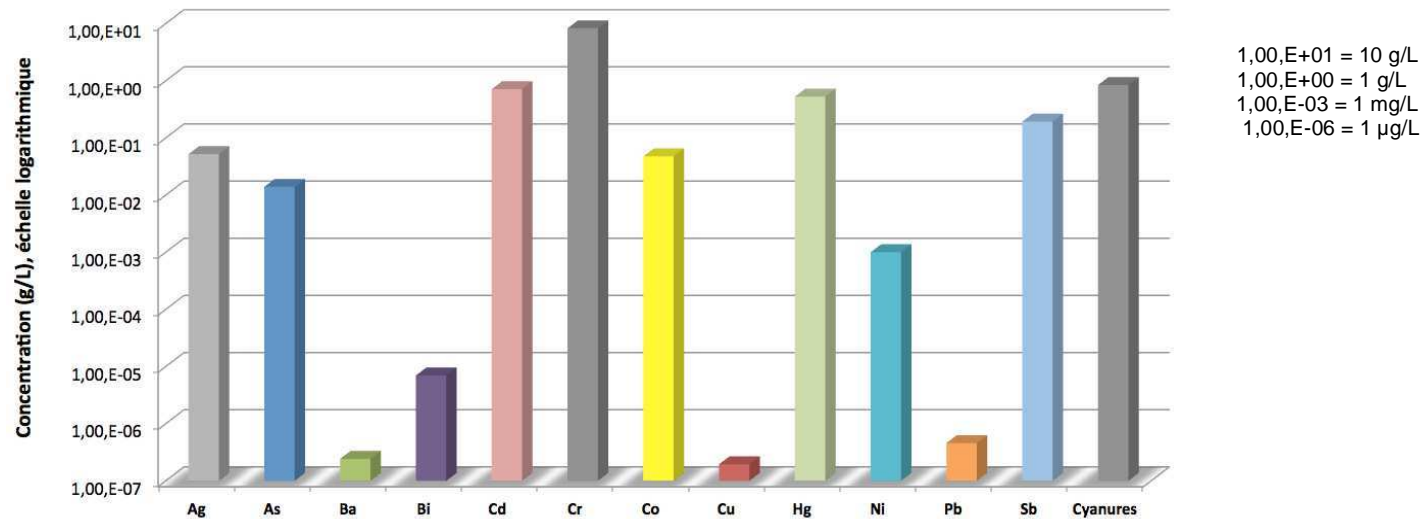
(note importante : en annexes des études INERIS on retrouve les calculs effectués pour tous les éléments).

		Sans déstockage		Avec déstockage intermédiaire (déstockage 56% du Hg total)		Avec déstockage 93% du Hg total	
Volume saumure (m ³)		7000		6213		5635	
Eléments		Masse stockée en 2002 (tonnes)	Concentration dans la saumure en g/L	Masse résiduelle (tonnes)	Concentration dans la saumure en g/L	Masse résiduelle (tonnes)	Concentration dans la saumure en g/L
Argent	Ag	2	3.88E-02	1,3	5.30E-02	1.2	5.20E-02
Arsenic	As	1 190	1.54E-02	335	1.42E-02	65	1.39E-02
Baryum	Ba	188	2.30E-07	183	2.39E-07	179	2.42E-07
Bismuth	Bi	78	6.95E-06	16	6.96E-06	2	6.96E-06
Cadmium	Cd	30	1.54E-03	20	1.56E-03	18	7.12E-01
Chrome	Cr	48	7.07E+00	46	7.07E+00	45	8.27E+00
Cuivre	Cu	85	1.93E-07	52	1.94E-07	47	1.95E-07
Mercur	Hg	51	7.52E+00	21	3.46E+00	3	5.26E-01
Nickel	Ni	31	3.05E-07	30	7.78E-07	29	1.00E-03
Plomb	Pb	214	4.53E-07	127	4.56E-07	99	4.57E-07
Antimoine	Sb	78	1.89E-01	26	1.92E-01	12	1.92E-01
Cyanures	CN	4.67	6.80E-01	4.67	7.67E-01	4.67	8.42E-01

Tableau 25 : Contaminants principaux, masses et concentrations dans le volume du stockage saturé de saumure.

Ces valeurs sont reportées sur le graphique logarithmique ci-dessous afin de faire ressortir les contaminants présentant les concentrations les plus élevées.

Saumure baignant StocaMine, concentrations potentielles des 13 contaminants principaux (avec déstockage préalable de 93% de la masse de Hg)



Graphique 8 : Concentration d'une saumure au contact des déchets.

Dans une saumure baignant les déchets sans déstockage partiel préalable, la concentration la plus élevée (**quelques g/L**) correspond au mercure (puis chrome, cyanure, étain).

Avec un déstockage de 93% de la masse initiale de mercure, la concentration la plus élevée (**quelques g/L**) correspond au chrome (puis cyanure, cadmium, mercure et étain, cf. graphique 8). Néanmoins, considérant la toxicité du mercure dans l'eau pour un usage eau potable, celui-ci reste le contaminant dominant.

Ce sont ces contaminants majoritaires dont l'impact sera présenté.

Dans les études INERIS [56] [57] et [80], les autres contaminants ont également été pris en compte ce qui a permis d'aboutir à la sélection présentée ci-dessus.

Remarque :

Les équipements, qui auront été souillés lors des opérations de déstockage s'ajouteront à la masse de déchets. Une estimation des masses de polluants associés a été réalisée par le maître d'œuvre en charge du déstockage pour MDP. Comme le déstockage ciblera les déchets arséniés et mercuriels, ce sont ces deux éléments (As, Hg) qui se retrouveront sur les équipements souillés et laissés au fond. Les quantités associées seront de moins de 120 kg d'arsenic (soit 0,12 tonne) et de moins de 1,4 kg de mercure (0,001 tonne). Ces déchets ne représenteront donc pas une masse significative de polluant par rapport aux déchets restants.

3.1.4. Contaminants mobilisables dans l'air (émissions gazeuses)

Après confinement du site, au sein du stockage, des émissions gazeuses pourraient se produire :

– **Au contact de l'air (avant que de la saumure puisse traverser les barrières de confinement) :**

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.

Des mesures ont été réalisées par l'INERIS en 2012 dans les galeries menant au stockage. Ces mesures sont présentées en détail dans le chapitre 3.3 consacré à l'air.

D'après les mesures réalisées dans les emballages des déchets, dans l'air de StocaMine⁴⁶ 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 pourraient 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.

⁴⁶ : 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_g) : dans l'eau concentration de $3,4 \cdot 10^{-35}$ M avec une pression partielle de Hg_g 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_g) : $2,8 \cdot 10^{-6}$ 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

Les études sur les phénomènes à prendre en compte pour le devenir du stockage (débits d'envoyage, vides et leur évolution, ...) ont mis en évidence la possibilité que le site souterrain soit progressivement envahi de saumure. Suite à cela, en considérant que tous les déchets restaient en place et qu'aucune disposition de confinement n'était prise, il a été démontré que les concentrations en certains contaminants pourraient dépasser dans le futur les actuelles valeurs seuils réglementaires de potabilité dans la nappe (si la saumure atteignant le stockage remontait jusqu'à la nappe par l'intermédiaire des puits de mine). C'est cette étude préliminaire qui a fait ressortir l'intérêt d'étudier la mise 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.

Le projet de fermeture a donc été établi sur la base d'un confinement du site par des barrières de faible perméabilité et les impacts de ce projet sur la nappe alluviale ont été étudiés les rapports INERIS suivants :

- Rapport INERIS n°DRC-12-108130-0044A [69]

La démarche adoptée par l'INERIS s'appuie sur l'étude géomécanique de l'évolution des vides. Cette étude permet de préciser les débits de saumure qui pourront sortir de la mine et de StocaMine, par phénomène de convergence et de compaction. Ces débits diminuent avec le temps, la modélisation de ces débits permet de les estimer à plusieurs échéances (300 ans, 500 ans, 1000 ans, ...).

L'effet des barrières est pris en compte pour définir l'échéance et donc les débits potentiels à prendre en compte.

Les concentrations en polluants calculées dans l'étude terme source sont ensuite associées aux débits de saumure potentiellement contaminée sortant du stockage et qui sont supposés atteindre directement la nappe alluviale. Une deuxième modélisation, réalisée par le BRGM 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.

L'étude a pris en compte la présence de tous les déchets avant confinement.

- Rapport INERIS n°DRC-13-140901-10732A [80]

Cette modélisation complémentaire présente les concentrations (terme source) évaluées après déstockage partiel. Les résultats en termes de concentrations potentielles dans la nappe sont également réévalués en tenant compte du déstockage partiel.

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

Pour modéliser le transfert de polluants issus du stockage, il a fallu :

- modéliser les phénomènes intervenant au sein des travaux miniers et du stockage souterrain, qui sont à l'origine des débits qui pourraient atteindre la nappe alluviale,
- modéliser les écoulements dans la nappe d'Alsace pour préciser les concentrations qui pourraient atteindre la nappe alluviale.

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 remontant depuis la mine de potasse vers la nappe d'Alsace sous l'effet de la compaction des travaux miniers (autrement dit cela dépend également de la dilution intervenant entre la saumure polluée de StocaMine et la saumure non polluée de la mine). Ce débit est considéré comme mode de transport de la saumure polluée sortant du stockage.

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. Pour plus de détails, se référer à l'étude géomécanique de l'INERIS DRS-10-108130-14273A [53].

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.

Lorsqu'un vide est créé dans un massif de sel, pour modéliser la fermeture de cette cavité il faut prendre en compte les contraintes dans le massif et la réponse des matériaux qui remplissent en partie le vide créé (dans notre cas : les voies de desserte de la mine de potasse ont été laissées vides, les tailles sont remplies des matériaux foudroyés, les galeries de stockage ont été remplies de déchets, les secteurs déstockés seront remblayés ainsi que les galeries d'accès du stockage).

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 48).

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 .

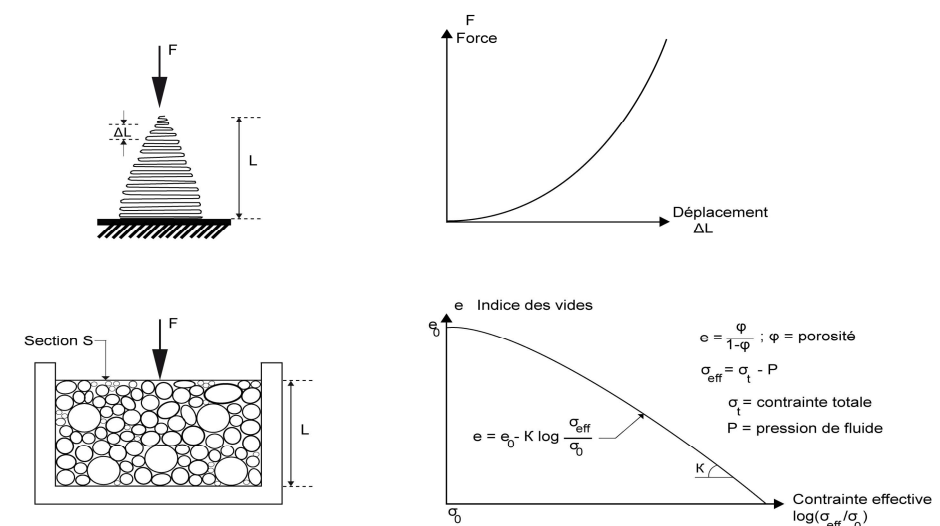


Figure 48 : Schéma de principe du modèle de compaction utilisé

Toutefois **les terrains de foudroyage (présents dans la mine) représentent un cas particulier car les blocs qui les constituent sont pour moitié 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.**

L'INERIS n'a pas pris en compte le comportement des remblais qui seront mis en place dans les galeries du stockage. Ceci a été étudié postérieurement par ITASCA (permettant de mettre en avant un rôle important pour retarder l'avancée de la saumure dans la zone de stockage).

(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'envoyage et atteindra environ 6 MPa à la fin de l'envoyage (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'envoyage 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'envoyage** (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 (piliers⁴⁷, 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 facteurs⁴⁸ : 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'envoyage 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 DU STOCKAGE VERS LA MINE

Une fois le stockage 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 noyau de faible perméabilité des barrières sera extrêmement faible (pour un noyau en bentonite : inférieure à 10⁻¹⁸ m²). 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.

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 serait pas restreint par les barrières et s'établirait 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'entrée de la saumure dans le stockage et faire durer son remplissage. Ceci permettra que les déchets soient déjà fortement compactés avant que la saumure ne vienne exercer une (contre)pression limitant la contrainte dans le stockage. Si le phénomène de compaction a eu lieu majoritairement avant l'arrivée de la saumure, les débits associés seront extrêmement faibles.

⁴⁷ : 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.

⁴⁸ : 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.

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 premier 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, à commencer par les vides entre parois et déchets qui n'existeront plus à l'arrivée de la saumure. 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 phénomènes ne sont pas linéaires et la compaction par unité de temps est plus forte à 300 ans qu'à 500 ans ou à 1000 ans. 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. Ce débit sera alors suffisamment faible pour que les flux associés de polluants (débit x concentration) n'aient pas d'impact sur la nappe alluviale, même dans l'hypothèse initiale où l'ensemble des déchets étaient maintenus dans le stockage. C'est donc cette échéance qui a été 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'envoyage du stockage pour que les vitesses de compaction résiduelle des vides y soient très faibles. C'est ce qui a fixé l'objectif du confinement.

En tenant compte de tous les déchets qui avaient été stockés (c'est-à-dire sans intégrer la réduction de masses de polluants que permettra le déstockage partiel), un objectif de résistance hydraulique de 1000 ans a été fixé pour le dimensionnement des barrières de confinement.

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 permettraient 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 envoi. La saumure 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. Le débit total d'épanchement de saumure par les 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.

L'INERIS précise que la saumure potentiellement contaminée par une circulation dans les galeries de stockage sortira très probablement uniquement par les ouvrages d'exploitation qui sont à la fois les plus hauts du secteur ouest et les plus proches du site de stockage c'est-à-dire par les 5 puits de la mine Amélie.

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. Pour étudier l'impact du stockage, seuls les débits de ces 5 puits sont présentés ci-après.

Les débits de fuite de saumure (saumure totale, c'est-à-dire tout d'abord sans trace de contaminant) à travers les 5 puits retenus 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 (avec l'hypothèse simplificatrice de remblayages équivalents).

La représentation graphique de ces mêmes valeurs (figure 49) 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.

Temps* (an)	Débits de saumure (et non de saumure polluée), en m ³ /an					Cumul 5 puits
	Joseph	Else	Amélie 1	Amélie 2	Max	
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 par les 5 puits de la mine Amélie soit vers l'an 2300

Tableau 26 : Répartition des débits d'épanchement de saumure (mine) pour les 5 puits autour de StocaMine (en m³/an) [62].

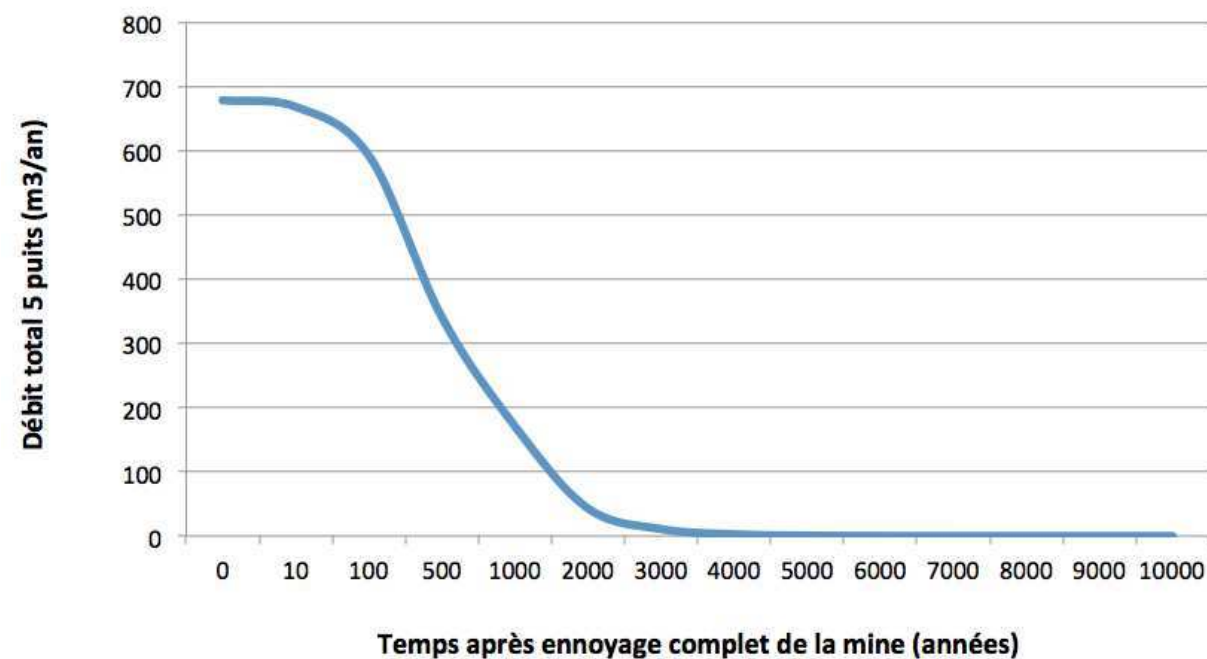


Figure 49 : Débit d'épanchement de saumure (mine) pour les 5 puits de mine autour de StocaMine.

Indépendamment de l'existence du site de stockage de déchets, la mine de potasse pourrait produire des épanchements de saumure à la base des alluvions de la plaine d'Alsace, au niveau des anciens puits de mine. Les débits associés sont estimés sur la base des équations de fermeture des vides résiduels dans la mine (lois de géomécanique). Au moment où ils pourront débiter, c'est-à-dire une fois seulement que la mine serait totalement remplie de saumure, ces débits seront faibles (mine Amélie : 120 à 150 m³/an autour d'un puits).

e - DEBITS DE SAUMURE POLLUEE

La compaction des vides se ralentissant avec la présence de saumure (effet de contre-pression), la compaction résiduelle au sein du stockage sera très faible une fois que la mine sera pleine de saumure. Par ailleurs la compaction résiduelle diminuera avec le temps.

Comme pour les débits de saumure saine, il est possible de déterminer les volumes de saumure polluée mobilisables en fonction du temps, sur la base des lois géomécaniques retenues.

La saumure qui remplira la mine ne pourra envahir les déchets que si elle atteint les galeries de stockage (point haut du système minier) et qu'elle traverse les barrières de confinement.

Dans le scénario de référence, avec barrières de confinement, la saumure polluée ne peut passer dans la mine qu'au bout de 1000 ans.

L'INERIS a travaillé directement sur le ratio entre débit de saumure saine et débit de saumure polluée. Les débits mobilisables de saumure polluée diminuent plus rapidement que les débits mobilisables de saumure saine, une sortie plus tardive de saumure polluée augmente ainsi l'effet de dilution de la saumure de la mine.

Le débit de saumure polluée est donné par la loi de compaction des déchets. L'INERIS a travaillé directement sur le rapport entre débit de saumure saine et débit de saumure polluée.

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.

a - MODELE UTILISE

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 calculées⁴⁹ 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]).

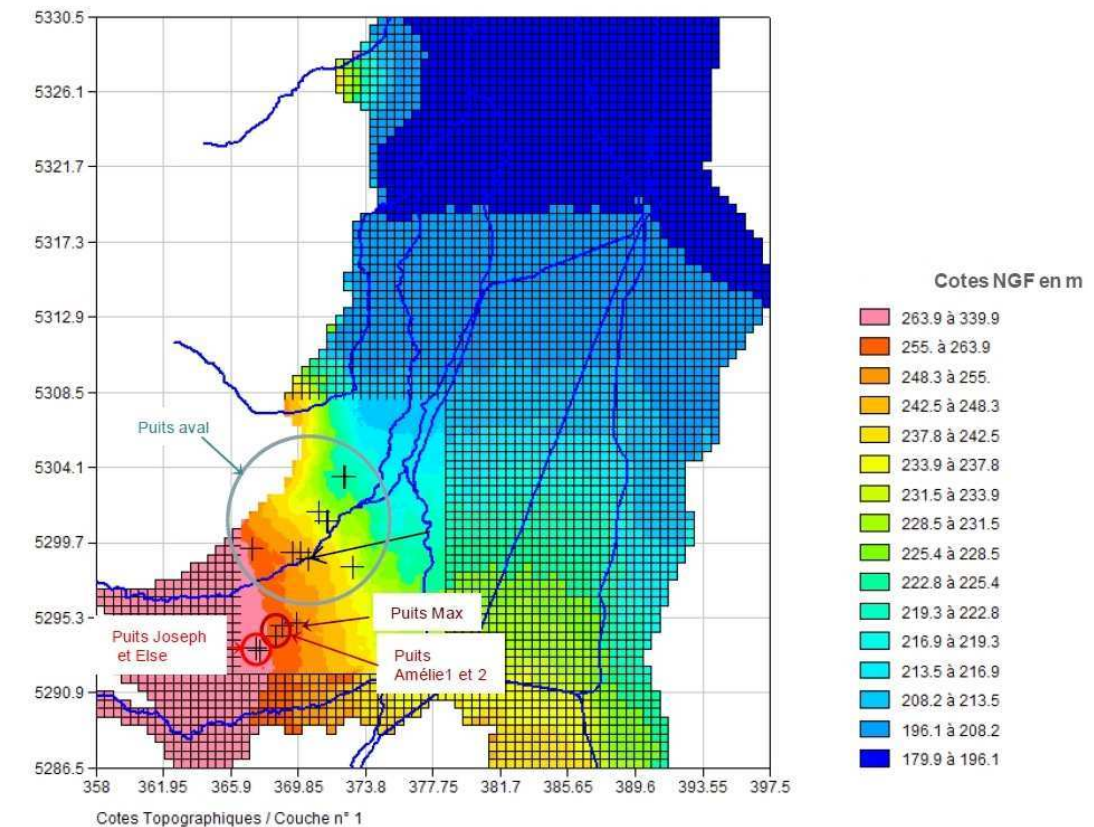


Figure 50 : Carte illustrant la discrétisation horizontale du modèle régional (maillage gigogne sur le bassin potassique) [62].

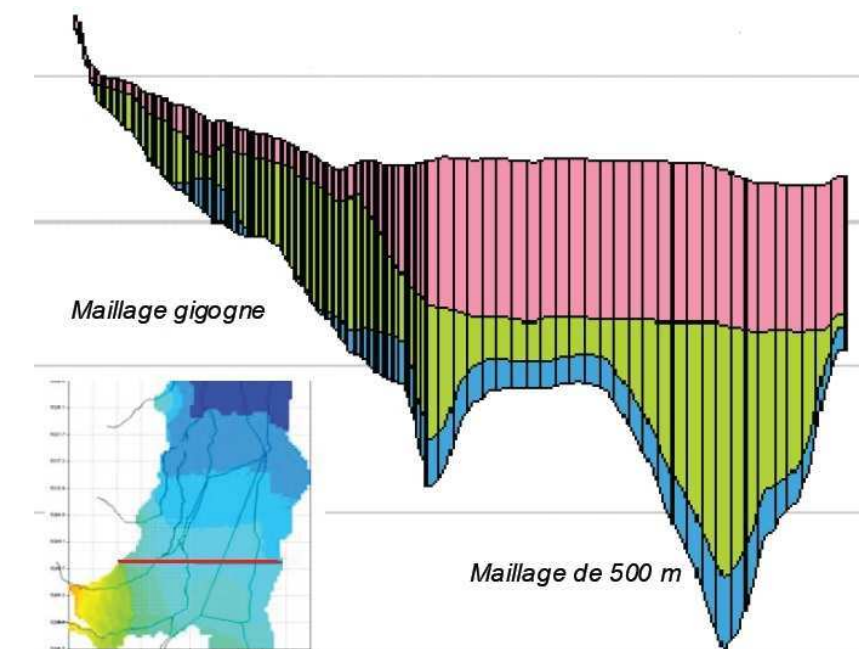


Figure 51 : Coupe ouest/est illustrant la discrétisation verticale du modèle régional (3 couches d'alluvions) [62].

⁴⁹ : Il s'agit ici de la saumure issue du relargage par les terrils de sel.

b - DEROULEMENT DE LA MODELISATION

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.

c - HYPOTHESES RETENUES

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 2010⁵⁰ (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 26).
- 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.

⁵⁰ : 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

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. Ce type de disposition n'a pas été considéré 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 cadre ICPE).

Les concentrations obtenues par le modèle sont donc 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 potable⁵¹.

⁵¹ : 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

Les modélisations prédictives décrites précédemment conduisent à évaluer une **situation sur le long terme, dans un temps compris entre plusieurs siècles et quelques milliers d'années.**

Pour qualifier l'impact potentiel du projet sur la nappe alluviale d'Alsace deux approches complémentaires ont donc été suivies, en comparant la qualité des eaux de la nappe après l'arrivée de saumure contaminée en surface :

- avec la qualité de **l'environnement local témoin initial.**

Cette première comparaison permet de mettre en évidence (ou non) 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.

- avec les **critères d'origine réglementaire actuellement en vigueur.**

Cette deuxième comparaison se base sur des critères qui pourraient évoluer en fonction des réglementations à venir, mais en retenant le cas d'usages de l'eau à l'aval proche des puits de mine (ce qui n'est pas le cas actuellement) elle permet d'approcher plus concrètement les impacts potentiels du projet.

Le choix des composés présentés dans les paragraphes suivants est issu des études préalables qui ont permis d'identifier les éléments les plus critiques parmi la cinquantaine de polluants présents.

Outre les cyanures totaux, les éléments traces métalliques (ETM) retenus *in fine* dans le calcul du terme source (et donc de l'impact) 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).

Eaux souterraines - Environnement local témoin :

Il s'agit de préciser la qualité de la nappe avant installation de StocaMine et/ou hors zone d'influence d'une contamination issue de l'installation.

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 (cf. chapitre 2.1.4.2.b -).

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 MDPAs, 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.

Les campagnes de suivi postérieures au démarrage de l'activité, (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 pz3 situé en amont de StocaMine, constituent ainsi un premier référentiel de comparaison. Elles sont reportées dans le tableau 27 ci-contre. On constate que les concentrations sont très souvent inférieures aux limites de quantification des méthodes d'analyse mises en œuvre.

Parmi ces différents résultats, pour chaque élément, la valeur de référence pour qualifier l'environnement local a été retenue de la manière suivante :

- lorsque plusieurs valeurs dépassent le seuil de quantification : c'est la valeur maximale mesurée qui est retenue (par exemple pour le cadmium 0,7 µg/L),
- lorsqu'aucune valeur n'a dépassé le seuil de quantification du suivi : la valeur de référence est considérée équivalente à la Limite de Quantification (LQ) la plus élevée et la plus fréquente (par exemple pour l'arsenic 10 µg/L).

Eaux souterraines - Critères d'origine réglementaire :

En situation actuelle, il n'y a pas d'usage de l'eau recensés à l'aval proche des 5 puits de la mine Amélie (cf. 2.1.4.2.a - , Figure 20).

Afin de préciser si le projet pourrait limiter des usages sensibles de l'eau souterraine, les critères de qualité d'origine réglementaire existants et liés à ces usages sont à retenir, avec deux textes fixant des valeurs de référence pour quelques-uns seulement des métaux présentés précédemment :

- Arrêté du 11 janvier 2007⁵² 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 2008⁵³ 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).

Piézomètre 3 amont	Arsenic	Cadmium	Chrome	Cuivre	Cyanures libres	Mercure	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
05/2013	<10	<0,5	<10	<2	<0,01	<0,05	2	<5
11/2013	<10	<0,5	<2	<2	<0,01	<0,05	<2	<5
05/2014	<15	<5	<5	<10	<0,05	0,18	<5	12

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 27 : Concentrations de l'environnement local témoin, mesures concernant la partie supérieure de la nappe (état initial puis suivi de 1998 à 2012).

⁵² : 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.

⁵³ : 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.

Remarque sur les autres critères d'origine réglementaires (cours d'eau) :

Les seuils de l'arrêté du 25 janvier 2010⁵⁴ précisent les critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux superficielles. Toutefois ces grilles qui concernent les cours d'eau ne peuvent pas être utilisées directement pour qualifier la nappe alluviale car il faudra prendre en compte deux dilutions successives avant que la saumure contaminée ne puisse atteindre les cours d'eau :

- 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.

De ce fait, les critères de qualité réglementaires retenus portent sur le milieu eau souterraine et sont récapitulés dans le tableau 28).

Bilan des critères de comparaison :

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. Les seuils ainsi retenus sont présentés dans le tableau 28 ci-contre.

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.

Paramètre	As	Ba	Cd	Cl	CN	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	
Unité	µg/L	µg/L	µg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	
Critères de qualité environnement local témoin	<10 (LQ) Soit <1E+01	nm	0,7 Soit 7E-01		<10 (LQ) Soit <1E+01	7 Soit 7E+00	7,2 Soit 7,2E+00	0,2 Soit 2E-01	3,7 Soit 3,7E+00	13 Soit 1,3E+01	nm	
Critères de qualité d'origine réglementaire	Arrêté du 11/01/2007 (lié usage AEP), limite de qualité	10 (1) Soit 1E+01	700 Soit 7E+02	5 Soit 5E+00		50 Soit 5E+01	50 Soit 5E+01	2000 Soit 2E+03	1 Soit 1E+00	20 Soit 2E+01	10 (2) Soit 1E+01	5 Soit 5E+01
	Arrêté du 11/01/2007 (lié usage AEP), référence de qualité				250			1000 Soit 1E+03				
	Arrêté du 17/12/2008 (lié DCE)	10 Soit 1E+01	-	5 Soit 5E+00		-	-	-	1 Soit 1E+00	-	10 Soit 1E+01	-

nm : non mesuré

< X : inférieur à la limite de quantification (LQ)

- : sans valeur

(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 28 : 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.

⁵⁴ : 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.

3.2.3. Concentrations calculées dans la nappe d'Alsace et évaluation de l'impact sur la ressource en eau

3.2.3.1. Rappel du projet, hypothèses retenues

Pour les calculs d'impact, les éléments importants du projet sont :

- Avant confinement : déstockage partiel pour réduire la masse de mercure stockée, avec un objectif de réduction de 93% de la masse de mercure,
- Confinement : barrières de très faible perméabilité permettant de retarder de 1000 ans la sortie potentielle de saumure polluée du stockage souterrain.

Ce scénario constitue le scénario de référence.

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.

3.2.3.2. Concentrations maximales induites dans la nappe : l'aval immédiat des puits de mine

Comme la sortie de saumure polluée se ferait par l'intermédiaire des puits de mine, c'est à leur aval immédiat que les concentrations dans la nappe alluviale seraient les plus élevées. Plus en aval, le volume et le flux d'écoulement de la nappe assurera un effet de dilution.

Le modèle hydrodynamique du BRGM a permis d'évaluer la concentration dans les mailles du modèle (125 m x 125 m) représentant chacun des puits Joseph, Else, Amélie 1, Amélie 2 et Max (cf. localisation des puits et taille de ces mailles sur la figure 52).

Comme indiqué précédemment, le modèle comprend 3 couches, avec des paramètres hydrodynamiques légèrement différents. Trois concentrations sont ainsi calculées :

- dans le niveau le plus proche de la surface (C1),
- dans le niveau intermédiaire (C2),
- dans le niveau profond, à la base de la nappe (C3).

A l'aplomb du puits Max, la nappe n'est constituée que de deux niveaux (le niveau C3 n'existe pas).

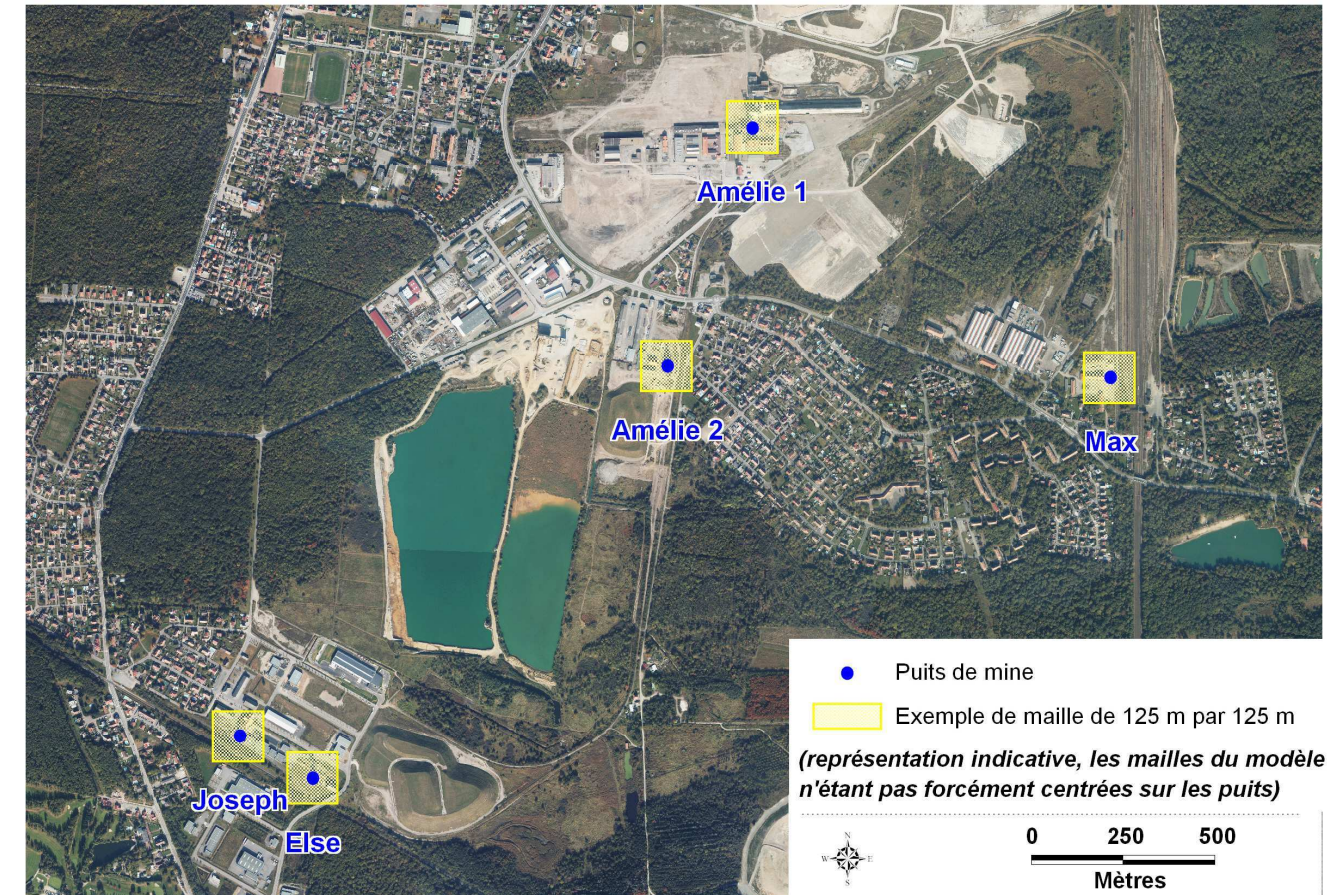


Figure 52 : Position des puits "de la mine Amélie" (Joseph, Else, Amélie 1 et 2, Max).

Les concentrations calculées au niveau des mailles-puits sont présentées dans le tableau 29. Les deux premières lignes rappellent les valeurs de comparaison : les valeurs maximales de l'environnement local témoin (cf. tableau 27) et les seuils d'origine réglementaire actuels (cf. tableau 28).

On constate que :

- c'est à la base de la nappe (niveau profond, couche C3) que les concentrations seront les plus élevées,
- les concentrations au niveau du puits Amélie 1 seront potentiellement plus élevées qu'autour des quatre autres puits, ce qui s'explique par les paramètres hydrodynamiques de cette zone, par le fait que le puits Amélie 1 est en aval du puits Amélie 2, mais également par un débit d'injection plus élevé du fait du diamètre plus important de ce puits,
- les concentrations les plus élevées (quelques centièmes de microgrammes par litre seulement) concerneraient le chrome et les cyanures,
- **toutes les concentrations calculées sont très inférieures aux critères de qualité (comme on peut le visualiser sur les graphiques de la figure 53).**

Concentrations (en µg/L)											
Puits	Critères de qualité environnement local témoin	<1E+01 (LQ)	nm	0,7E-01	<1E+01 (LQ)	7E+00	7,2E+00	2E-01	3,7E+00	1,3E+01	nm
	Critères de qualité d'origine réglementaire	1E+01	7E+02	5E+00	5E+01	5E+01	1E+03	1E+00	2E+01	1E+01	5E+00
	Niveau dans la nappe alluviale	As	Ba	Cd	CN	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb
Joseph	C1 (supérieur)	7,24E-06	1,26E-10	3,71E-04	4,40E-04	4,32E-03	1,02E-10	2,82E-04	5,21E-07	2,39E-10	1,00E-04
	C2 (intermédiaire)	1,09E-05	1,90E-10	5,56E-04	6,64E-04	6,52E-03	1,54E-10	4,25E-04	7,90E-07	3,60E-10	1,51E-04
	C3 (profond)	1,20E-04	2,09E-09	6,15E-03	7,28E-03	7,16E-02	1,69E-09	4,67E-03	8,66E-06	3,95E-09	1,67E-03
Else	C1 (supérieur)	7,56E-06	1,32E-10	3,88E-04	4,59E-04	4,52E-03	1,07E-10	2,94E-04	5,48E-07	2,49E-10	1,05E-04
	C2 (intermédiaire)	1,52E-05	2,64E-10	7,77E-04	9,21E-04	9,05E-03	2,14E-10	5,90E-04	1,10E-06	5,00E-10	2,10E-04
	C3 (profond)	1,26E-04	2,21E-09	6,47E-03	7,69E-03	7,56E-02	1,79E-09	4,93E-03	9,15E-06	4,18E-09	1,76E-03
Amélie 1	C1 (supérieur)	1,33E-05	2,31E-10	6,84E-04	8,09E-04	7,94E-03	1,88E-10	5,18E-04	9,61E-07	4,39E-10	1,85E-04
	C2 (intermédiaire)	4,59E-05	8,02E-10	2,36E-03	2,79E-03	2,75E-02	6,48E-10	1,79E-03	3,31E-06	1,51E-09	6,38E-04
	C3 (profond)	1,87E-04	3,26E-09	9,62E-03	1,14E-02	1,12E-01	2,64E-09	7,27E-03	1,35E-05	6,17E-09	2,59E-03
Amélie 2	C1 (supérieur)	5,98E-06	1,04E-10	3,07E-04	3,63E-04	3,57E-03	8,42E-11	2,33E-04	4,33E-07	1,97E-10	8,28E-05
	C2 (intermédiaire)	1,59E-05	2,77E-10	8,14E-04	9,62E-04	9,46E-03	2,23E-10	6,17E-04	1,14E-06	5,23E-10	2,19E-04
	C3 (profond)	1,00E-04	1,75E-09	5,13E-03	6,08E-03	5,98E-02	1,41E-09	3,90E-03	7,21E-06	3,30E-09	1,39E-03
Max	C1 (supérieur)	2,33E-05	4,06E-10	1,19E-03	1,41E-03	1,39E-02	3,28E-10	9,09E-04	1,68E-06	7,68E-10	3,23E-04
	C2 (intermédiaire)	1,62E-04	2,83E-09	8,32E-03	9,84E-03	9,67E-03	2,28E-09	6,31E-03	1,17E-05	5,35E-09	2,25E-03
	C3 (profond)	Pas de niveau 3 à l'aplomb du puits Max									

nm : non mesuré

< X : inférieur à la limite de quantification (LQ)

7,27E-03 Facteur de sécurité le plus faible (environ 30)

Tableau 29 : Valeurs de concentrations moyennes calculées dans la première maille du modèle, après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans, prise en compte du retrait préalable de 93% de la masse de mercure et confinement du stockage)

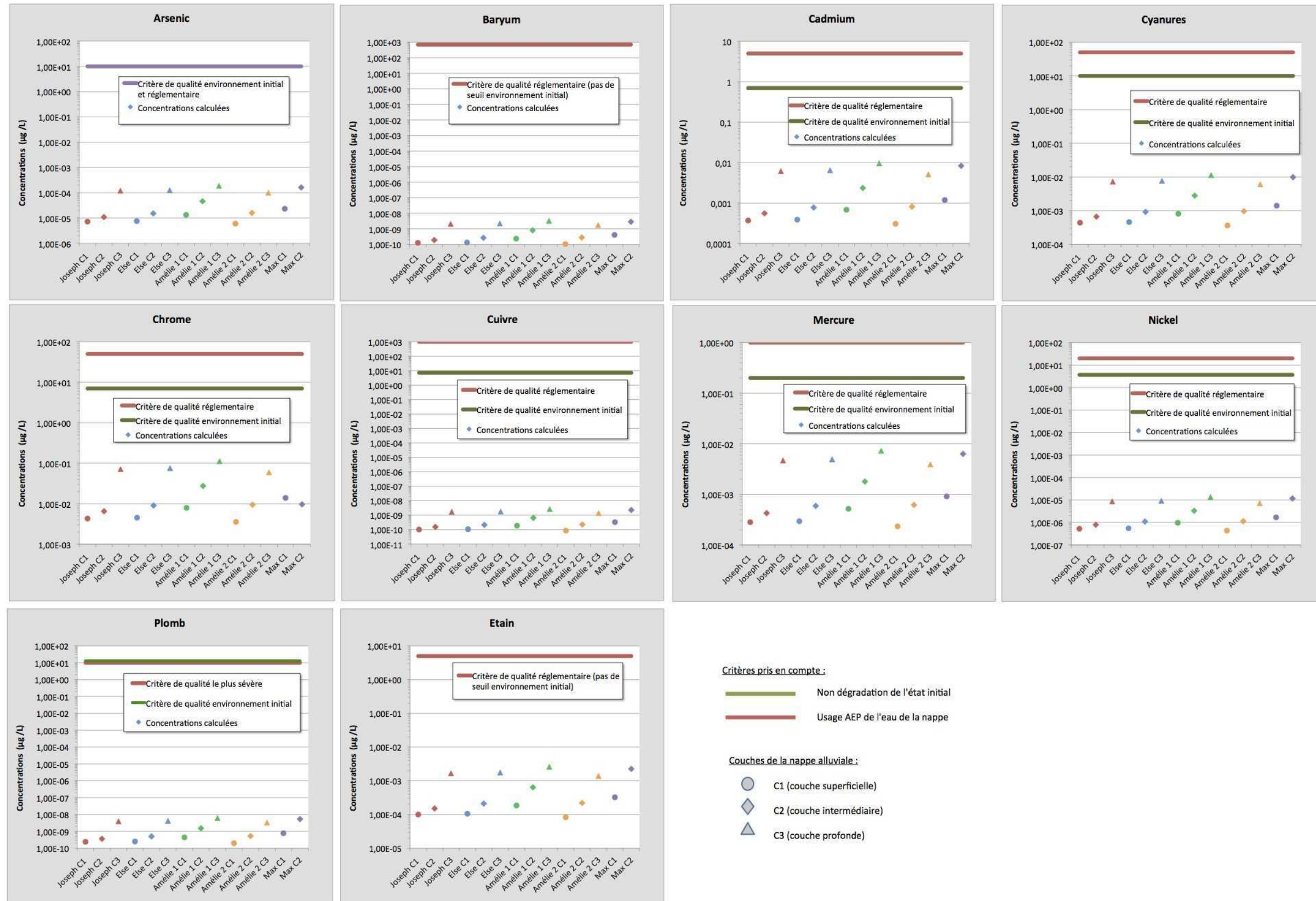


Figure 53 : Illustration des concentrations moyennes calculées dans les mailles-puits du modèle (125 mx 125 m) après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches pour les 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans).

Les écarts entre les critères de qualité retenus et les concentrations sont variables, **en retenant le critère le plus contraignant** (très souvent le critère lié à l'environnement initial et non le critère réglementaire) : cet écart représente un facteur de plus de 10^8 pour le baryum, le cuivre, le plomb, 10^4 pour le nickel ou l'arsenic, 10^3 pour les cyanures, 10^2 pour le chrome et l'étain, 30 pour le mercure dans la partie basse de la nappe, mais 10^2 dans la partie superficielle.

Les barrières de confinement sont prévues pour que l'épanchement de saumure dans la nappe ne se produise qu'au bout de 1000 ans.

La comparaison des concentrations maximales induites dans la nappe à cette échéance à proximité immédiate des puits avec l'environnement local témoin et avec les seuils d'origine réglementaire indique une absence d'impact du stockage sur la qualité des eaux souterraines.

Remarques :

- Rappelons la recommandation formulée par l'INERIS en conclusion de son rapport en 2011 : « 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 sur le 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 dans un rayon qui devra être précisé par une étude spécifique. »
- Dans le cas d'un scénario dégradé prenant en compte des barrières de confinement retardant la sortie de saumure polluée de seulement 300 ans les concentrations calculées dans la nappe, bien que supérieures à celles observées au moment de la création de StocaMine restent inférieures aux normes de potabilités (voir page 154).

3.2.3.3. Panache de dispersion dans la nappe

Les concentrations présentées précédemment correspondent à la première maille de modèle représentant l'environnement immédiat des puits (maille de 125 m x 125 m). La dispersion des contaminants plus en aval dans la nappe a ensuite été modélisée. Le panache de concentration calculé pour la couche 3 et pour le mercure est présenté sur la figure 54 (les autres couches et les autres éléments chimiques sont tous en situation moins critique).

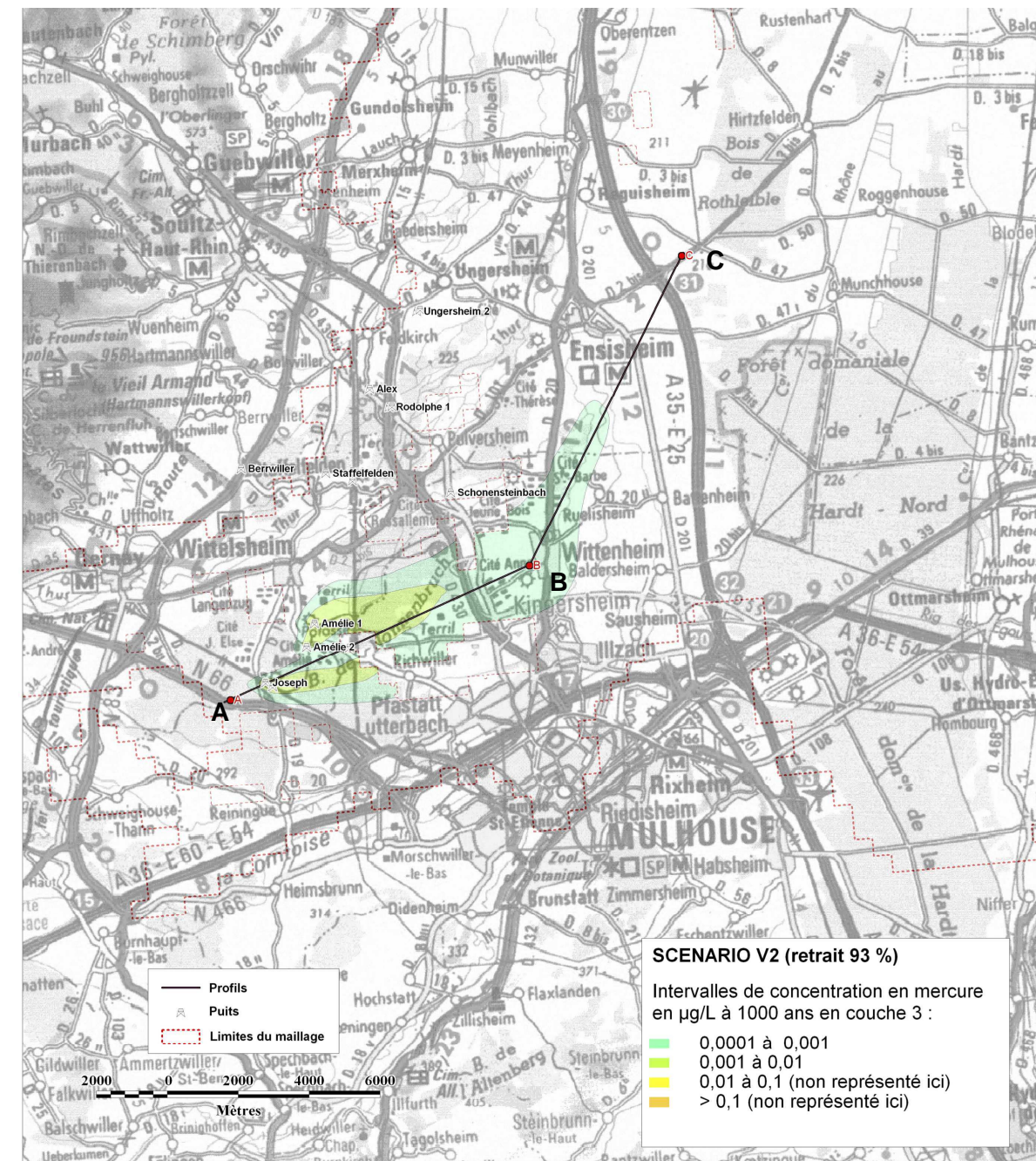


Figure 54 : Panache de dispersion des concentrations en mercure dans la nappe alluviale en couche 3, scénario avec retrait de 93% du mercure et barrière de confinement [78].

Cette carte présente les concentrations obtenues dans le cas d'un épanchement de saumure polluée se produisant au bout de 1000 ans à partir des 5 puits de la mine Amélie (scénario appelé dans la légende scénario V2).

Le panache est un peu irrégulier car la couche 3 n'est pas présente autour du puits Max. C'est dans cette couche profonde que les concentrations seraient les plus élevées (tout en restant inférieures au critère de qualité de référence).

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 ».

Un profil de concentration (A-B-C représenté en trait noir sur la figure 54) a été tracé afin d'étudier l'évolution des concentrations depuis la zone des puits jusqu'en aval hydraulique lointain. Ce profil intègre l'évolution des concentrations suivant l'axe d'écoulement principal issu des puits de mine. Il passe par le puits Joseph (3 couches présentes) et le puits Max (lacune de la couche inférieure). Le profil montre (ce qui est valable dans toutes les couches et pour tous les contaminants), de l'amont vers l'aval :

- une décroissance des concentrations depuis le puits Joseph,
- puis des valeurs plus importantes à hauteur du puits Max du fait du cumul de l'influence du puits Joseph et de la sortie de saumure des autres puits.

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 $>10^2$ au niveau des puits puis un facteur $>10^3$ à hauteur du point B et un facteur $>10^5$ au point C, avant d'atteindre Ensisheim).

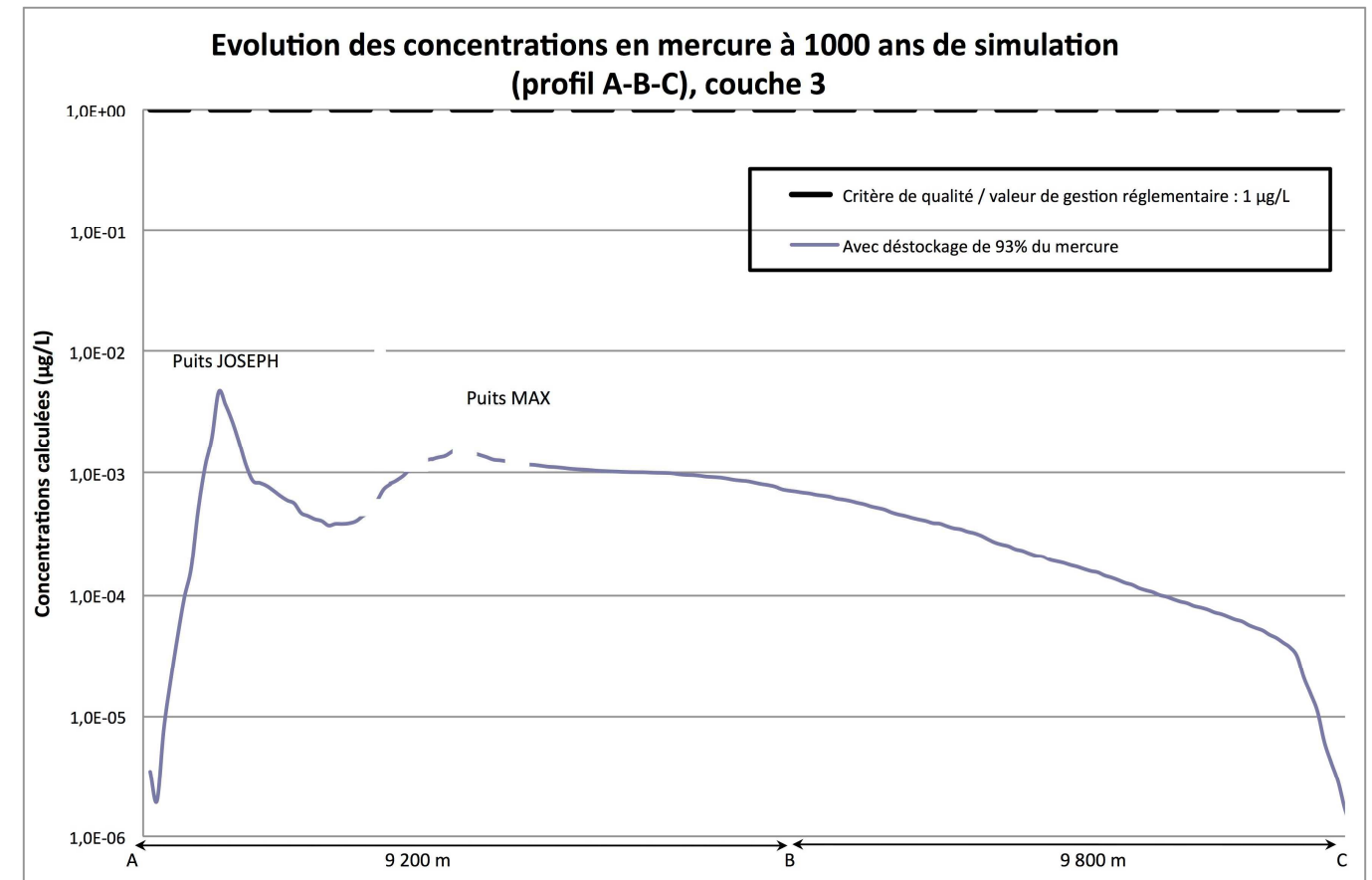


Figure 55 : Evolution des concentrations en mercure de simulation le long du profil A-B-C dans la couche profonde, avec déstockage 93%, sortie à 1000 ans.

En cas de sortie de polluant par les puits de mine, les concentrations dans la nappe diminueront en s'éloignant des puits pour atteindre rapidement des valeurs non mesurables.

3.2.3.4. L'évolution à très long terme

La situation la plus défavorable correspond à la période où débute la sortie de saumure polluée, car ensuite les débits mobilisables depuis le stockage souterrain diminuent au fil du temps.

La figure 56 (INERIS) illustre ainsi la décroissance dans le temps des concentrations en mercure dans les trois couches de la nappe et particulièrement dans la couche 3 à la base de la nappe, dans la maille du puits Amélie 1 (secteur où les concentrations les plus élevées pourraient être observées). Sur les graphiques ci-après le temps est compté à partir du moment où la saumure polluée sort par les puits de mine.

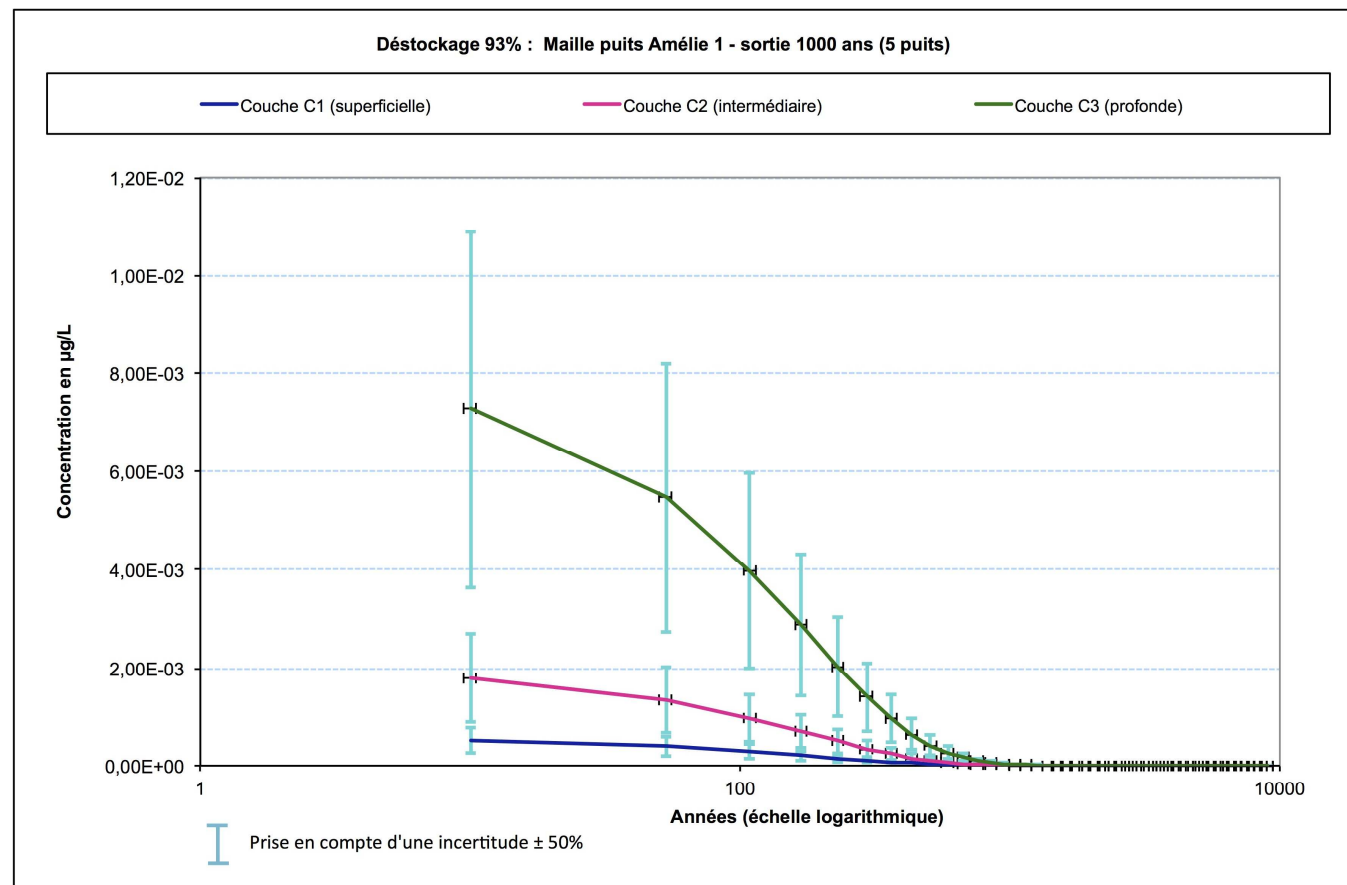


Figure 56 : Décroissance des concentrations en mercure au fil du temps (puits Amélie 1), période 0 – 10000 ans. Déstockage 93%, sortie à 1000 ans.

La figure 57 reprend les résultats sur une échelle de temps linéaire zoomée sur la période suivant immédiatement l'apparition de polluants.

Le critère de référence 1998 (0,2 µg/L pour le mercure) n'apparaît pas sur ces courbes car supérieur d'un facteur 10 à l'échelle des graphiques.

Pour tous les autres paramètres, la décroissance au fil du temps est similaire.

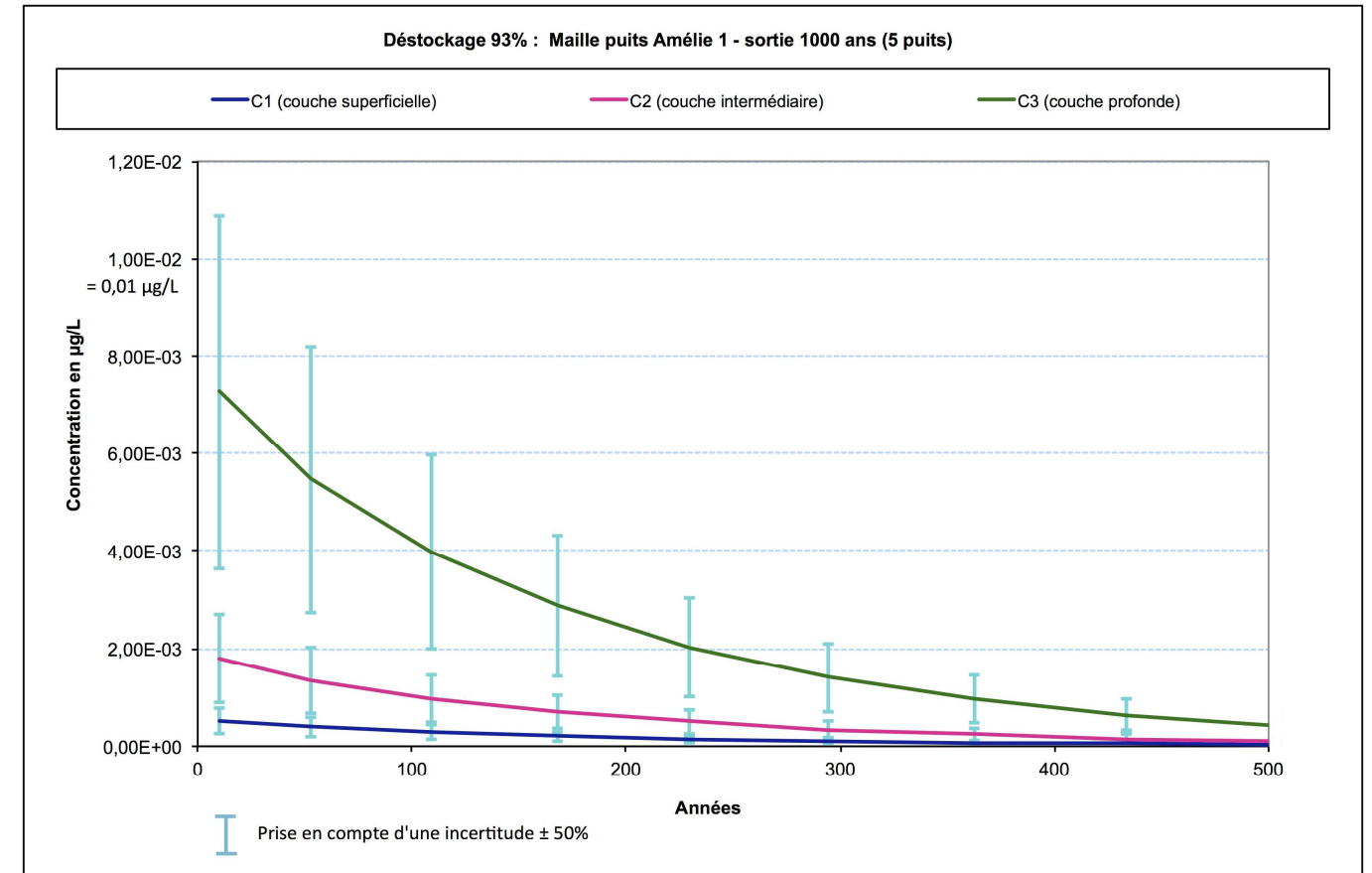


Figure 57 : Zoom sur la décroissance des concentrations en mercure au fil du temps (puits Amélie 1), période 0 – 500 ans. Déstockage 93%, sortie à 1000 ans.

En cas de sortie de polluants par les puits de mine, la situation la plus défavorable correspond aux premières années après les premiers épandements de polluants. Les concentrations diminueront ensuite au fil du temps.

3.2.3.1. Remarque sur les chlorures (sans lien avec le stockage)

L'épanchement de saumure est lié **au contexte minier et n'est pas lié à la présence du stockage de déchets**. Il commencera à se produire à la fin de l'ennoyage de la mine (environ 300 ans) et bien avant l'apparition de la saumure polluée.

La modélisation de la nappe réalisée par le BRGM [62] a permis d'évaluer les panaches de concentration en chlorures qui seront potentiellement générés au niveau de chaque ancien puits des MDPa à la fin de l'ennoyage de la mine.

Les concentrations maximales dans la nappe seront atteintes les premières années suivant ces émergences de saumure, les concentrations diminueront ensuite.

Les valeurs maximales de concentration dans la nappe calculées pour la mine Amélie sont présentées dans le tableau 30.

Concentration maximale en chlorures dans la première maille en aval de chaque puits					
Puits	Joseph	Else	Amélie 1	Amélie 2	Max
Couche 1	< 75 mg/L	< 75 mg/L	< 75 mg/L	< 75 mg/L	< 75 mg/L
Couche 2	< 75 mg/L	< 75 mg/L	< 75 mg/L	< 75 mg/L	266 mg/L
Couche 3	198 mg/L	209 mg/L	309 mg/L	165 mg/L	

Tableau 30 : Concentrations en chlorures à 300 ans (premières sortie de saumure) [62]

Les teneurs en chlorures seront inférieures au seuil de potabilité à l'aval immédiat de chacun des puits dans la couche superficielle de la nappe. Ce n'est que localement, à l'aval des puits Max et Amélie 1 que le seuil de potabilité (250 mg/L) serait dépassé, et uniquement dans la couche profonde.

L'INERIS a également réalisé un profil de concentration dans l'axe principal du panache qui cumule les sorties de tous les puits. La figure 58 présente le profil obtenu d'amont en aval dans la couche profonde (où les concentrations sont les plus élevées).

Les concentrations décroissent très rapidement avec la dilution des émergences de saumure par la nappe.

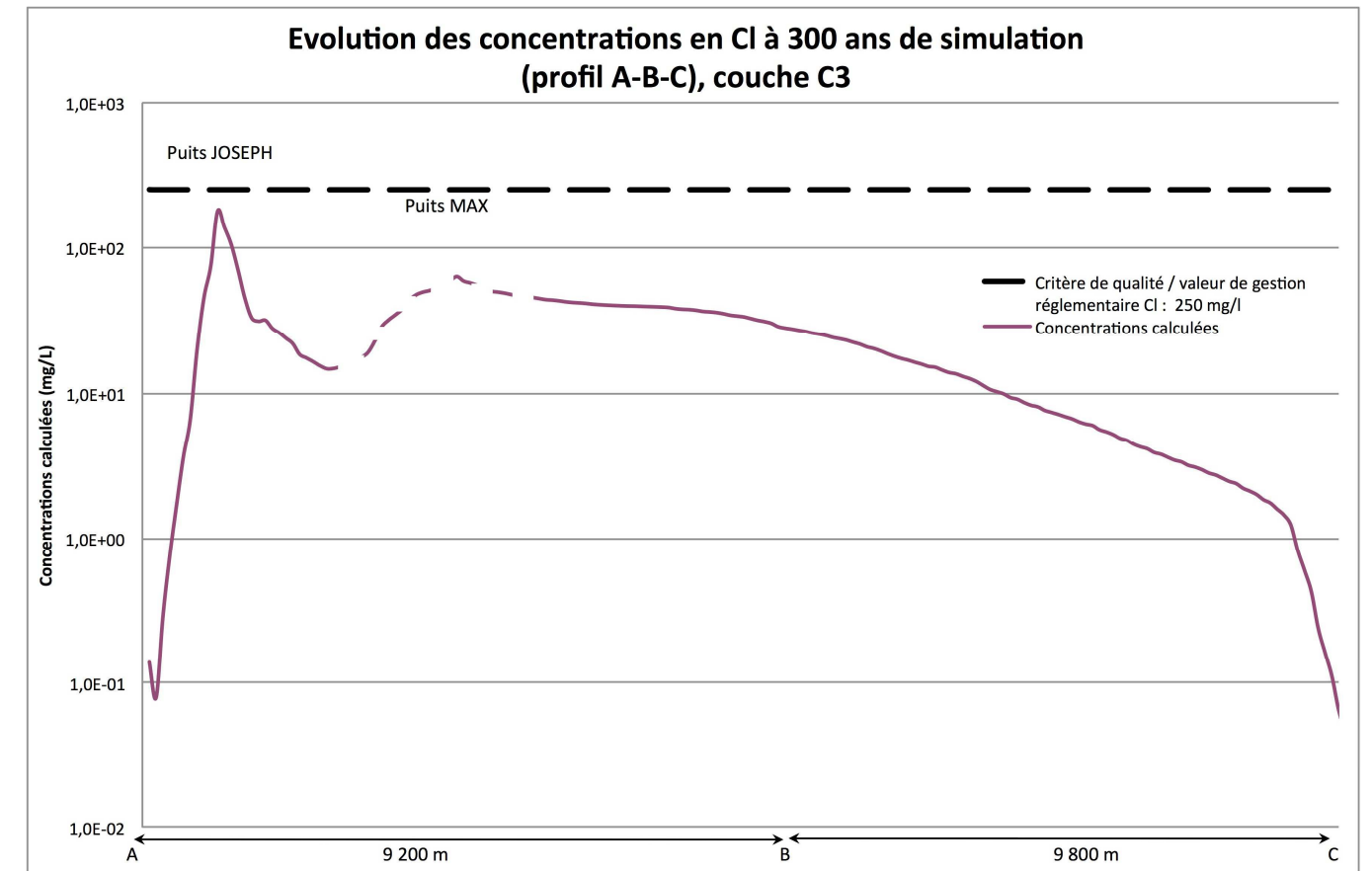


Figure 58 : Evolution des concentrations en Cl⁻ à 300 ans de simulation (sortie de saumure saine de la mine), le long du profil A-B-C, couche 3.

Avant que les contaminants ne puissent sortir du stockage, un panache de saumure apparaîtra dans la nappe d'Alsace, mettant en évidence la fin de l'ennoyage de la mine de potasse.

Les concentrations limites en chlorures pour la production d'eau potable ne seront dépassées que très localement, à la base de la nappe en aval immédiat des puits Amélie 1 et Max. Le phénomène sera donc sans commune mesure avec les langues salées liées par le passé à la dissolution des terrils de sel des MDPa, qui ont engendré des langues salées avec des concentrations en chlorures dépassant 250 mg/L sur plusieurs dizaines de km².

3.2.4. Conclusion sur les concentrations dans la nappe alluviale

Dans l'enceinte du stockage, les concentrations en polluants correspondent au « terme source » c'est-à-dire aux concentrations calculées par dissolution maximale des déchets confinés en souterrain dans le volume réduit de saumure qui pourrait être contenu dans la zone confinée (volume correspondant à la porosité des déchets et des remblais).

Deux dilutions interviennent ensuite, réduisant à chaque fois considérablement les concentrations en contaminants :

- à la sortie des barrières de confinement, dans la mine, la dilution de la saumure contaminée par les déchets dans la saumure non contaminée provenant des travaux miniers,
- à la sortie des puits de mine, la dilution de la saumure contaminée par les déchets dans 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. Afin de disposer d'une estimation plus fine, le BRGM a réduit la taille des mailles modélisées à 125 mètres). Pour juger de l'impact du projet, les concentrations calculées dans la nappe sont comparées aux critères pour l'usage alimentation en eau potable et aux concentrations mesurées initialement dans les piézomètres de surveillance de StocaMine (critère souvent plus sévère que celui lié à la potabilisation des eaux). Les hypothèses de rejet de saumure potentiellement polluées dans la couche profonde de la nappe sont sécuritaires car cette couche n'est pas utilisée comme ressource en eau potable.

Deux phénomènes font ensuite diminuer les flux de polluants issus de la mine :

- 1- les vitesses de compaction des vides miniers diminuent avec le temps,
- 2 - du fait du rapport entre le débit mobilisable de StocaMine (mobilisable par la compaction des déchets) et le débit de saumure saine (mobilisable cette fois par la compaction de l'ensemble de la mine), les concentrations passant par les puits de mine décroissent au fil du temps.

De ce fait, **les flux de polluants pouvant atteindre la nappe diminuent au fil du temps**, générant des concentrations de plus en plus faibles dans la nappe.

De plus, malgré la proximité des différents puits de mine entre eux (cumul des effets de plusieurs points de sortie potentiels), les concentrations diminuent dans l'axe d'écoulement de la nappe alluviale.

Ainsi, en cas de sortie de polluants, les concentrations les plus élevées sont attendues à l'aval immédiat des puits de mine et au début du phénomène de sortie de polluants (échéance 1000 ans avec les barrières de confinement retenues).

Plus précisément, du fait des caractéristiques des puits de mine et de la nappe alluviale, c'est à la base de la nappe, autour du puits Amélie 1 que la situation serait la plus défavorable.

Même dans cette configuration, les calculs réalisés montrent des **teneurs en contaminants induites dans la nappe toutes inférieures de plusieurs ordres de grandeur aux critères de qualité retenus** (état initial local ou normes pour la production d'eau potable).

La comparaison des concentrations calculées et des critères de qualité montre des facteurs de sécurité importants (>100). L'élément pour lequel la marge de sécurité est la plus faible est le mercure : les concentrations dans la nappe alluviale sont inférieures aux critères de qualité avec un **facteur de sécurité de 30 à la base de la nappe alluviale, et supérieure à 100 pour le niveau le plus proche de la surface**. Avec l'effet de dilution de la nappe, cette marge de sécurité augmente ensuite rapidement.

Les concentrations en contaminants les plus élevées dans la nappe se localiseraient autour des puits de mine les plus proches de StocaMine (Joseph et Else, 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. En aval plus éloigné, les facteurs de sécurité seront très importants du fait de la dilution par les apports de la nappe.

3.2.5. Prise en compte des SAGE et compatibilité avec le SDAGE

3.2.5.1. Prise en compte du SAGE III Nappe Rhin

- **Objectif fixé dans le SAGE**

Pour les eaux souterraines, le SAGE III nappe Rhin s'étend sur un périmètre qui inclut le secteur de la mine Amélie. Par contre, le périmètre qui concerne les eaux superficielles ne comprend pas les cours d'eau du secteur d'étude.

Le règlement du SAGE impose des règles essentiellement pour le milieu aquatique superficiel. La seule règle sur les eaux souterraines concerne l'infiltration des déversoirs d'orage.

Le SAGE III nappe Rhin rappelle que tous les prélèvements nécessitant de l'eau de bonne qualité se font dans la nappe d'Alsace. La préservation et la reconquête de la qualité de la nappe rhénane constituent donc deux objectifs majeurs du SAGE. **L'enjeu est ainsi de « permettre partout une alimentation en eau potable sans traitement ».**

- **Respect de l'objectif avec le projet**

Les déchets de StocaMine sont stockés en souterrain à plus de 500 mètres de la base de la nappe alluviale. Pour fermer le site, des barrières de confinement seront mises en place sur toutes les galeries d'accès du stockage. Les seuls liens entre le site confiné et la nappe d'Alsace seront les anciens puits de mine, qui seront remblayés. Les études sur l'évolution à long terme du site dans son environnement souterrain ont montré que l'hypothèse d'un ennoyage progressif de la mine de potasse ne pouvait pas être exclue et que, dans ce cas, le fluage du sel pouvait conduire à une remontée de saumure jusqu'à la nappe d'Alsace. Dans ce scénario, la remontée de polluants est possible à très long terme (après avoir traversé les barrières de confinement, soit à une échéance 1000 ans). La modélisation des concentrations dans la nappe alluviale d'Alsace a toutefois montré que les concentrations induites dans la nappe seraient inférieures d'un facteur 100 minimum aux valeurs actuellement mesurées dans l'environnement du projet et aux critères de qualité pour la production d'eau potable.

Notons pour le mercure que :

- les références retenues comme critères de comparaison pour préciser l'impact du projet sont :
 - o 0,2 µg/L pour le critère environnemental,
 - o 1 µg/L pour l'usage eau potable, en se basant toutefois sur la valeur plus sévère qui concerne les eaux superficielles,
- la concentration maximale calculée dans le panache est de 0,0073 µg/L (à l'échelle d'une maille du modèle hydrodynamique de la nappe, à la base de la nappe).

La concentration en mercure induite dans la nappe alluviale sera très largement inférieure à la limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine. L'élément mercure étant ressorti comme le polluant pour lequel la marge de sécurité est la plus faible, il est possible d'étendre le résultat aux autres éléments : les concentrations dans la nappe seront inférieures aux limites pour l'usage eau potable.

Même en cas de fuite de contaminants à très long terme, l'usage eau potable de la nappe d'Alsace ne sera pas remis en cause. Le projet respecte l'objectif du SAGE pour la nappe du Rhin.

3.2.5.1. Prise en compte des SAGE Thur et Doller

Lancé dans les années 1990, le SAGE de la Thur est à l'arrêt depuis 2001. La révision du SAGE est en attente et n'est pas envisagée pour l'instant (source : Gest'Eau).

Le SAGE de la Doller est en cours d'élaboration. Un état des lieux a été dressé et le diagnostic fait ressortir des enjeux concernant les zones humides, la continuité écologique, la mobilité latérale des cours d'eau, la biodiversité, la lutte contre les inondations. Des efforts sont à mener sur l'assainissement des eaux usées et l'assainissement pluvial. Concernant la ressource en eau l'objectif est de concilier la préservation du débit naturel de la Doller et la sécurisation de l'eau potable (notamment par la gestion des barrages sur l'amont) et de veiller à la préservation de la nappe vis-à-vis des pollutions. Il n'y a pas encore de plan d'aménagement et de gestion durable ni de règlement.

3.2.5.1. Compatibilité avec le SDAGE

Les orientations fondamentales du SDAGE Rhin-Meuse ont été présentées dans le Tableau 4 page 36. En lien avec les problématiques évoquées dans le présent dossier on peut rappeler les orientations fondamentales suivantes (codes thématique et objectif entre parenthèses) :

- assurer à la population, de façon continue, la distribution d'une eau potable de qualité (T1-O1),
- réduire les pollutions responsables de la non atteinte du **bon état** des eaux (eaux superficielles ou souterraines) (T2-O1),
- connaître et réduire les émissions de substances toxiques (eaux superficielles ou souterraines) (T2-O2),
- réduire la pollution de la ressource en eau afin d'assurer à la population la distribution d'une eau de qualité (eaux superficielles ou souterraines) (T2-O6).

Rappelons que le bon état chimique d'une masse d'eau souterraine s'appuie actuellement (arrêté du 17 décembre 2008) sur quelques paramètres pour lesquels des « valeurs seuils » ont été fixées et qui sont soit moins sévères soit équivalentes aux critères de qualité retenus dans l'évaluation de l'impact (cf. Tableau 28 page 106).

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 concernant la préservation de la qualité de la ressource en eau potable et l'objectif de bon état des eaux superficielles et souterraines) 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 (qu'elles soient situées en amont hydrologique : FRCR62 le Steinbaechel, FRCR57 la Doller, ou dans les panaches de diffusion potentielle de saumure issue de StocaMine mais dont les concentrations sont inférieures aux critères de qualité : FRCR64 Dollerbaechlein, FRCR19 III 4, ou en aval hydrologique plus lointain : FRCR69 Thur 4),
- 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).

A long terme, même avec les flux maximum potentiels de sortie de polluants, les concentrations dans la nappe ne dépasseront pas les valeurs mesurées dans la nappe en 1998 et servant de référentiel à StocaMine (principe de non dégradation respecté). Les concentrations seront de plus très en-deçà des valeurs seuils de bon état et de potabilisation.

Les échelles de temps étudiées sont sans commune mesure avec les échéances de ce type de document de gestion. Le projet est conforme aux ambitions du SDAGE actuel.

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.

L'étude a pris en compte l'ensemble des déchets stockés (c'est-à-dire hors option retenue du déstockage, qui conduirait à des teneurs encore plus faibles).

3.3.1. Données utilisées

3.3.1.1. Données sur les concentrations en gaz

L'étude des possibilités de libération de gaz (INERIS [56] en 2011) s'est basée notamment sur les mesures réalisées en 2010 (atmosphère du stockage sans manipulation de déchets).

En l'absence de contact avec de la saumure, les déchets peuvent libérer de faibles quantités d'éléments gazeux dans leurs emballages. Ces éléments peuvent passer en partie dans l'atmosphère du stockage, qui est toutefois régulièrement renouvelé grâce aux dispositifs d'aération. L'air rejeté par le puits Else est ainsi représentatif de l'atmosphère du stockage à sec.

A très long terme, après ennoyage de toute l'ancienne mine de potasse et traversée des barrières de confinement, la saumure atteindra les déchets. Des réactions pourront alors se produire entre les déchets et la saumure, l'étude de l'INERIS a eu pour objectif de préciser dans quelle part des dégagements gazeux pourraient alors se produire.

a - CONCENTRATIONS EN GAZ DANS LES EMBALLAGES DES DECHETS (EMANATIONS DES PRODUITS STOCKES)

Les émanations gazeuses des produits stockés sont limitées à des valeurs faibles du fait des dispositions prises avant descente dans le 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).

Les résultats de ces mesures étaient majoritairement inférieurs aux seuils de détection (LQ = seuil de détection), mais les valeurs maximales mesurées ont été retenues comme référence **de l'air interstitiel à l'intérieur des emballages (tableau 31)**.

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	Valeur maxi des 4 teneurs > LQ, 19 valeurs sur 23 mesures ont des concentrations < à la LQ de 0,1 µg/m ³
Acide cyanhydrique gazeux HCNg	7 ⁵⁵	Valeur maxi des 3 teneurs > LQ, 12 valeurs sur 15 mesures ont des concentrations < 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]).

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 :

- 0,06 mg/m³ de AsH₃,
- 0,04 mg/m³ de Hg⁰
- 7 mg/m³ de HCN.

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.

b - CONCENTRATIONS EN GAZ DANS L'ATMOSPHERE DU STOCKAGE, « A SEC »

A l'intérieur des galeries 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 menée dans le stockage par l'INERIS dans le cadre de l'étude de l'exposition professionnelle du personnel à des agents chimiques.

Elle concernait deux points de mesure, en poste fixe (cf. localisation Figure 59), 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.

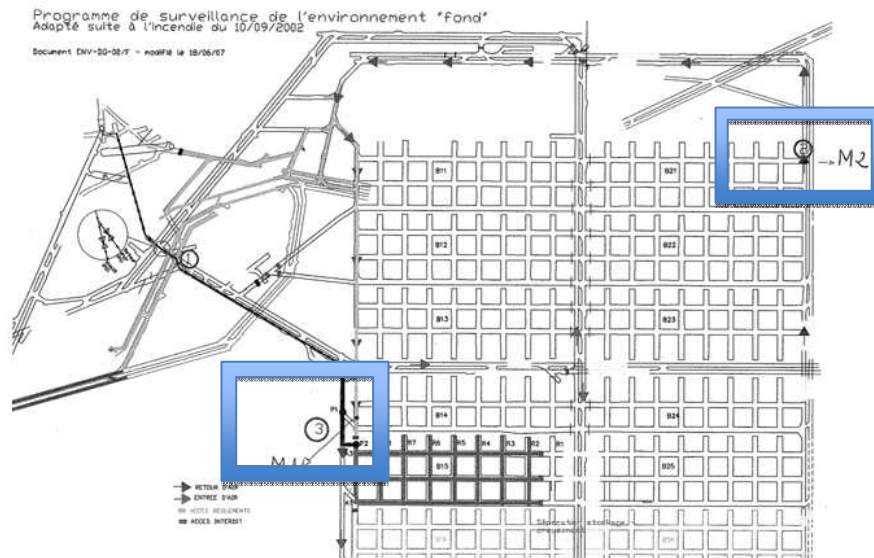


Figure 59 : Positionnement des points de mesure « air souterrain » M1 et M2.

Les résultats qualitatifs (détection ou non) sont présentés dans le Tableau 32.

Les éléments ayant fait l'objet de mesures quantitatives sont présentés dans le Tableau 33 et le tableau 34.

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, isoocane, 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 tétrachlorobiphényl	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 tétrachlorobiphényl	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 [71] :

- 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 se produit donc dans l'atmosphère du stockage.

c - LIBERATION POTENTIELLE DE GAZ AU CONTACT DE LA SAUMURE

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 (dans un volume initial de 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

L'étude s'intéresse à la problématique gaz :

- pendant la période de réalisation des barrières de confinement,

Avant remblayage des puits, des gaz pourraient migrer jusqu'en surface par l'intermédiaire de la ventilation de la mine.

- après confinement,
 - o tant que la saumure ne traverse pas les barrières de confinement;
 - o après contact entre saumure et déchets.

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.

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 MDPAs préconisent, après remblayage des puits la pose d'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 calculées dans l'air extérieur sont comparées à deux types de valeurs : les concentrations d'un environnement local témoin et 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.

a - CONCENTRATIONS DE L'ENVIRONNEMENT LOCAL TEMOIN

Les concentrations dans l'environnement local témoin 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).

b - VALEURS DE GESTION REGLEMENTAIRES :

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 de 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.

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 du rapport [71].

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.

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).

Notes liées au tableau 36 :

Les valeurs de gestion sont régulièrement mises à jour par les instances en charge de leur élaboration. L'étude [71] conduite tient compte des données disponibles au moment de sa réalisation (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.

⁵⁸ : Le rapport indique également des concentrations dans l'air intérieur des habitations à titre informatif.

- (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.

Substance	Type de valeur	Valeur en µg/m ³	Remarques/ précisions		
Dioxyde d'azote (NO₂)	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		
	Seuils d'alerte	400 ⁽²⁾	en moyenne horaire sur 3 h consécutives		
Dioxyde de soufre (SO₂)	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		
		125	en moy. journalière à ne pas dépasser plus de 3 j/an		
	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		
	Seuils d'alerte	500	en moyenne horaire sur 3 heures consécutives		
Monoxyde de carbone	VL pour la protection de la santé humaine	10 000	pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures		
Ozone (O₃)	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.		
		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	240	en moyenne horaire dépassé pendant trois heures consécutives.	
		2 ^e seuil	300	en moyenne horaire dépassé pendant trois heures consécutives.	
3 ^e seuil		360	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]).

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'aéragage (=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 aéragage)**

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'aéragage actuel : 45 m³/s dans le stockage (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 mesurées dans le stockage en l'absence de manipulation de déchets, en retenant par sécurité les **concentrations maximales mesurées le 24 février 2010 (cf. tableau 34 page 119)**.

- **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 dégazage⁵⁹ (cf. tableau 31 page 4) ont été retenues comme représentatives de l'air au sein de l'ensemble 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 trempes 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 géochimique contact déchets-saumure (tableau 35 page 119) 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.

⁵⁹ C'est-à-dire dans les interstices des déchets.

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 : Concentrations dans le stockage au cours des 3 étapes (ou scénarios) étudiées pour les émissions gazeuses [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 :
 - o dans l'étape 1, il n'a été pris en compte aucun facteur de dilution bien que l'aéragé comprenne également de l'air issu de la mine (sans polluants potentiels),
 - o 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 :
 - o pour l'étape 1, la dispersion atmosphérique a été calculée par une approche avec un modèle numérique de type gaussien⁶⁰ 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),
 - o 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 proximité immédiate des puits (servitudes entre 10 et 20 m autour du puits).

Les paramètres pris en compte dans le modèle de dispersion ADMS appliqué à la première étape, avec aéragé, sont détaillés dans le tableau 38. La justification et la définition de chaque paramètre ne sont pas reprises ici mais est fournie dans l'étude [71], à partir de la page 35.

⁶⁰ : 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).

Paramètres	Etape 1 (court terme, puits ouverts, aéragé)
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 » ⁶¹
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 aéragé.

⁶¹ : 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 »), situé au-dessus d'une source de pollution qui y pénètre 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.

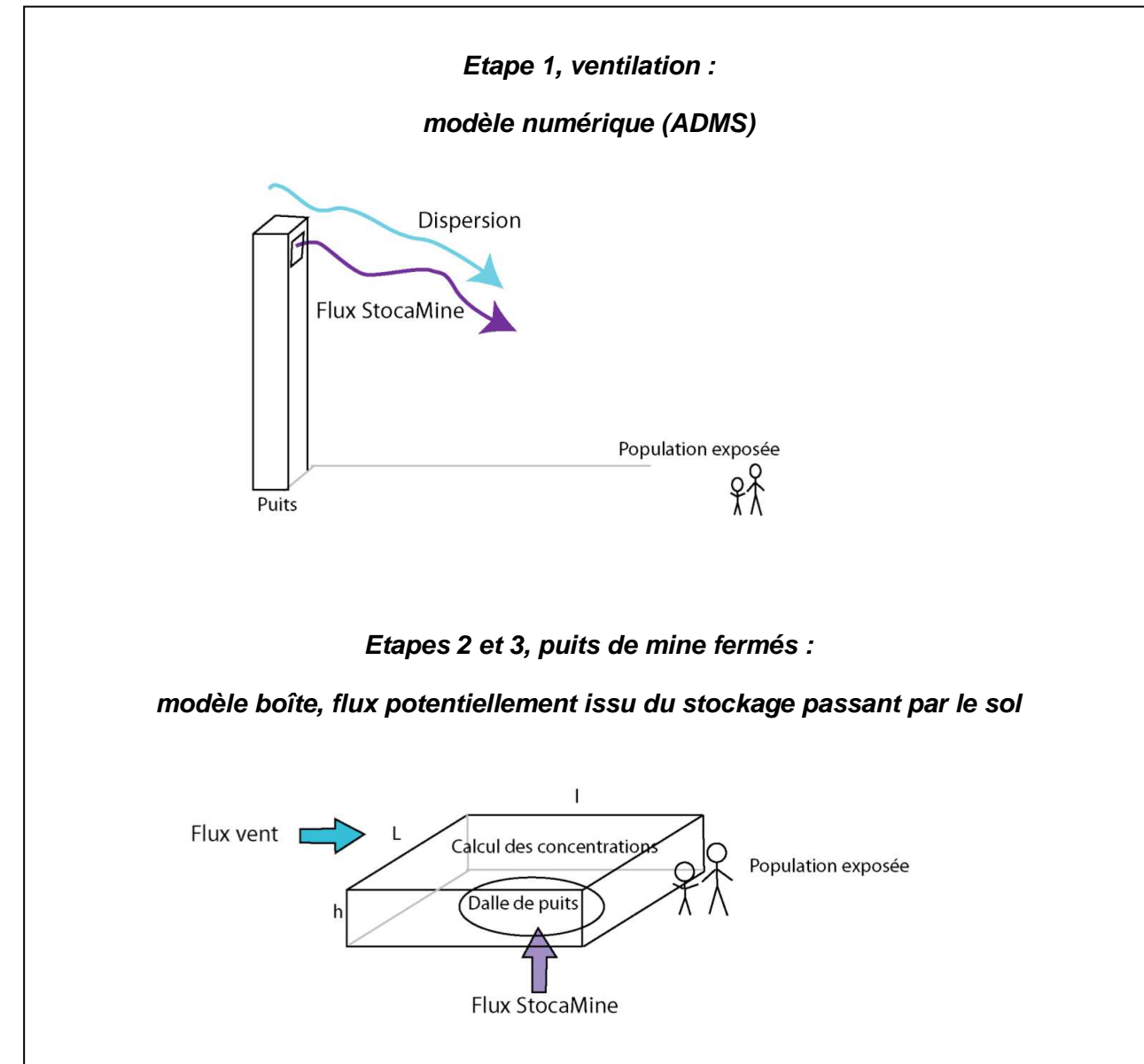


Figure 60 : Représentation schématique des modèles appliqués.

3.3.2.3. Résultats : concentrations dans l'air en surface

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) <i>(en italique : valeur arrondie calculée à partir d'analyses qualitatives dont les résultats sont des ordres de grandeur)</i>			
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	
<i>benzène</i>	<i>7,3E-05</i>		
<i>éthylbenzène</i>	<i>2,0E-04</i>		
formaldéhyde	1,6E-05		
mercure élémentaire	3,2E-06	1,0E-05	4,5E-30
<i>naphtalène</i>	<i>1,3E-05</i>		
phénol	2,0E-06	1,3E-07	
<i>trichloroéthylène</i>	<i>2,7E-05</i>		
<i>tétrachloroéthylène</i>	<i>1,3E-05</i>		
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 le tableau 41 et le Tableau 42. 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.

		Air extérieur										Air intérieur									
		Concentrations modélisées dans l'air atmosphérique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					Critères de comparaison														
							État initial					Autres données issues de la littérature			Valeurs réglementaires		A titre informatif				
							Site StocaMine, état initial mars 24 au 28 mars 1998					ASPA (1) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OQAI (2) Médiane ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OQAI (2) 95 ^{ème} percentile ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Norme française de qualité de l'air (3) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OQAI (4) Médiane ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OQAI (4) 95 ^{ème} percentile ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	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	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				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												
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				4100	3905	4234	3030													
Hydrocarbures aromatiques	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				18,6	39,6	24,4	52,7	4073,6												
Benzène	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	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	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	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	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	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	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	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	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	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	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				6,8	14,7	7,7	7,8	1476,3												
méthane	ppm																				
Hydrocarbures cycliques	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				1,8	4,7	1,1	1,1	1435,4												
Hydrocarbures C6-C12	mg/m^3																				
Composés polyaromatiques HAP	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				0,3	0,9	0,5	0,3	3,4												
Benzo(a)pyrène	$\mu\text{g}/\text{m}^3$									0,00026 (0,0022)			0,001 (F)								
Naphtalène	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,3E-02 (C)			0,1	0,6	0,3	0,2	3,01												
Composés halogénés	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				1,6	24,1	2,7	22,6	0,9								(Ga) : 10, (Gb) : 10				
Trichloroéthylène	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	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	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	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)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				0,09	6,9	n.d.	1,5	/												
tétrachlorométhane	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				0,15	0,5	0,4	0,2													
1,2 dichloroéthane	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				0,05	10,1	0,07	14,4													
1-3 dichlorobenzène	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				0,005	0,03	0,006	0,005	0,78												
1.4 dichlorobenzène	$\mu\text{g}/\text{m}^3$										1,8 (1,6-1,9)	4,3 (3,5-5,5)		4,2 (3,7-4,8)	150 (96,5-341,0)						
Cétones	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				4,9	7,8	5,4	2,6	0,0												
Acétone	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				4,7	5,5	3,0	2,1	0,0												

Tableau 41 : Concentrations dans l'air extérieur associées aux trois scénarios étudiés et critères de comparaison (1).

		Air extérieur								Air intérieur								
		Concentrations modélisées dans l'air atmosphérique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Critères de comparaison													
					État initial					Autres données issues de la littérature			Valeurs réglementaires		A titre informatif			
					Site StocaMine, état initial mars 24 au 28 mars 1998					ASPA (1) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OQAI (2) Médiane ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OQAI (2) 95 ^{ème} percentile ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Norme française de qualité de l'air (3) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OQAI (4) Médiane ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OQAI (4) 95 ^{ème} percentile ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	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	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				4,3	0,6	0,9	0,3	0,0									
Benzaldéhyde	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				2,5	0,04	0,3	0,2										
Furfural	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				0,3	0,4	0,3	0,2										
Formaldéhyde	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,6E-02									1,9 (1,8-2,0)	3,6 (3,4-4,2)		19,6 (18,4-21,0)	46,6 (40,8-55,1)	30 (J) 10 (K)	10 (La) 30 (Lb) 10 (Lc)	
acétaldéhyde	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	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	$\mu\text{g}/\text{m}^3$																	
Phénol	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2,0E-03	1,3E-04		0,03	0,05	0,03											
Esters	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				2,7	3,3	4,1	0,6	0,0									
Acides organiques	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				0,8	2,8	0,0	0,6	0,0									
Composés azotés	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				0,4	0,8	0,3	0,6	0,0									
phtalates	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				0,4	1,1	0,3	1,6	0,0									
Composés furaniques	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				0,2	2,9	0,1	0,1	0,0									
Autres composés	$\mu\text{g}/\text{m}^3$																	
Ammoniac - NH ₃	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				10,3	<5,2	5,9	8,2	51,6									
Dioxyde d'azote NO ₂	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				190	<35,7	201	<35,71	49,5				40 (M)					
Monoxyde de carbone (CO)													10000 (N)					
Cyanure d'hydrogène - CN- (acide cyanhydrique - HCN)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,6	1,8	7,1E-07	<0,98	<0,7	<0,87	<0,84	<0,84									
Composés soufrés	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				0,1	0,02	0,05	0,03	0,0									
Arsine	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	/	1,5E-02	/														
Poussières	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				<139	<123	<112	<112	7512									
Poussière inhalables (PM 10)	mg/m^3												40 (M)	31,3 (28,2-34,4)	182,0 (119,0-214,0)			
Poussières alvéolaires (PM 2.5)	mg/m^3												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	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				<0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02									
Arsenic particulaire	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				<0,06	<0,05	<0,04	<0,04	<0,05				0,006 (F)					
Plomb particulaire	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				0,17	0,59	<0,4	0,12	0,05				0,5 (M)					
Zinc particulaire	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				0,44	1,33	0,22	<0,04	9,67									
Cuivre particulaire	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				0,67	0,25	0,13	<0,08	0,54									
Cadmium particulaire	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				<0,06	<0,05	<0,04	<0,04	<0,05				0,005 (F)					
Chrome particulaire	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				<0,28	<0,25	<0,22	<0,2	0,91									
Nickel particulaire	$\mu\text{g}/\text{m}^3$				<0,22	<0,2	<0,18	<0,16	<0,18				0,020 (F)					
Mercuré volatil/élémentaire	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	3,2E-03	1,0E-02	4,5E-27														

Tableau 42 : Concentrations dans l'air extérieur associées aux trois scénarios étudiés et critères de comparaison (2).

OQAI : Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur.

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 1^{er} 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 cancérigènes, pour une durée d'exposition supérieure à un an.
 (H) : AFSSET : VGAI long terme : Pour les effets cancérigènes, 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 cancérigènes, pour une exposition supérieure à 1 an
 (J) : pour une exposition de longue durée à compter du 1^{er} janvier 2015
 (K) : pour une exposition de longue durée à compter du 1^{er} 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

a - PHASE TRAVAUX DE CONFINEMENT (AVEC AERAGE, « ETAPE 1 »)

En terme d'interprétation, il est important de rappeler que les concentrations initiales dans le terme source pour les BTEX, le naphthalène, le trichloroéthylène et le tétrachloroéthylène sont issues d'analyses qualitatives dont les résultats ne correspondent 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/m ³) Etape 1	Valeur la plus contraignante des critères de comparaison	Origine de la valeur
acétaldéhyde	0,032	1,3	OQAI Médiane (µg/m ³) [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/m ³) [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/m ³) [Kirchner et al. 2006] : air extérieur
mercure élémentaire	0,0032	Pas de critère de comparaison	
<i>naphthalène</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 43 : 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 avec aéraie 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).

b - PUIITS FERMES (PAS D'AERAGE, « ETAPE 2 ») : (MOYEN TERME, 300 A 1000 ANS)

Rappelons que pour l'étape 2 seules 4 substances ont été identifiées comme mobilisables.

Substance	Concentrations modélisées dans l'air atmosphérique (µg/m ³) Etape 2	Concentrations modélisées dans l'air atmosphérique (µg/m ³) 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 44 : 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 inférieure à celles de l'environnement local témoin.

Pour l'acide cyanhydrique, la concentration de 1,8 µg/m³ apparaît 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 est susceptible de dépasser la valeur de l'environnement témoin (pas d'autres critères de comparaison).

c - LONG TERME, APRES CONTACT SAUMURE-DECHETS (« ETAPE 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 est inférieur à 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 à 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.

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 de 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.

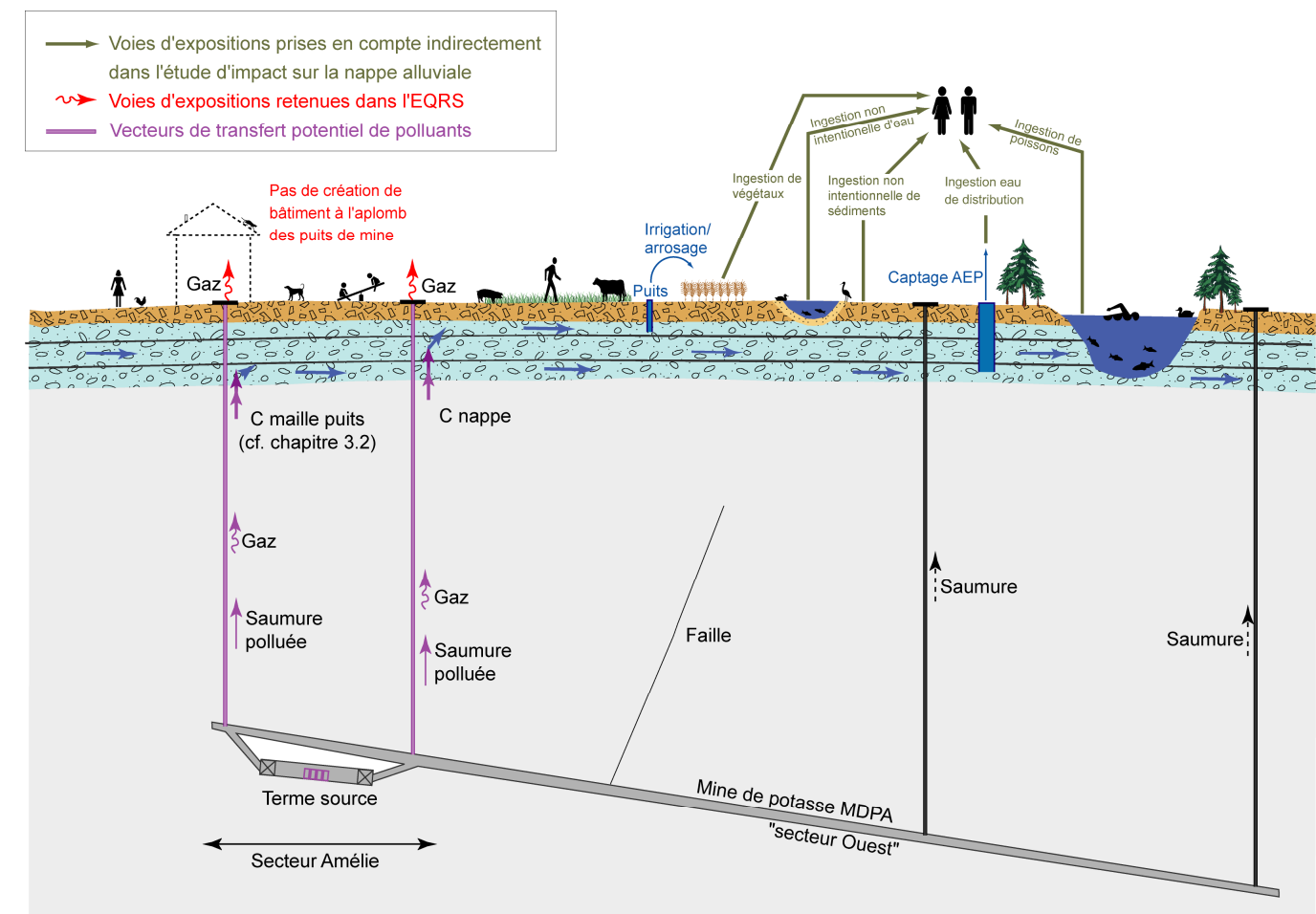
La figure 61 présente le schéma conceptuel qui peut être établi pour le projet étudié, avec :

- 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'extrados⁶²).

⁶² Pas de transfert par les failles.

- 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 puits
 - 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]).



AEP : Alimentation en Eau Potable.

Figure 61 : Schéma conceptuel (étude sanitaire), INERIS complété.

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 45 récapitule les voies d'exposition et les enjeux retenus.

« Sources »	Milieu d'exposition	Voies d'exposition	Enjeux, populations concernées
Phase gazeuse des déchets	Air extérieur	Inhalation	Enfants et adultes

Tableau 45 : 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 2006⁶³), 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 46) 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 46 : 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) : étape 1 appelé « scénario 1 » dans le document INERIS,
- moyen terme (après la mise en place des barrières, sans aérage, la saumure n'ayant pas atteint les déchets) (« scénario 2 » : étape 2),
- long terme (saumure envahissant les déchets, épanchement de saumure par les puits de mine) (« scénario 3 » : étape 3).

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.

⁶³La 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 terme de nombre d'années d'exposition, l'hypothèse retenue est une fréquentation de cette zone durant 10 ans, durée envisageable 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 47 suivant présente les paramètres d'exposition retenus.

Paramètres d'exposition	Etape 1	Etapes 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) ⁶⁴	70 (effet à seuil : égale à la durée d'exposition) et 70 (effet sans seuil) ⁶⁴

Tableau 47 : Paramètres d'exposition d'une personne.

⁶⁴ : 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 ⁶⁵	-
ERI	excès de risque individuel	-
CI	concentration inhalée	ML^{-3}
VTR pour les effets à seuil	valeur toxicologique de référence (correspondant à une concentration dans le cas de la voie d'inhalation)	ML^{-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)	$(ML^{-3})^{-1}$

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 48 et tableau 49).

⁶⁵ : 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 48 : 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 (*)	Etape 1	Etape 2	Etape 3
acétaldéhyde	4,2E-10		
<i>benzène</i>	3,4E-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 49 : 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**

La prise en compte des incertitudes sur les concentrations sources ne change pas les conclusions sur l'évaluation des risques pour les populations : ces conclusions restent inchangées tant au regard de l'impact sur les eaux de surface et la nappe d'Alsace que sur le milieu air extérieur

Les valeurs toxicologiques retenues sont conformes aux connaissances scientifiques actuelles⁶⁶ 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.).

⁶⁶ : En 2012, date de rédaction de l'étude [71].

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 dépassent 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 stockage⁶⁷ n'engendrent pas de dégradation de la qualité de la ressource en eau au regard des critères actuellement disponibles.

⁶⁷ : 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

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

En préambule on peut rappeler que 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. De plus, les terrains encaissants sont des formations salifères et marneuses au comportement souple dans leur ensemble. Ainsi l'exploitation de la potasse, réalisée sur deux niveaux chacun plus épais que la hauteur des galeries de stockage de StocaMine a généré en surface des affaissements sans rupture.

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 5,5 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, les endoscopies et les mesures de perméabilité réalisées par MDPa et IBEWA montrent que les décollements n'affectent que le premier mètre autour des galeries. Les déconsolidations se traduisent par une augmentation de perméabilité mais les perméabilités mesurées plus profondément, entre le stockage et les niveaux de travaux sus-jacents, ont des valeurs correspondant à celles des terrains sains. **Les dégradations autour des galeries restent donc localisées et ne s'étendent pas au-delà de quelques mètres dans le toit. Elles ne peuvent donc pas conduire à un effondrement de la surface du sol (situé plus de 550 m au-dessus).**

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 que même si celui-ci avait été tel qu'il atteigne une température de 300 °C sur toutes les parois du bloc 15, et ceci pendant 3 mois consécutifs⁶⁸, l'endommagement dans le toit n'aurait pas pu atteindre le mur de l'exploitation sus-jacente.

⁶⁸ : Les conditions évoquées dans cette étude de l'INERIS sont très loin d'avoir été atteintes (source : MDPa) puisque le feu s'est déplacé durant 3 jours sur une centaine de mètres dans le bloc 15, avec une puissance faible. Le feu était principalement alimenté par les palettes : la température était compatible avec une intervention directe des pompiers

Par ailleurs, les galeries de stockage seront in fine soit pleines de déchets, soit remblayées, empêchant les effondrements de toit et limitant la convergence des terrains.

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, de la lenteur des phénomènes de convergence, du remblayage prévu des galeries vides, 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 surcreuser 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 62).

En cas de surexcavation nécessaire, les vides créés seront minimales 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.

Parmi les mesures de maîtrise de risques (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.

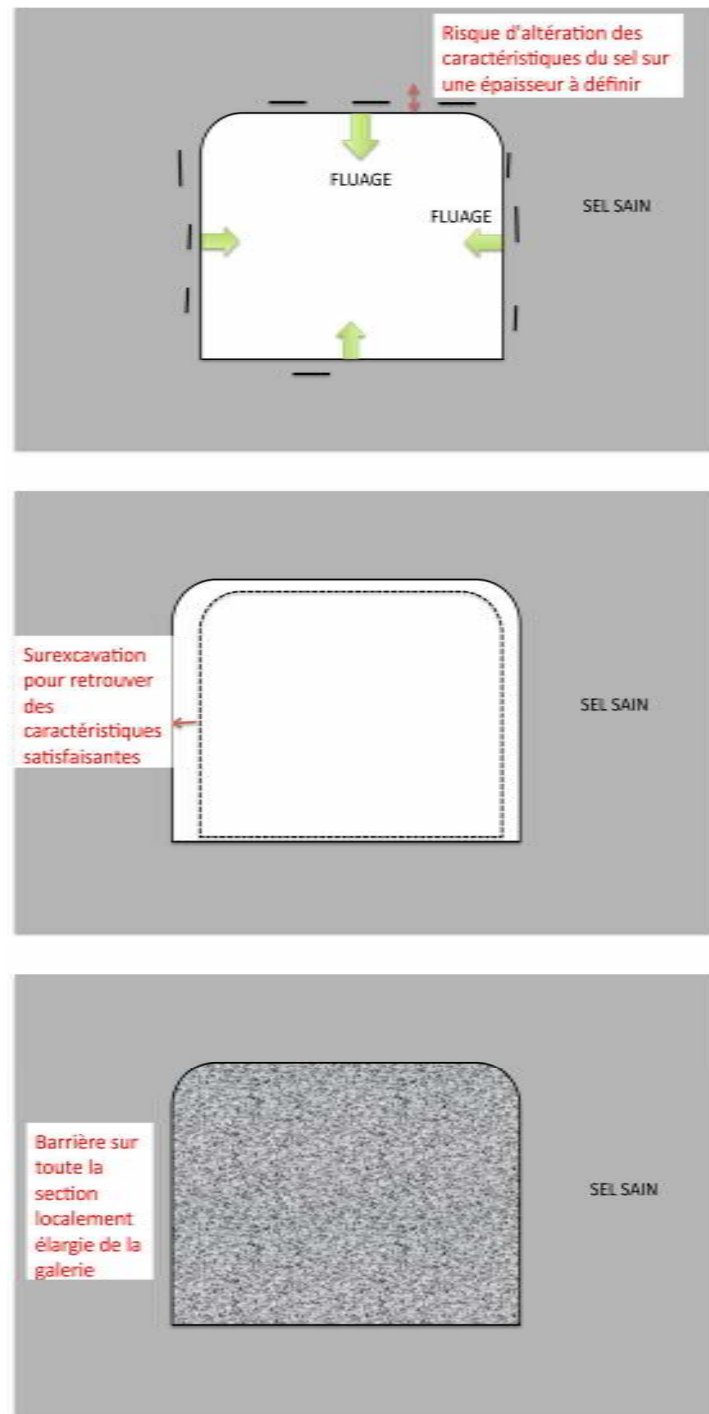


Figure 62 : Représentation schématique surexcavation des galeries pour la mise en place des barrières.

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, puisque celui-ci est situé au sud des puits de mine et donc en amont hydraulique du stockage

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

- **En souterrain, il n'y a pas d'enjeu milieu naturel (pas de végétation ni faune).**
- **En surface**, sur les parcelles du projet, il n'y a également aucun enjeu pour le milieu naturel du fait du contexte urbain et péri-urbain (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 site⁶⁹ concernent 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'exhaure⁷⁰. Or l'eau d'exhaure participe indirectement à l'alimentation en eau du Marais de Rothmoos puisqu'elle est dirigée (**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 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 efficace⁷¹ 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 seraient évacuées, comme le prévoit la procédure, vers une filière de traitement appropriée.

La collecte des eaux de surface des parcelles de StocaMine (toitures, ...) sera maintenue comme en situation actuelle : les mêmes débits seront dirigés vers le Marais.

⁶⁹ : Le plan de gestion du site est en cours de rédaction.

⁷⁰ : Pompage des eaux atteignant la base des puits.

⁷¹ : Pluie efficace = Pluie totale – consommation par les plantes et évaporation.

Impact des travaux sur le bruit et le trafic :

L'emprise de la zone classée est rappelée ci-dessous.

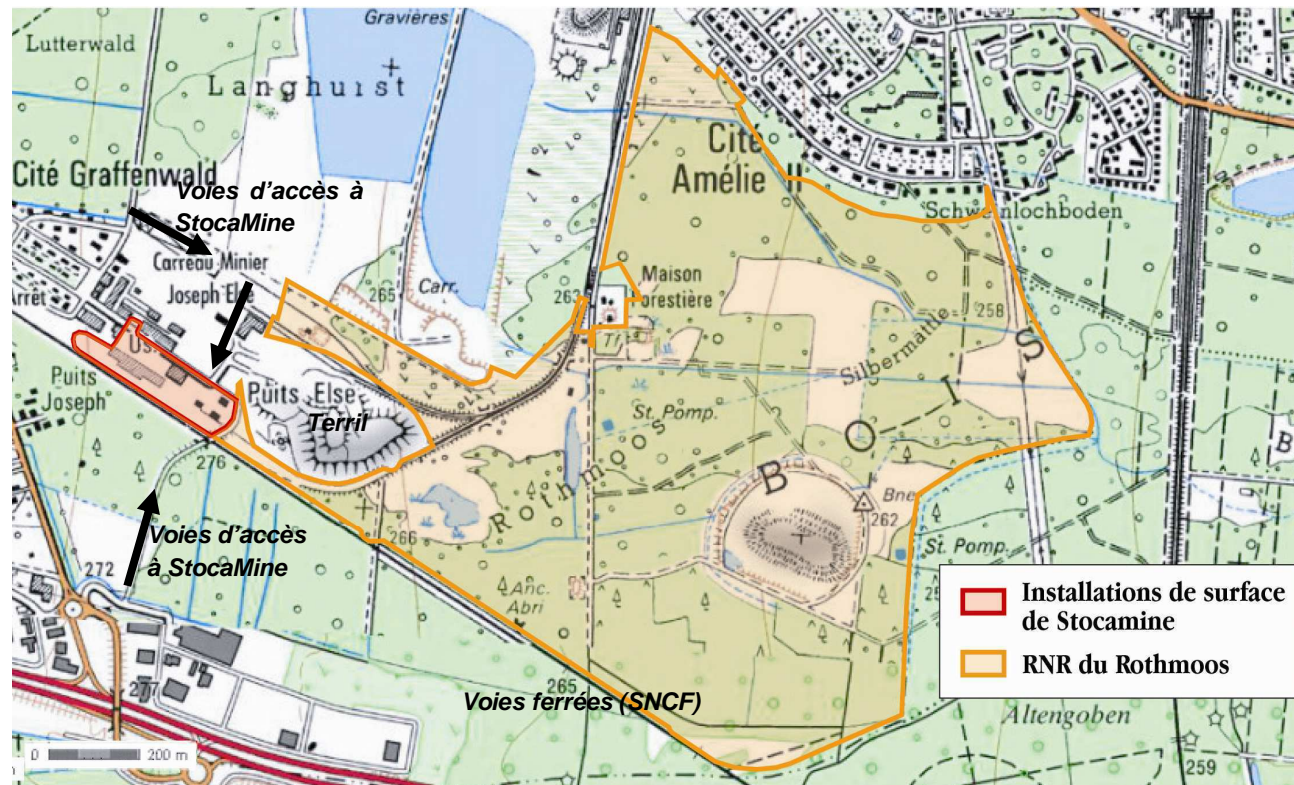


Figure 63 : Marais de Rothmoos et site StocaMine.

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 terril Else jouant un rôle d'écran).

Impact sur le milieu aquatique :

La nappe alluviale alimente les cours d'eau en période de basses eaux.

Les barrières mises en place pour confiner les déchets permettront de se prémunir d'un risque de pollution de cette nappe et donc des cours d'eau qu'elle alimente.

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.

Le projet ne modifiera pas de façon notable le fonctionnement de la zone humide du Marais de Rothmoos.

3.8. Effets sur l'environnement humain

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.

La phase travaux concerne uniquement les travaux de fermeture du site (remblayage des galeries, barrières de confinement, ...) et non la phase préalable de déstockage (activité autorisée par la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement, avec simple modification de l'arrêté préfectoral initial portant sur les durées d'entreposage des colis dans le hangar de StocaMine, [84]).

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 la création du site, l'activité de stockage était envisagée jusque 2027 (autorisation accordée en 1997 pour 30 ans). L'arrêt de l'activité de stockage de déchets a donc été anticipé par rapport aux délais prévus. Les travaux de déstockage puis les travaux de confinement vont toutefois maintenir de l'activité autour du site jusqu'en 2024 d'après les plannings prévisionnels.

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'offres. Il sera fait appel à des entreprises extérieures spécialisées.

Étant donné la spécificité des travaux prévus (bouchons complexes de plusieurs mètres, travail en mine), on peut toutefois donner quelques ordres de grandeur de la charge de travail associée :

- personnel mine (MDPA) : ≈ 4 personnes temps plein,

- personnel intervention extérieure : ≈ 20 à 30 personnes temps plein,
- durée des travaux : ≈ 3 à 6 ans.

L'activité du site sera maintenue pendant toute la phase études et travaux (au minimum 6 ans).

b - PERSONNEL MDP

StocaMine (16 emplois) a été absorbé par les Mines de Potasse d'Alsace début 2014. Le personnel fait maintenant partie des 25 salariés des MDP et des mesures de fin de carrière et de départ ont d'ores et déjà été négociées et adoptées. Après fermeture du site ces mesures d'accompagnement social seront mises en œuvre pour assurer l'avenir des personnels MDP.

A l'échelle de la commune l'impact sera limité puisque les emplois MDP représentent moins de 0,1% des emplois à Wittelsheim.

c - ARRÊT 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 un peu plus de 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 entreprises⁷² (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.

⁷² : 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.

Si la commune de Wittelsheim en fait la demande, les MDPa prévoient de céder un chevalement de puits et un bâtiment de machine d'extraction à la mairie afin de renforcer son attractivité touristique, au voisinage du musée KALIVIE.

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

Les travaux nécessaires à la fermeture engendreront en surface un trafic supplémentaire temporaire et des nuisances classiquement associées à un travail de chantier.

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 souterrain⁷³, 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)⁷⁴. Cela représente un rythme d'environ 4 camions/semaine (sur la base d'une densité moyenne des matériaux de 1,5 et d'une charge de 25 tonnes/camion).

⁷³ : et de la limite de cadence imposée par la capacité de descente des installations des puits de mine.

⁷⁴ : La totalité du chantier sera un peu plus longue puisqu'elle inclut les installations et travaux préalables en mine, etc.

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 impliqueraient 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 sur la RN 66 mais pourra représenter une augmentation sensible du trafic dans la zone Sécoia entre la RN 66 et le puits Else.

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

La voie ferrée menant à Mulhouse existait bien avant la création de StocaMine, seul un embranchement spécifique avait été réalisé pour permettre un accès par rail à StocaMine. Cet embranchement a été supprimé en 2014.

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

Avant création de StocaMine, il existait une activité d'extraction de potasse, générant déjà des bruits liés au fonctionnement des cages, à l'aération, à la circulation du personnel.

L'activité de stockage souterrain a maintenu cette ambiance sonore pendant quelques années puis l'arrêt de l'activité s'est traduit par une diminution des bruits associés. En situation actuelle, le fond sonore est à nouveau plus élevé (activités liées au déstockage, travail de nuit envisagé).

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, concasseur...). 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, des 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). Le projet lui-même n'aura pas d'impact sur la sismicité locale. Pour la phase travaux, ce risque sera porté à la 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, ...

Le projet lui-même, n'agissant pas sur la cote des terrains ni le débit des cours d'eau, n'aura aucun impact sur le risque inondation.

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 Joseph-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.

A titre informatif, on peut signaler qu'après la fermeture des puits, la mairie pourrait souhaiter conserver l'un des deux chevalements. Les chevalements qui ne seront pas cédés seront détruits. 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 adaptera 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, les déchets restants seront isolés 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 ultérieure éventuelle. Toutefois, les couches de potasse ont déjà été exploitées dans ce secteur (Mines de Potasse d'Alsace) et aucun projet d'exploitation souterraine pour un autre minerai n'est connu à ce jour sur la commune de Wittelsheim.

Il n'y a pas non plus 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 mineure 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.

Toutes les mesures de sécurité mises en place autour du stockage de déchets rendront l'impact du projet non mesurable⁷⁵. Les concentrations en contaminant seront dans tous les cas très inférieures aux valeurs-seuils de référence et ce, même dans le périmètre immédiat des puits.

Parmi les éléments qui seraient plus sûrement libérés si le phénomène d'ennoyage arrivait effectivement à son terme, on note essentiellement la présence de chlorures qui pourraient approcher ou légèrement dépasser la teneur de potabilité à proximité de deux puits de la mine Amélie, dans la couche profonde de la nappe.

L'émergence de chlorures par les puits de mine sera liée à l'ancienne activité minière elle-même et non à celle de StocaMine. **En tout état de cause, elle ne saurait se cumuler avec l'actuelle pollution de la nappe d'Alsace par les chlorures issus des terrils miniers.** En effet, l'émergence de chlorures est prévue au niveau des puits de mine au bout de 300 ans minimum alors que les panaches de chlorures dans la nappe en lien avec les terrils auront à cette époque disparu, comme on peut le déduire de la décroissance observée actuellement (cf. figure 64, les langues salées actuelles auront disparu bien avant 300 ans).

⁷⁵ : les concentrations obtenues dans les calculs d'impact sont très souvent inférieures aux seuils de détection des analyses actuelles.

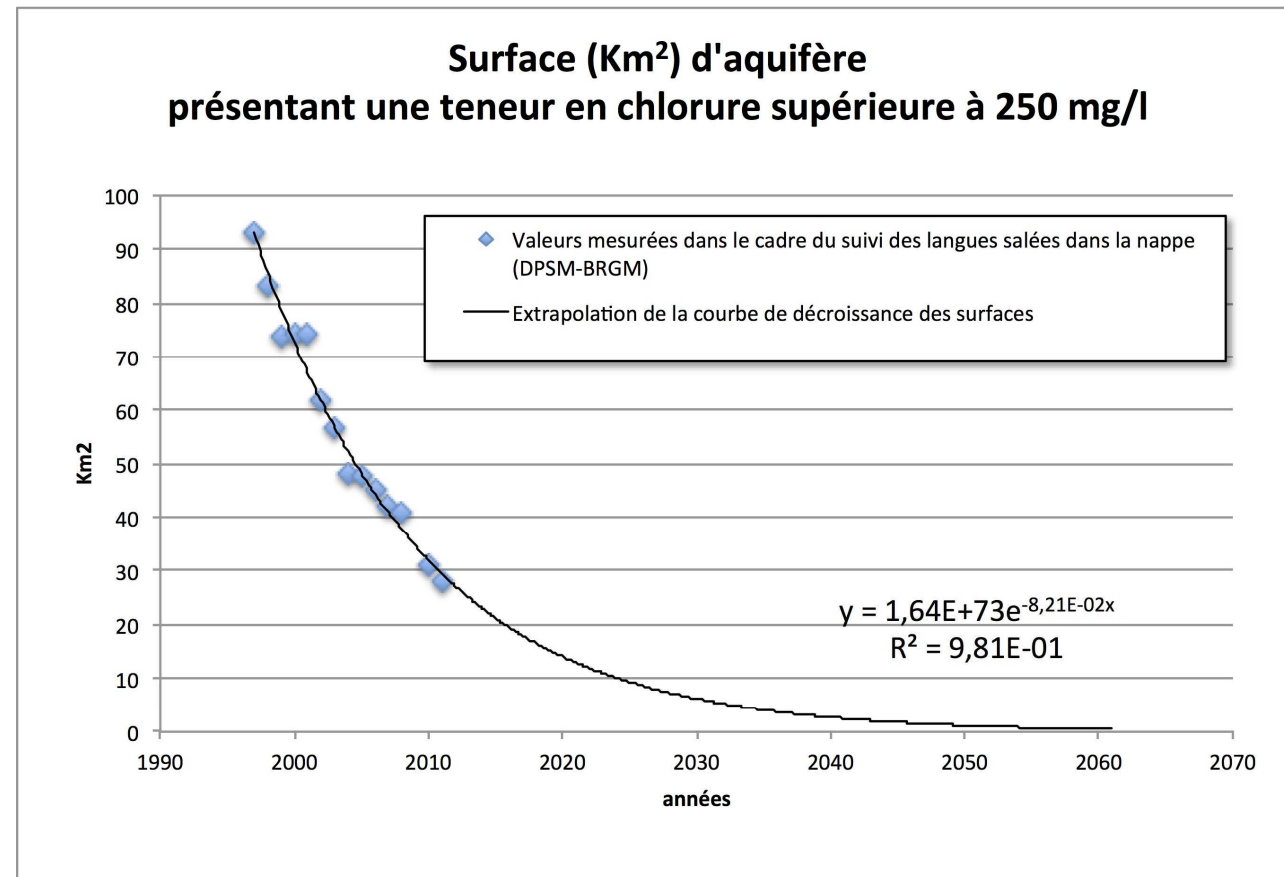


Figure 64 : Langues salées liées aux terrils, évolution des surfaces de nappe concernées.

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 (décembre 2014).

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.

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 extrêmes étaient prévues :

- le maintien des déchets au fond après confinement (stockage définitif),
- le retrait des déchets (exercice de la réversibilité, pour des situations particulières).

L'exercice de la réversibilité nécessite de trouver un nouveau site de stockage acceptant les déchets retirés de StocaMine et d'assurer le transfert des déchets depuis StocaMine jusqu'au site retenu. Le devenir des déchets dans le site retenu doit donc être pris en considération pour comparer les deux options.

L'étude de comparaison des deux solutions de fermeture du site a été réalisée par l'INERIS [68] en s'appuyant sur des paramètres liés à l'environnement, la santé publique, la santé des travailleurs, les risques accidentels et les évolutions à long terme.

Ce chapitre présente :

- les résultats de cette étude, qui ont démontré que l'exercice de réversibilité n'est pas la meilleure solution sur la base des paramètres retenus,
- les étapes de raisonnement qui ont ensuite mené au projet définitif (déstockage ciblé des déchets contenant le plus de mercure puis confinement des déchets restants).

5.1. Etude de comparaison des solutions alternatives

N.B. : Le décret 2006-283 relatif à la prolongation pour une durée illimitée de l'autorisation de stockage souterrain stipule que, parmi les pièces du dossier, doit figurer (indépendamment de l'étude d'impact, en annexe 5) l'« **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), fournie en annexe 5 du dossier et dont seuls les principaux résultats sont repris ci-après.

5.1.1. 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 méthodes 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 le 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.

5.1.2. 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 (différents sites possibles, distinction ou non des deux grands types de déchets présentés ci-après).

Les destinations étudiées ont été Heilbronn et Herfa-Neurode, **anciennes mines de sel** autorisées à recevoir des déchets du même type que ceux stockés dans le site souterrain de StocaMine, ainsi que le site de surface de Drambon (uniquement pour les déchets « dangereux »).

En effet, les déchets qui ont été stockés à StocaMine entre 1999 et 2002 sont considérés comme ultimes, ce qui signifie **qu'il n'y a pas de possibilité de retraitement dans des conditions technico-économiques raisonnables**. Par conséquent, si ces déchets sont extraits de StocaMine ils doivent être transportés dans d'autres sites de stockage⁷⁶ du même type. Ces déchets sont répartis en deux grandes classes :

- 23 000 t de déchets dangereux (déchets amiantés et résidus d'incinération), représentant 27 000 colis ; ces déchets pourraient être éliminés vers des installations de stockage de déchets dangereux (il existe 14 sites en France) ;
- 19 000 t de déchets ultimes (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 (cf. figure 65). 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.

⁷⁶ : 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.

Huit scénarios ont ainsi été retenus et comparés :

- scénario A : stockage illimité dans les blocs souterrains de StocaMine sans mise en place de barrières ouvragées de confinement,
- scénario B : stockage illimité dans les blocs souterrains de StocaMine avec mise en place de barrières ouvragées de confinement,
- scénario C : déstockage total et restockage de tous les déchets dans le site souterrain allemand d'Heilbronn,
- scénario Cbis : déstockage et restockage des déchets dans le site souterrain allemand d'Heilbronn, à l'exception des déchets du bloc 15 laissés en place
- scénario D : déstockage total et restockage dans le site souterrain allemand d'Heilbronn pour les déchets ultimes et dans le site de surface de Drambon pour les déchets dangereux
- scénario E : déstockage total et restockage dans le site souterrain allemand de Herfa-Neurode,
- scénario Ebis : déstockage et restockage des déchets dans le site souterrain allemand de Herfa-Neurode, à l'exception des déchets du bloc 15 laissés en place
- scénario F : déstockage total et restockage dans le site souterrain allemand de Herfa-Neurode pour les déchets ultimes et dans le site de surface de Drambon pour les déchets dangereux

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...).

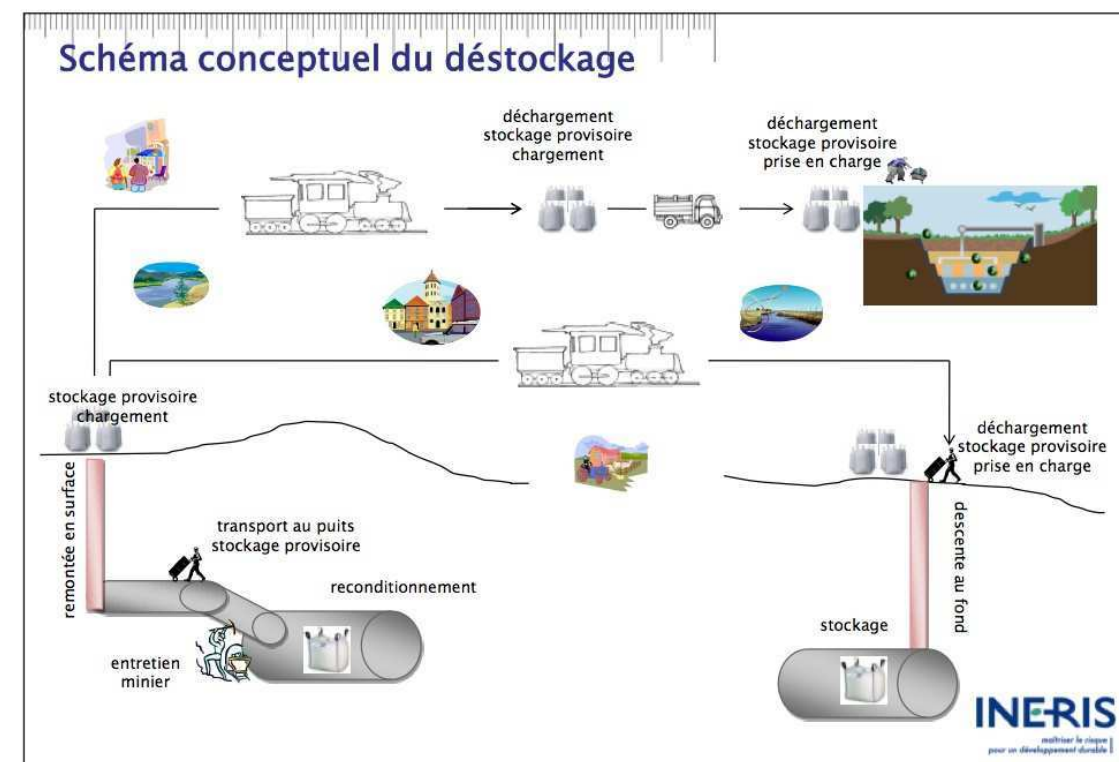


Figure 65 : Schéma conceptuel du déstockage pris en compte dans la comparaison des solutions [68].

La figure 67 présente la localisation des sites de stockage cités précédemment et celui de Sondershausen qui sera cité par la suite.

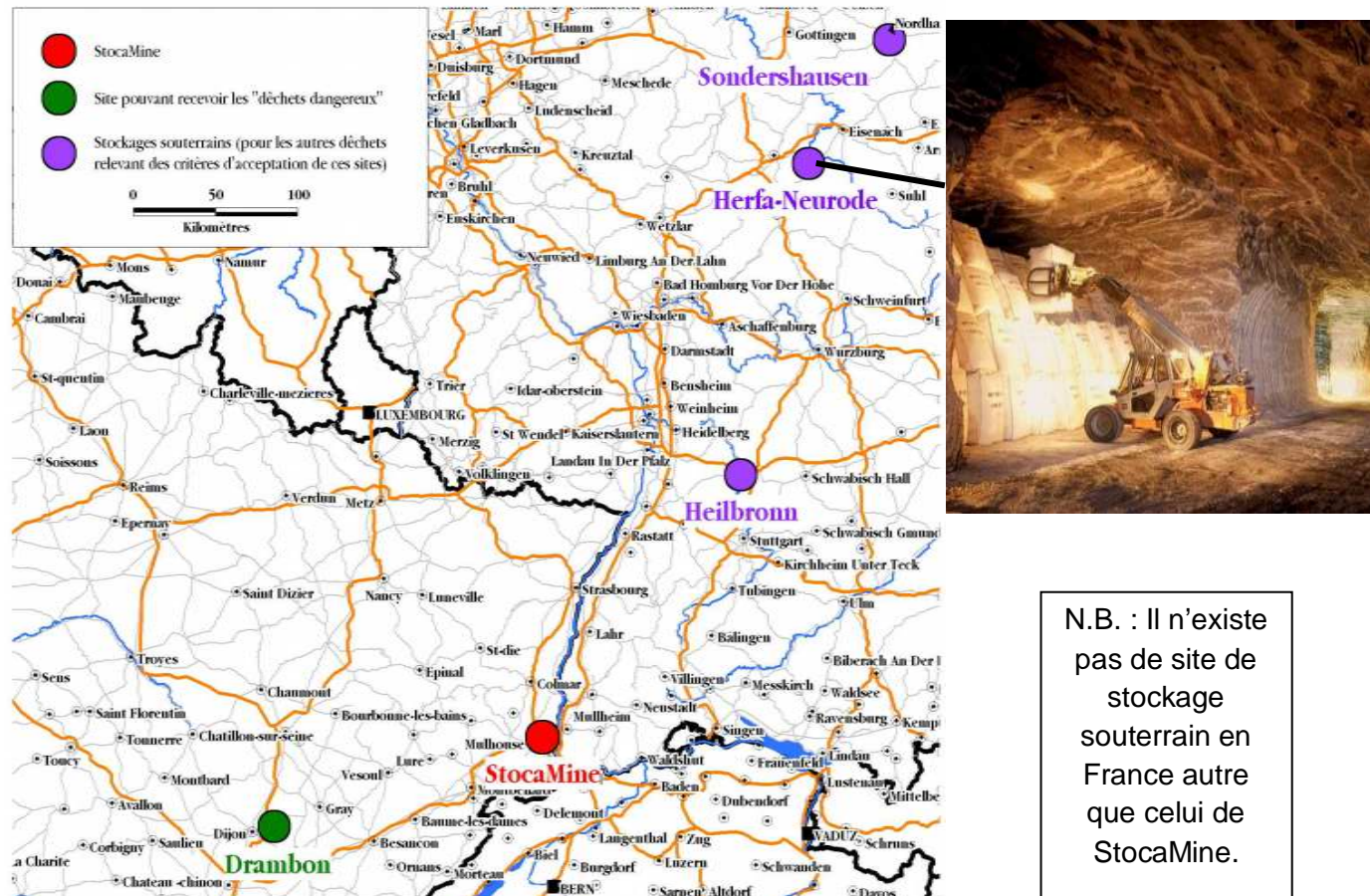


Figure 67 : Option de réversibilité, sites potentiels de re-stockage les déchets.

5.1.3. 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 de la (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.

5.1.4. 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 de 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 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 de Heilbronn 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 aussi 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 en surface 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 (court terme) est aussi important (et plus important dès que les sites de restockage sont éloignés) 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, purement théorique, 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 estimateur 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 nécessite la reprise, le réemballage, la sortie puis le transport des déchets. Ces derniers doivent être entreposés dans d'autres sites de stockage, qui peuvent présenter des caractéristiques proches de celle de StocaMine (stockage en mine de sel).

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 restockage. 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 de très faible perméabilité est la solution présentant les impacts totaux, à court et long termes, les plus faibles.

L'exploitant a ensuite étudié plus finement le confinement à mettre en place afin qu'il réponde aux prescriptions réglementaires.

5.2. Justification du projet retenu

L'étude de comparaison des solutions de devenir du site (cf. paragraphes précédents) a démontré que le maintien en place de tous les déchets, avec barrière de confinement, est une solution permettant de limiter les risques sur le court terme et le long terme. Des études complémentaires ont donc été menées pour préciser les caractéristiques des barrières de confinement à mettre en place, en modélisant précisément les impacts potentiels sur la nappe alluviale.

Pour prendre en compte les incertitudes inhérentes à ce type de modélisation (combinant au préalable modélisation géochimique, prévision de l'évolution du système minier), deux situations défavorables ont été prises en compte :

- une sortie de polluants par les deux puits de mine les plus proches du site de stockage souterrain au lieu des cinq puits de la mine Amélie,
 - une addition des marges d'erreur sur les analyses réalisées sur les déchets conduisant à des concentrations théoriques en polluants 50% plus élevées que les valeurs moyennes.
- Cas d'une sortie de polluants par seulement deux puits :

Si l'on admet qu'une sortie de polluants puisse se produire à travers les barrières sous l'effet de la pression lithostatique et du fluage du sel, l'hypothèse la plus probable est une diffusion de saumure polluée par l'ensemble des barrières de confinement cernant les blocs de stockage, et donc une remontée de saumure polluée par les 5 puits de la mine Amélie.

Si certaines barrières étaient plus perméables que d'autres, la sortie de saumure polluée pourrait se faire préférentiellement par celles-ci. Si ces barrières étaient celles situées près des puits Joseph et Else, on pourrait imaginer une sortie de polluants uniquement par ces deux puits. Dans ce cas, les débits totaux de saumure polluée ne seraient pas différents de la situation de sortie de saumure par 5 puits, mais dilués uniquement par les débits de saumure saine des puits Joseph et Else. Ceci aboutirait à des concentrations dans la nappe plus élevées que si les polluants sortent par 5 puits.

Les valeurs calculées à la sortie des puits Joseph et Else dans le cas d'une sortie par les 5 puits sont alors à multiplier par un facteur de 1,7 tenant compte de la différence de débit.

- Marges d'incertitude sur les masses de contaminants

Lors de leur acceptation sur le site de stockage, les déchets ont été analysés et les résultats consignés sur la fiche descriptive de chaque emballage. Pour tenir compte des marges d'erreur potentielles liées aux appareils de mesure ou à l'hétérogénéité des déchets, des estimations d'erreur ont été faites..

L'INERIS a pris en compte le cas défavorable où les marges d'erreur allaient systématiquement dans le même sens, et cela a abouti à retenir une incertitude de 50% sur les masses initiales calculées pour chaque polluant.

N.B. : Dans les faits, si l'on admet que les appareils peuvent parfois surestimer les valeurs réelles ils peuvent également les sous-estimer. Un calcul statistique réalisé par MDPa montre que l'incertitude résiduelle ne serait alors que de quelques %.

Prendre en compte une incertitude de 50% revient à multiplier toutes les concentrations par un facteur 1,5.

Le paragraphe présente ainsi :

- Dans une première partie, les résultats de l'étude d'impact dans le cas du maintien en place de tous les déchets, en tenant compte des deux situations défavorables présentées, ce qui a conduit au dimensionnement des barrières de confinement.
- Dans une deuxième partie, les résultats de l'étude d'impact avec l'option retenue d'un déstockage préalable, conformément à la demande de l'Etat, la justification d'un déstockage sélectif et de la sécurité du dimensionnement des barrières à 1000 ans.

5.2.1. Scénario sans déstockage préalable

Les résultats des simulations de sortie de contaminants dans la nappe d'Alsace dans le cas d'une fermeture du site sans déstockage préalable sont présentés dans le tableau 50, il s'agit des résultats pour le mercure car celui-ci est ressorti comme l'élément le plus défavorable (teneurs admissibles très faibles), en faisant varier le nombre de points de sortie et la date de sortie.

Rappelons que l'INERIS a retenu deux critères de comparaison pour qualifier l'impact potentiel du projet :

- l'environnement local initial 1998 : pour le mercure la concentration était de 0,2 µg/L (la concentration actuelle dans la nappe est <0,05 µg/L),
- le seuil pour la production d'eau potable : 1 µg/L pour le mercure.

Quelle que soit la date de diffusion étudiée (300, 500 ou 1000 ans) :

- Si la sortie de polluants se fait par 5 puits, la situation la plus défavorable correspond à la base de la nappe autour du puits Amélie 1.
- Si la sortie de polluants se fait par 2 puits, la situation la plus défavorable correspond à la base de la nappe autour du puits Else (le puits Amélie 1 n'étant plus concerné).

SANS DESTOCKAGE PREALABLE					
Temps (ans)	Concentration Hg dans le stockage	Concentration Hg-à la sortie des barrières	Concentration dans la couche profonde de la nappe		
			Sortie par 5 puits, valeur maximale puits Amélie 1	Sortie par 2 puits, valeur maximale puits Else	Sortie par 2 puits et +50% masse polluants
	g/L	g/L	µg/L	µg/L	µg/L
300	7,5	2,7E-03	2,4	4,0	6,2
500	7,5	1,1E-03	0,98	1,65	2,5
1000	7,5	1,2E-04	0,1	0,18	0,27

Code couleur :

	Valeur < référence 1998 et < seuil potabilité		Valeur < seuil potabilité		Valeur > seuil potabilité
--	---	--	---------------------------	--	---------------------------

Tableau 50 : Comparaison des concentrations moyennes calculées en Hg dans le stockage, à la sortie des barrières, dans la couche profonde (C3) dans le cas d'un épanchement par 5 puits, à 1000 ans, sans déstockage préalable.

Hypothèse 300 ans :

Dans l'hypothèse d'une fuite immédiate de polluants après l'envoyage de la mine, c'est-à-dire dans 300 ans, le seuil de potabilité du mercure (1 µg/L) serait dépassé autour du puits Amélie 1 dans la couche profonde du modèle de nappe, avec 2,4 µg/L (pour une sortie par 5 puits) voire 4 µg/L (pour une sortie par 2 puits) ou 6,2 µg/L de mercure (pour la combinaison 2 puits et +50%).

Hypothèse 500 ans :

Dans l'hypothèse d'une fuite à 500 ans (correspondant à des barrières de faible efficacité) la concentration calculée décroît en dessous du seuil de potabilité avec 0,98 µg/L dans la partie profonde de la nappe, mais si l'on tient compte d'une sortie potentielle par seulement deux puits et d'une incertitude théorique sur la valeur moyenne de la masse en mercure de 50%, on obtient un dépassement du seuil de potabilité.

Hypothèse 1000 ans :

Si les barrières restent efficaces pendant 1000 ans :

- pour le scénario de référence considérant une sortie de polluants par 5 puits, la concentration en mercure induite dans la nappe est de 0,1 µg/L (elle est donc inférieure au seuil pour la production d'eau potable et à la valeur de référence de 1998) ; pour plus de détail, le tableau des concentrations pour les 10 principaux contaminants est présenté ci-contre (tableau 51).

- si les polluants ne sortent que par deux puits, la concentration du panache est alors de 0,18 µg/L de mercure dans la maille proche du puits Else mais le seuil de potabilité n'est pas dépassé,
- ce n'est que si l'on tient compte à la fois de l'incertitude de ± 50% et d'une sortie par deux puits, que l'on obtient un faible dépassement potentiel de la valeur de l'environnement local témoin avec une concentration maximale de l'ordre de 0,27 µg/L dans la partie profonde de la nappe et au voisinage immédiat du puits Else (3 mailles du modèle sont concernées au sein de la couche profonde avec des concentrations comprises entre 0,21 et 0,27 µg/L à comparer aux 0,2 µg/L observés en 1998 dans la couche superficielle de la nappe),
- **dans tous les cas, les concentrations sont inférieures au seuil de 1 µg/L pour la production d'eau potable et dans tous les cas les concentrations dans la couche superficielle et la couche intermédiaire sont plus faibles que celles de la couche profonde.**

L'étude de ces différentes hypothèses a donc mené au choix d'un confinement du site avec des barrières ouvragées capables de résister 1000 ans au passage de la saumure.

Par ailleurs, afin d'éviter une sortie de saumure polluée par les seuls puits Joseph et Else, MDPA prévoit une fermeture soignée de ces deux ouvrages (cf. page 165).

Ainsi, pour tous les contaminants, les concentrations induites dans la nappe seraient inférieures aux critères de qualité de référence, comme on peut le constater dans le tableau 51.

Plus le temps sera long entre l'arrêt de l'exploitation du site et l'émergence d'une saumure polluée et plus les débits d'épanchement seront faibles donc la concentration induite dans la nappe également.

En considérant que la masse totale de déchets initialement stockée serait conservée, on constate qu'à l'échéance 1000 ans les concentrations calculées dans la nappe seraient toutes inférieures aux critères de référence retenus (tableau 51).

Comme ce n'est qu'en combinant les cas défavorables qu'un léger dépassement de la valeur environnementale (et non de la valeur de potabilité), très localisé (3 mailles du modèle) avait été mis en évidence sur le paramètre mercure, le dimensionnement de barrières ouvragées capables de résister 1000 ans au passage de la saumure a été le premier scénario retenu par l'exploitant.

Concentrations (en µg/L) – SANS DESTOCKAGE PREALABLE											
Puits	Critères de qualité Environnement local témoin	<1E+01 (LQ)	nm	0,7E-01	<1E+01 (LQ)	7E+00	7,2E+00	2E-01	3,7E+00	1,3E+01	nm
	Critères de qualité d'origine réglementaire	1E+01	7E+02	5E+00	5E+01	5E+01	1E+03	1E+00	2E+01	1E+01	5E+00
	Couches de la nappe alluviale	As	Ba	Cd	CN	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb
Joseph	C1	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
	C2	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
	C3	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
Eise	C1	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
	C2	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
	C3	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
Amélie 1	C1)	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
	C2)	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
	C3	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	C1	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
	C2)	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
	C3	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
Max	C1	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
	C2	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
	C3	Pas de niveau 3 à l'aplomb du puits Max									

nm : non mesuré

< X : inférieur à la limite de quantification (LQ)

C1 : couche superficielle, C2 : couche intermédiaire, C3 : couche profonde

Tableau 51 : 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, sans déstockage préalable).

5.2.2. Projet retenu : scénario de confinement du site avec déstockage préalable

Le Comité de Pilotage n'avait pas pu disposer des rapports définitifs de l'INERIS présentant ces marges de sécurité par rapport aux critères de référence, mais seulement des premières présentations qui lui ont été faites par l'INERIS, et qui conduisaient à la préconisation de barrières de confinement performantes. C'est pourquoi le COPIL avait préconisé un confinement illimité après déstockage des substances les plus potentiellement impactantes, si des études complémentaires démontraient cette nécessité.

Les études complémentaires (caractéristiques des barrières de confinement, calculs de concentrations dans la nappe, ...) et leurs résultats sont présentés dans ce dossier et démontrent le non dépassement des normes de potabilité dans la nappe d'Alsace dans le scénario « 1000 ans – sans déstockage préalable ». Toutefois le ministère de l'environnement a repris fin 2012 les conclusions du Copil et a demandé la mise en œuvre du scénario de retrait de 56% du mercure contenu dans le stockage suivi du confinement illimité.

En août 2014, et suite aux attentes exprimées par les élus et la population lors de la dernière concertation publique, le ministère de l'environnement, sans remettre en cause l'expertise technique de l'INERIS et du Copil, a demandé que les MDPa visent un déstockage plus conséquent du mercure, à hauteur de 93%. Il a néanmoins reconnu les grandes difficultés d'une telle opération et a souhaité qu'en cas d'impossibilité le déstockage de 56% du mercure soit à minima réalisé.

Les déchets contenant le plus de mercure sont donc en cours de déstockage et sont expédiés progressivement dans la mine allemande de Sondershausen.

Les études complémentaires de l'INERIS montrent qu'après ce déstockage, l'impact résiduel (déjà faible à partir du moment où l'on met en place des barrières de confinement efficace) est encore réduit. Pour le mercure, l'impact est proportionnel à la quantité de mercure restant dans le stockage, soit 7% environ de l'impact présenté précédemment (confinement de l'ensemble des déchets) dans le cas d'un retrait de 93% de la masse de mercure et 44% dans le cas d'un retrait de 56%.

Le tableau 52 présente les concentrations calculées dans le cadre du scénario final (déstockage de 93% de la masse de mercure et construction de barrières de confinement retardant la sortie de polluant de 1000 ans), ce qui correspond au projet. Le calcul a été effectué pour les différentes hypothèses pessimistes détaillées précédemment (sortie par deux puits, incertitude 50%),

Concentration en mercure ($\mu\text{g/L}$) dans la nappe alluviale, base de la nappe (C3), puits Amélie 1 Avec retrait préalable de 93% de la masse de mercure	
Hypothèse	Avec barrières de confinement : sortie à 1000 ans
Par cinq puits	0.0073
Par cinq puits avec incertitude +50%	0.0109
Par deux puits	0.0126
Par deux puits avec incertitude +50%	0.0189

Code couleur :

	Valeur < référence 1998 et < seuil potabilité		Valeur < seuil potabilité		Valeur > seuil potabilité
--	---	--	---------------------------	--	---------------------------

Tableau 52 : Concentration en mercure à l'aval immédiat du puits Amélie 1 avec barrières de confinement et retrait de 93% du mercure stocké (hypothèses 5 puits, 2 puits, +50% incertitude).

Dans le projet retenu, en combinant les incertitudes sur la masse de déchets et la possibilité de sortie de saumure par deux puits seulement, la concentration la plus critique (celle du mercure) reste très inférieure au critère de qualité initiale de l'environnement (0,2 $\mu\text{g/L}$) et au critère lié à la production d'eau potable (1 $\mu\text{g/L}$).

Remarque sur la limitation du déstockage aux seuls déchets contenant des teneurs élevées en mercure :

En 2013, l'INERIS a réalisé une étude complémentaire de comparaison de plusieurs variantes de déstockage partiel, avec Sondershausen pour destination de re-stockage [81]. La méthodologie appliquée pour comparer les scénarios est identique à celle présentée page 146 et page 148. A la différence de l'étude de 2012, seul l'indicateur d'impact sur la santé humaine, indicateur global adopté par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a été retenu (l'indicateur environnemental étant similaire pour tous les scénarios).

Ce document est également joint à l'annexe 5 du dossier.

Suite à l'appel d'offre lancé pour le re-stockage des déchets de StocaMine, c'est le site géré par l'entreprise GSES à Sondershausen qui a été retenu⁷⁷. L'étude prend donc en compte le déstockage, le transport puis le re-stockage à Sondershausen.

⁷⁷ Sélection au mieux-disant (c'est-à-dire sur critères économiques mais aussi techniques) parmi les 3 réponses reçues par MDPa-StocaMine. Dans son rapport [81] l'INERIS s'appuie sur l'étude de M. Feuga [49] pour indiquer que les conditions géologiques et hydrogéologiques dans le site de Sondershausen sont proches de celles de StocaMine, donc d'Herfa Neurode (et moins défavorables qu'à Heilbronn).

L'INERIS a comparé, entre autres :

- les risques liés au déstockage des seuls déchets contenant des teneurs importantes en mercures, avec l'objectif de retirer 93% de la masse totale en mercure
- et les risques liés au déstockage de tous déchets (pas uniquement arséniés et mercuriels) des blocs dans lesquels on intervenait pour déstocker le mercure.

Les résultats montrent que les effets à long terme globaux des déchets stockés, qu'ils le soient à StocaMine ou à Sondershausen, sont à peu près les mêmes car le comportement géochimique des déchets est comparable dans les deux sites. Par contre, l'impact des tâches de déstockage et de transport croît avec la masse déstockée et transportée. L'impact des manutentions en surface et du transport routier augmente de façon plus marquée que l'impact des interventions fonds de déstockage.

En conclusion, que le déstockage concerne uniquement le mercure ou tous les déchets, les risques à long terme pour l'environnement général sont équivalents (simplement déplacés de France en Allemagne) par contre les risques à court terme sont beaucoup plus élevés si les déchets non mercuriels sont également ressortis (du fait notamment de la manipulation de déchets amiantés).

Le déstockage sélectif permet donc de réduire le risque sur la santé humaine en comparaison d'un déstockage de tous les types de déchets.

Confirmation du dimensionnement des barrières :

Une fois qu'il était acquis que l'on déstockait 93% du mercure, la question s'est posée de la nécessité de conserver des barrières de confinement susceptibles d'empêcher pendant 1000 ans l'émergence des saumures polluées vers la nappe.

Les concentrations calculées dans cette hypothèse sont présentées dans le tableau 54 ci-contre.

Ce tableau montre qu'au cas où les barrières de confinement auraient une efficacité limitée à 300 ans, c'est-à-dire laisseraient passer la saumure, les concentrations de mercure observées dans la nappe, quelles que soient les hypothèses, resteraient dans tous les cas de figure **inférieures aux normes de potabilité actuelles.**

Dans la couche profonde de la nappe, qui n'est pas considérée comme une ressource en eau mais a néanmoins été prise en compte, les concentrations en mercure approcheraient ou dépassent les concentrations les plus élevées observées au moment de la création de StocaMine.

Néanmoins le projet présenté maintient la réalisation de « barrière diffusion 1000 ans » combiné au retrait de 93% de mercure pour respecter la demande de sécurité extrême pour la nappe alluviale exprimée par le ministère de l'environnement.

Concentration en mercure (µg/L) dans la nappe alluviale, C3, Amélie 1 Avec retrait préalable de 93% de la masse de mercure				
	Hypothèse	Barrières de confinement dimensionnées pour sortie à 300 ans	Barrières de confinement dimensionnées pour sortie à 500 ans	Barrières de confinement dimensionnées pour sortie à 1000 ans
Avec déstockage de 93% de la masse de mercure	Par cinq puits	0.1683	0.0687	0.0073
	Par cinq puits avec incertitude +50%	0.2525	0.1031	0.0109
	Par deux puits	0.2913	0.1189	0.0126
	Par deux puits avec incertitude +50%	0.4370	0.1784	0.0189

Code couleur :

	Valeur < référence 1998 et < seuil potabilité		Valeur < seuil potabilité		Valeur > seuil potabilité
--	---	--	---------------------------	--	---------------------------

Tableau 53 : Concentration en mercure à l'aval immédiat du puits Amélie 1, C3, sortie de saumure à 300, 500 ou 1000 ans après déstockage de 93% de mercure.

Remarque importante :

Comme demandé par l'Etat, l'objectif fixé pour le déstockage partiel est de sortir 93% de la masse de mercure totale. Depuis que l'option de déstockage est étudiée, de nombreuses contraintes ont été mises en évidence. Les travaux à réaliser ne consistent 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 sont ceux qui vont se déchirer et certains fûts sont corrodés, et les fûts sont rarement estampillés ADR⁷⁸
- décontaminer la zone d'extraction des colis au fur et à mesure pour permettre les autres opérations,
- sortir au jour et expédier après contrôles et conditionnements adaptés les déchets vers le centre de stockage retenu (Sondershausen, en Allemagne, soit un trajet d'environ 580 km),
- assurer la sécurité des opérateurs sur le plan minier au fur et à mesure qu'ils s'engagent dans les galeries et permettre aux engins de manutention de pouvoir intervenir. Le boulonnage des galeries déstockage et l'aplanissement du sol sont requis.

Le **déstockage** de tout ou partie des déchets du stockage nécessite d'isoler 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 doivent se protéger en permanence à l'aide de masques ventilés et de combinaisons étanches.

Toutes ces difficultés conduisent à rester prudents sur l'objectif retenu. Tout est fait (y compris financièrement) pour pouvoir sortir 93% de la masse de mercure stockée, mais l'hypothèse d'un arrêt anticipé du déstockage est retenue comme une éventualité qui ne peut pas être exclue.

Dans ce cas, la masse de mercure retirée sera moins importante que prévu. Les études sur le terme source et les concentrations dans la nappe permettent toutefois de montrer que **la réduction des concentrations dans la nappe est proportionnelle à la réduction de masse de mercure** [80].

Ainsi, tout déstockage de mercure, même incomplet, permet d'assurer un facteur de sécurité supplémentaire.

A titre d'exemple, le cas d'un déstockage limité aux blocs 21 et 22 (soit -56% de la masse de mercure), qui constitue l'hypothèse de repli choisie par le ministère peut être présenté (tableau 56, ci-contre).

⁷⁸ : c'est-à-dire conforme à l'Accord Européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route (ADR), qui est appliqué en France depuis la publication de l'arrêté du 5 décembre 1996.

Concentration en mercure (µg/L) dans la nappe alluviale, base de la nappe (C3), puits Amélie 1 Avec retrait préalable de 56% de la masse de mercure	
Hypothèse	Avec barrières de confinement : sortie à 1000 ans
Par cinq puits	0.0479
Par cinq puits avec incertitude +50%	0.0718
Par deux puits	0.0814
Par deux puits avec incertitude +50%	0.1221

Code couleur :

	Valeur < référence 1998 et < seuil potabilité		Valeur < seuil potabilité		Valeur > seuil potabilité
--	--	--	---------------------------	--	---------------------------

Tableau 54 : Concentration en mercure à l'aval immédiat du puits Amélie 1 avec barrières de confinement et retrait de 56% du mercure stocké (hypothèses 5 puits, 2 puits, +50% incertitude).

En gardant l'objectif de retarder la sortie potentielle de polluant de 1000 ans, les concentrations dans la nappe (INERIS, [80]) respectent le critère environnemental retenu et sont inférieures à la norme de potabilité, même si le retrait devait être limité à 56% de la masse de mercure.

5.3. Comparaison financière

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 (56% ou 93%), 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 des MDPAs. 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. 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 qui a déjà débuté nécessite, comme signalé plus haut, beaucoup de précautions difficiles à apprécier avant le début des travaux. En particulier, MDPAs s'est aperçu que la majorité des fûts n'étaient pas certifiés pour le transport de matières dangereuses sur route (réglementation ADR, les déchets seront donc reconditionnés dans de nouveaux fûts). Certains fûts sont fortement corrodés ou comprimés par les terrains, rendant leur déplacement difficile. De nombreuses palettes sont porteuses de contamination provenant des producteurs initiaux. Par endroit on ne dispose pas d'assez de hauteur à front pour le reconditionnement et il faut donc haver le sol. Tout cela freine les opérations de déstockage au point que la productivité n'atteint que le quart de ce qui était projeté initialement. Des mesures de réorganisation ont donc été décidées afin de réaliser le reconditionnement dans un atelier aménagé au sein du bloc en cours de déstockage et de réduire le havage au maximum. Ces mesures ne permettront néanmoins pas d'atteindre les performances visées initialement mais seulement leur moitié. C'est pourquoi tous les plannings et les coûts ont été revus sur la base de cette expérience. Néanmoins, le déstockage des big-bags a été estimé aussi rapide que celui des colis de fûts, bien que beaucoup vont certainement être détériorés durant cette opération et conduire, malgré la mise en œuvre de nouvelles méthodes d'extraction des produits par aspiration, à des épandages de substances toxiques dans la zone de travail dite zone rouge. Cela nécessitera des mesures de décontamination plus longues que celles qui sont pratiquées actuellement.

Par ailleurs, la tenue du toit (plafond) observée au sein des galeries en cours de déstockage nécessite des renforcements complémentaires par boulonnage.

Des fissures ouvertes transversales non coutumières dans cet horizon -23, ont conduit aussi à mettre en œuvre des mesures de renforcement et à placer des dispositifs de suivi de leur évolution. Les scénarios présentés comme optimistes (sur les durées et coûts des travaux de déstockage) méritaient d'être qualifiés ainsi.

Le maintien des déchets en place, sans déstockage, correspond ici au scénario 1.

Le déstockage a été principalement 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. Cette option propose de restocker dans les galeries ainsi vidées la majorité des autres déchets ne contenant pas de mercure déplacés pour le besoin de l'opération.

- Scénario 3 : déstockage partiel avec retrait de 93% 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. Seules des entreprises spécialisées dans le domaine de l'amiante sont habilitées à réaliser ces travaux. Les réductions de temps de présence au chantier pour les opérateurs et la productivité diminuée sont similaires aux conditions déjà rencontrées actuellement pour les déchets toxiques (**rythmes de déstockage faibles**).*

- Scénario 4 : déstockage complet (hors bloc 15)

*Ce scénario conduirait 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 barrières de confinement plus simples et moins nombreuses 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 incertain (avec des contraintes et des exigences de sécurité importantes et des complications possibles).

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 risquera de remettre en cause la possibilité de poursuivre le chantier. Les coûts de mise en sécurité et confortements augmentent également en conséquence. **Ainsi, des doutes existent sur la faisabilité d'un déstockage important et a fortiori du déstockage total (+ incertitudes fortes sur la durée).**

Le tableau 55 présente l'estimation financière des quatre scénarios. Les chiffres présentés ne tiennent pas compte d'une augmentation probable des coûts et des difficultés avec l'ampleur des déstockages mais ils permettent des premières comparaisons.

Pour le projet (scénario 3) les chiffres sont extraits de l'Etat Prévisionnel de Recettes et de Dépenses réalisés en 2014 par les MDPAs pour l'Etat.

Seul le déstockage total (hors bloc 15) pourrait conduire à une fermeture allégée du site (scénario 4, coût de confinement plus faible que dans les autres scénarios).

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.

Les longues durées de travaux induisent des surcoûts en termes de fonctionnement et d'entretien de la mine. Ces surcoûts sont estimés sur la base des mesures prises actuellement pour faire face aux difficultés mises en évidence par le début du déstockage. Pour maîtriser l'augmentation des risques en souterrain pour le personnel intervenant (instabilités minières croissantes associées aux risques chimiques qui vont s'accroître avec les big-bags), des augmentations supplémentaires de coûts s'ajouteront très probablement.

Plus que le critère financier ou que le critère environnemental global, c'est la volonté de répondre à la demande des élus et de la population, qui craignent un impact environnemental pour la plaine d'Alsace, qui a présidé au choix de la solution par l'Etat.

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3 LE PROJET	Scénario 4
Déstockage	NON	Partiel (56% du mercure)	Partiel (93% du mercure)	Total hors bloc 15
Confinement	OUI	OUI	OUI	OUI mais dispositifs plus allégés à étudier
Postes principaux de dépense				
Déstockage - restockage		17 M€	39,4 M€	90 M€ (forte incertitude)
Edification des barrières type bentonite avec mise en œuvre en préalable d'un pilote et le remplissage des galeries et blocs vides	64 M€	64 M€	64 M€	15 M€
Entretien minier, frais généraux, frais d'études, frais fermeture mine	58 M€	66 M€	84.9 M€	113 M€
TOTAL	122 M€	147 M€	187.9 M€	218 M€
Durée travaux depuis dépôt du dossier	8 ans	8 ans	10 ans	13 ans
Faisabilité	Oui	Incertitude	Forte incertitude	Très forte incertitude
	Peu de difficultés : Peu de risques miniers Peu de risques chimiques	Risques miniers dans les blocs où auront lieu les interventions de déstockage Risques chimiques limités (peu de déchets amiantés)	Risques miniers dans les blocs où auront lieu les interventions de déstockage Risques chimiques liés à la manipulation des déchets (y compris déchets amiantés, en souterrain)	Risques miniers liés au nombre de blocs dans lesquels il y aura intervention et aux délais allongés Risques chimiques liés à la manipulation des déchets (y compris déchets amiantés) en souterrain et en surface

Tableau 55 : Comparaison financière de 4 scénarios de fermeture (source : MDPAs).

6. MESURES ENVISAGEES POUR SUPPRIMER, LIMITER, ET SI POSSIBLE COMPENSER LES INCONVENIENTS DU PROJET – MESURES DE SURVEILLANCE

Le présent chapitre est divisé en trois parties, décrivant :

- les moyens de maîtrise des risques inclus dans le projet, dans le but de s'assurer que les déchets seront durablement confinés en souterrain,
- les dispositions prévues pour assurer le suivi du site (vérifier ainsi que l'évolution du système est soit plus favorable que les hypothèses retenues soit correspond aux hypothèses retenues) et les moyens d'intervention envisageables en cas d'évolution du système non-conforme aux prévisions,
- les servitudes prévues en anticipation, par précaution.

6.1. Maîtrise des risques

A la demande de l'Etat, le déstockage des déchets riches en mercure a débuté. Toutes les mesures sont prises (y compris le provisionnement de budget) pour sortir les déchets mercuriels et arséniés du bloc 22 (qui en contient le plus) et des blocs 21, 23, et 12. Ceci peut être considéré comme une mesure préalable de réduction du risque potentiel de sortie de polluants vers la nappe alluviale. Ceci permet d'aboutir à des facteurs de sécurité plus importants pour le paramètre mercure (le plus défavorable) en cas de remontée de polluant jusqu'à la nappe alluviale.

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 précisé 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 non remplies de déchets,
- 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.

6.1.1. Mesure préalable : sortie partielle des déchets contenant du mercure, suivi des déchets

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 actuellement possible de connaître l'emplacement des différents colis et leur contenu (cf. Figure 68).

Les travaux de déstockage vont modifier la répartition initiale des déchets dans les différents blocs mais un suivi de tous les déchets est assuré (code barre cf. figure 69, base de données). Les déchets extraits seront répertoriés et il sera donc possible de faire un bilan détaillé des déchets restant au fond (position, type de déchets) à tout moment et plus spécifiquement à la fin des travaux de déstockage.



Front de déstockage de fûts arséniés.

Figure 68 : Déstockage : conformité des emplacements des déchets.



Lecture optique des codes barres dans le bloc 11

Figure 69 : Déstockage, traçabilité des déchets.

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 serrements (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 de la saumure (ce qui serait difficile de garantir sur l'échelle de temps des phénomènes de fluage et ennoyage qui peuvent se produire dans le système minier) mais de **retarder autant que possible l'ennoyage 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 70).

Ces accès sont constitués de galeries simples ou de 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 au total 12 barrages, simples ou doubles (cf. figure 70).

La position précise des ouvrages sera à affiner en fonction de leurs longueurs et des caractéristiques du massif salifère au droit des ouvrages.

En effet il est nécessaire de vérifier l'état du toit et des parements de la zone de stockage⁷⁹ 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. **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).**

Les endoscopies réalisées ainsi que les mesures de perméabilité (rapport Ibewa) ont vérifié que les dégradations du toit des galeries⁸⁰ sont limitées à 1 ou 2 mètres et sont donc très loin d'atteindre le niveau de l'exploitation sus-jacente. Il y a donc bien une distance de garde suffisante entre les galeries du stockage et les zones foudroyées sus-jacentes, sans aucune possibilité de communication hydraulique.

Une mesure par radar et sismique sera réalisée au niveau de chaque futur ouvrage pour déterminer la profondeur à excaver. Celle-ci ne devrait pas dépasser le mètre, au vu des premières mesures réalisées.

Une fois que les barrières seront réalisées, les terrains salifères situés autour d'elles vont se refermer sur les barrières (phénomène s'étendant sur une quinzaine d'années), assurant à l'ensemble des perméabilités extrêmement faibles, conformes à l'objectif.

Caractéristiques des ouvrages :

Les barrières seront constituées d'un noyau de très faible perméabilité, encadré par deux parois assurant la stabilité de ce noyau.

La longueur et la très faible perméabilité de la barrière permet de retarder à la fois les phénomènes d'advection (entraînement par le débit pouvant traverser le barrage) et de diffusion moléculaire.

Pour constituer le noyau de très faible perméabilité, plusieurs solutions techniques sont d'ores et déjà envisageables :

- l'utilisation de bentonite (argile), solution présentée dans le détail plus loin,
- l'utilisation de « béton SOREL » c'est-à-dire un béton magnésien utilisé en Allemagne, matériau qui présente des résistances exceptionnelles et aussi de très faibles perméabilités.

Le noyau de bentonite sera encadré par des murs assurant le maintien en place de l'argile même sous de forts différentiels de pression entre les deux côtés de l'ouvrage (jusque 6 MPa du fait de la pression de saumure).

La position des barrières est indiquée sur la figure 70.

⁷⁹ : Des dégradations sont notamment visibles au toit des blocs 15, 16, 25 et 26 où, à cause du choix d'un approfondissement de 2 mètres des creusements, un décollement important des bancs a eu lieu au toit des galeries, conduisant déjà en certains endroits à un éboulement des 2 mètres de toit.

⁸⁰ : Ces dégradations ont été générées par le creusement de la galerie (le massif est sain).

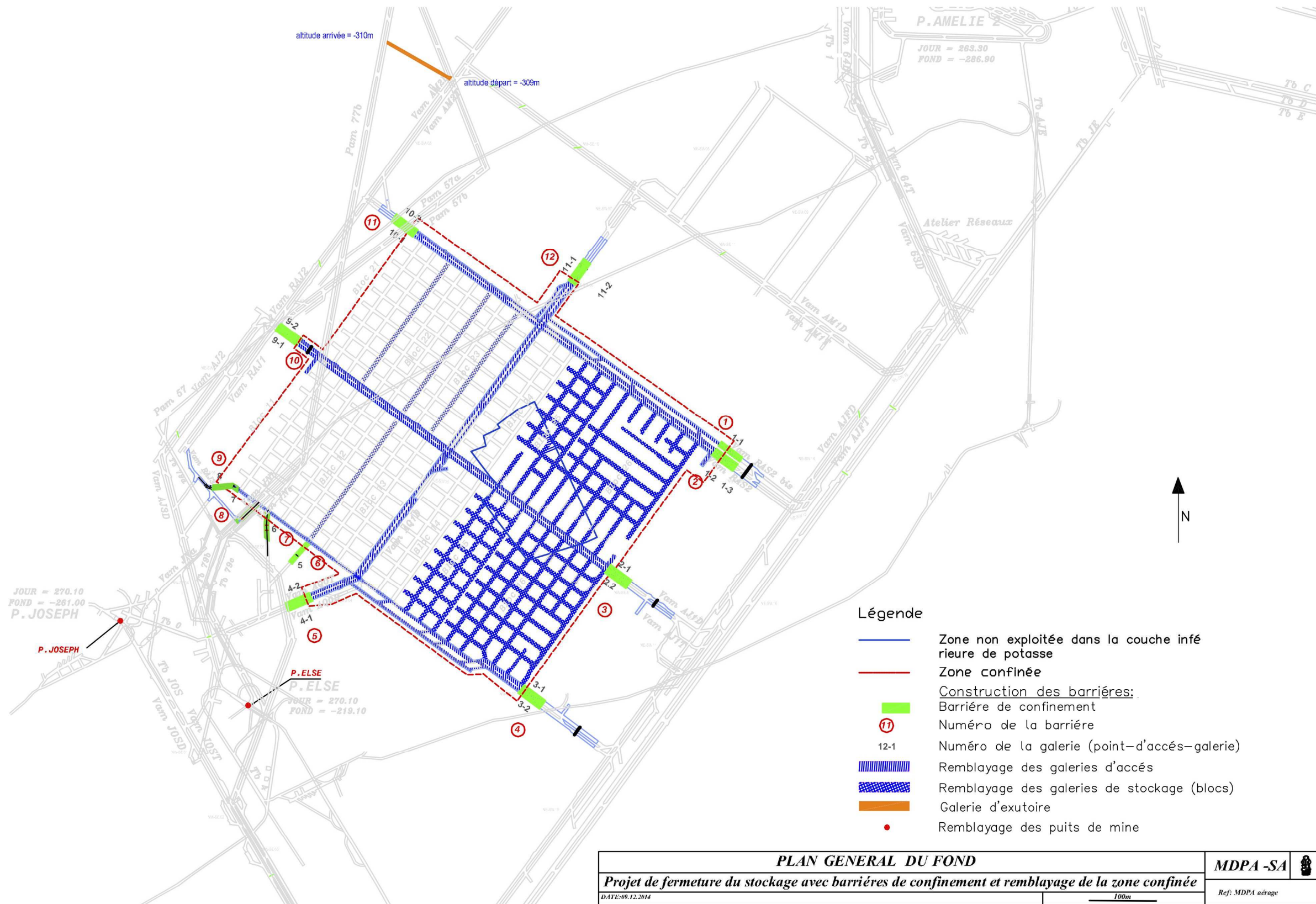


Figure 70 : Projet de confinement du site de stockage (source : MDPA).

L'INERIS a proposé un schéma de principe rappelé ci-dessous (figure 71).

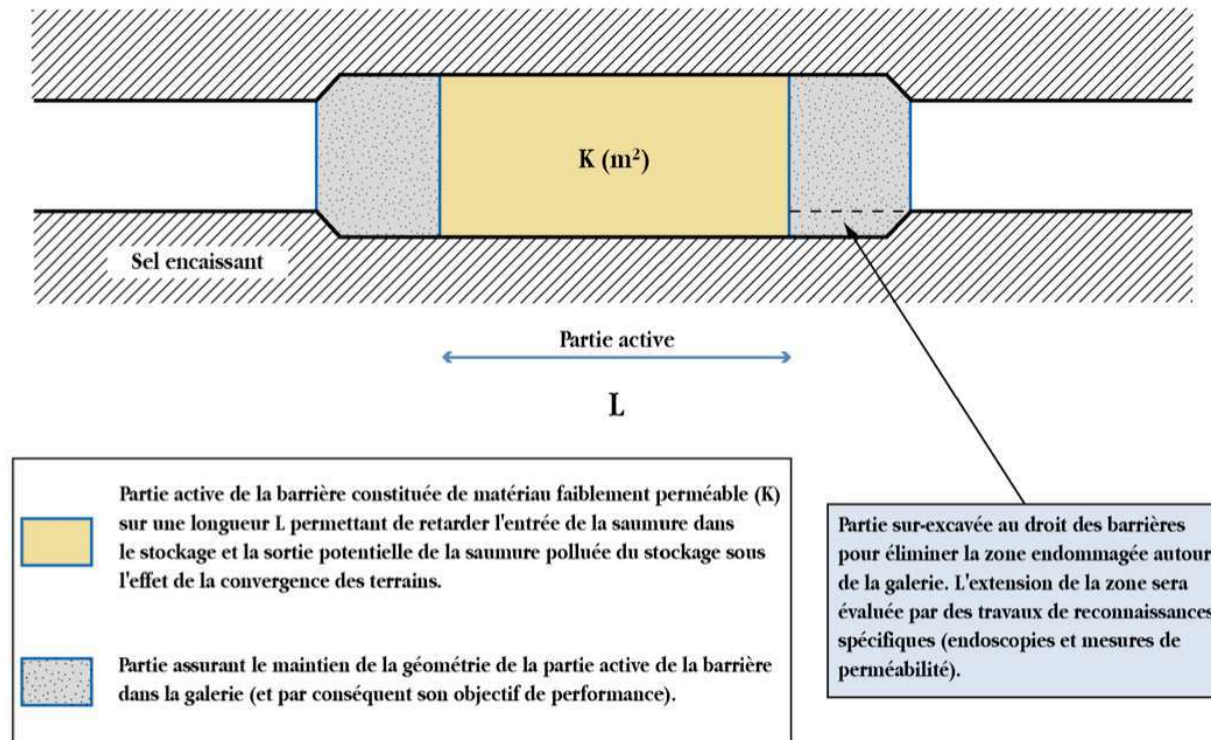


Figure 71 : Schéma de principe des barrières de confinement (cf. prescriptions INERIS).

La construction d'un barrage pilote simplifié sera démarrée fin 2015, pour préciser les méthodes d'édification de ces ouvrages et pour tester le comportement des terrains avoisinants. Le choix définitif technique (matériaux et méthodes de mise en œuvre) sera déterminé avec accord de l'administration.

La performance de ces barrages permettra de retarder d'au moins 1000 ans la sortie de saumure depuis le stockage, c'est-à-dire que leur dimensionnement prend en compte le scénario pessimiste retenu en référence par l'INERIS (ennoyage de la mine de potasse en 300 ans environ, vitesse de fermeture des vides résiduels dans le stockage entraînant une potentielle mobilisation de saumure polluée).

Les barrières « simples » (sur galeries uniques) auront des sections d'environ 4 mètres (hauteur) par 5 mètres (largeur). Les barrières « doubles » (sur galeries doubles) auront des largeurs d'environ 12 mètres.

Entreprises en charge de la réalisation des ouvrages :

La conception des barrages sera confiée à un bureau d'ingénierie spécialisée et le contrôle de leur réalisation à un bureau de contrôle indépendant.

b - POINTS D'ATTENTION ET FACTEURS FAVORABLES

Points d'attention :

Pour la réalisation des barrages, une attention particulière sera 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 de sur-excaver la gaine des galeries jusqu'aux terrains sains (voir 3.5.1.2) afin de permettre une bonne recontractation de ceux-ci autour des barrages, permettant de retrouver les perméabilités initiales, avant que la saumure n'arrive ;
- En cas d'utilisation de bentonite⁸¹, 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 sera 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 seront 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.

⁸¹ : 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.

Quel que soit le matériau retenu pour réaliser les barrières, soulignons que le massif de sel présente des propriétés favorables :

- 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 (hypothèse optimiste non prise en compte).

Notons enfin que les déchets n'ayant pas 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.

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.

Le sondage a été réalisé en 1905 et rebouché à l'époque par injection d'argile dans la boue de forage.

Il avait été recoupé par l'exploitation des deux couches de potasse, avait été injecté à la traversée de la couche supérieure mais pas à la traversée de la couche inférieure car il n'avait alors donné lieu qu'à une arrivée d'eau très limitée et rapidement tarie.

Ce sondage était indiqué sur les plans de mine dans le secteur du bloc 25 (bloc dans lequel il n'y a pas eu de déchets). Il n'était toutefois pas visible au sein du site de stockage.

Une étude spécifique réalisée par l'INERIS fin 2011 avait mis en évidence la nécessité de rechercher l'ouvrage et de le traiter. En effet :

- si le sondage avait été remblayé avec un matériau solidifié sur toute sa longueur y compris dans le secteur du stockage l'étude montrait que le 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,
- par contre, si le sondage avait été remblayé avec un matériau ne constituant pas une barrière efficace (boue), ou laissé vide sur la portion traversant le stockage, l'étude indiquait 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.

Des dispositions ont donc été prises pour localiser le sondage WIII au printemps 2013.

Le bloc 25 ayant été creusé à 25 m sous la couche inférieure de potasse (et non 23 mètres comme les premiers blocs de stockage), le toit y est instable. Un havage de 2 mètres a été nécessaire sur le chemin d'accès à l'ouvrage (une centaine de mètres) pour assurer la sécurité des intervenants.

Le havage du toit a permis de retrouver le trou de sonde sans procéder à des recherches radar comme cela avait été envisagé au cas où le trou de sonde se serait trouvé dans un pilier séparant deux galeries. Le trou était ouvert totalement sec, de diamètre 150 mm et de forme très légèrement oblongue.

Son rebouchage proprement dit a eu lieu le 11 décembre 2013 par l'entreprise THYSSEN SCHACHTBAU. **Le remblayage a concerné toute la partie libre du trou soit 15 m. Le matériau utilisé était composé de ciment magnésien.** L'essai de résistance à la compression à 6 mois a donné un résultat impressionnant de 120 MPa.

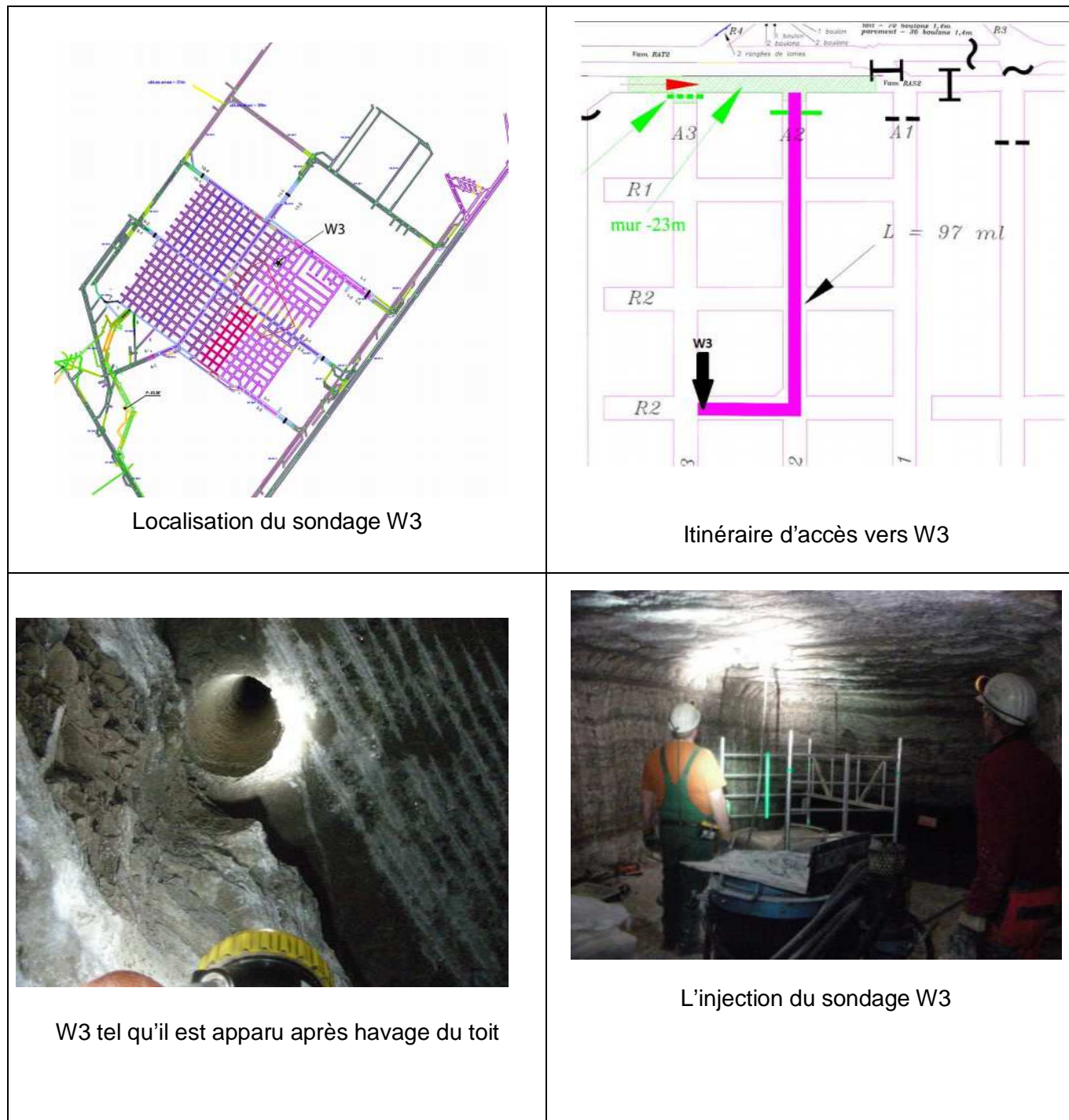


Figure 72 : Le traitement du sondage W3 (source : MDPa).

Le seul sondage réalisé depuis la surface et ayant atteint le secteur du stockage était le sondage W3. Il a été traité par injection en 2013 et ne constitue plus une voie de liaison entre le stockage et l'ancienne mine de potasse située au-dessus.

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'envoyage 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 défaut d'imperméabilité) demeurait une hypothèse possible (si les défauts en question étaient aussi longs que les barrières), c'est pourquoi l'INERIS prévoyait de traiter les trous de sondages qui seraient situés de part et d'autre des barrières en les injectant de coulis adapté (probablement du ciment magnésien comme dans le cas du sondage W3). Néanmoins, les mesures de perméabilité réalisées dans les horizons traversés par ces trous de sonde, et dans la partie centrale du stockage c'est-à-dire la plus susceptible de telles dégradations, ont montré qu'il n'y avait pas de possibilité d'un tel transfert.

Les « trous de dégazage » concernent uniquement les horizons exploités, ils sont relativement courts et ne constituent en aucun cas des liens jusqu'à la surface. Les mesures de perméabilité ont par ailleurs montré qu'ils ne pouvaient pas non plus constituer des chemins indirects de part et d'autre des barrières de confinement. Leur traitement ne sera donc pas nécessaire.

6.1.2.3. Limitation de la sollicitation des barrages en phase d'envoyage

Pendant la phase d'envoyage, du fait de la proximité des puits Joseph et Else, de l'eau encore partiellement douce provenant de ces puits pourrait atteindre les barrages délimitant le stockage sur son flanc ouest (cf. figure 73, en empruntant les galeries partant des puits représentées en violet).

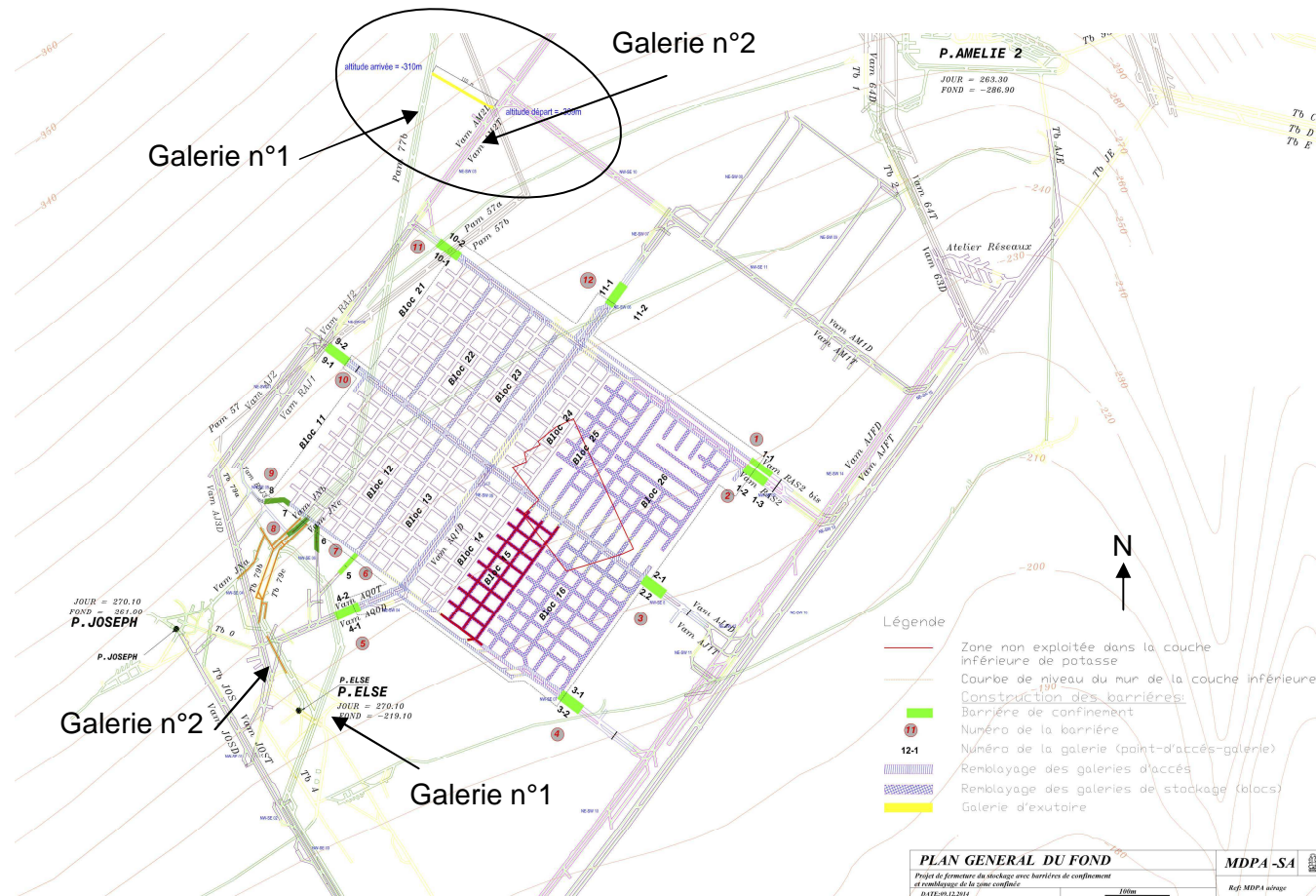


Figure 73 : Galerie favorisant un court-circuit hydraulique (source : StocaMine).

L'eau douce aurait alors tendance à s'accumuler derrière les barrages au point bas de StocaMine : un risque de dissolution partielle du sel apparaît donc sur les secteurs accessibles gravitairement par l'eau. Cette dissolution pourrait altérer l'ancrage des barrages.

Afin d'éviter la sollicitation des barrages pendant la phase d'envoyage, une attention particulière sera portée au remblayage des puits (cf. 6.1.2.5) afin d'empêcher les venues d'eau. En complément une « galerie d'exutoire » est également prévue.

Cette galerie aura pour objectif de favoriser un écoulement gravitaire de la saumure depuis les puits jusqu'à la mine sans passer par les accès au stockage.

Le positionnement de la « 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 73.

La galerie n°1 (représentée en vert) part des puits de mine à une cote supérieure à la galerie n°2 (représentée en violet-rouge), puis elle plonge en suivant le pendage de la couche de potasse et se situe ainsi, quand elle se trouve au nord du stockage, à une cote plus basse que ce dernier.

La galerie exutoire fera le lien entre la galerie n°1 et la galerie n°2 au nord du stockage, permettant l'évacuation gravitaire des eaux passant par la galerie n°2 vers le reste de la mine de potasse (évitant les stagnations d'eau dans le secteur proche du stockage).

La figure ci-contre représente une vue « 3D » (très schématisée) du site depuis le nord.

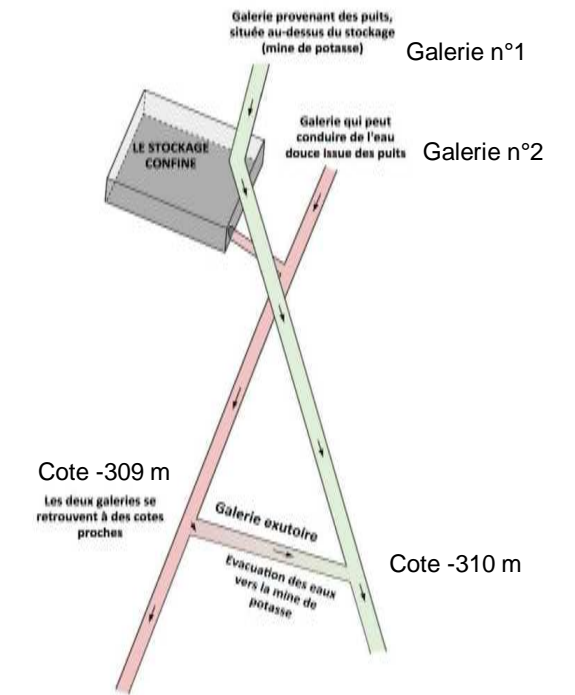


Figure 74 : Schéma de principe de la galerie exutoire.

En cas d'intrusions d'eau par les puits de mine, la galerie exutoire permettra d'assurer un cheminement de l'eau vers la mine pour éviter des accumulations d'eau près de la zone confinée.

6.1.2.4. Remblayage du stockage

Les zones à remblayer sont représentées sur la figure 70.

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) mais qui pourraient aussi concerner les autres galeries, au cours du temps, principalement là où elles présentent les plus fortes largeurs.

Il aura également pour rôle d'assurer, par la porosité des matériaux⁸² utilisés, un effet retard supplémentaire lors du remplissage du stockage par la saumure, dû à un volume plus important de vides résiduels (estimé à environ 100 000 m³) au moment de l'envoyage de StocaMine s'il se produit.

⁸² : Les vides entre les déchets ou les remblais et les parois du stockage seront fermés du fait du fluage du sel. La porosité au sein des déchets et des matériaux de remblayage se refermera plus lentement, constituant un volume dont le remplissage en cas d'arrivée de saumure retardera d'autant l'envoyage complet du stockage alors qu'en absence de matériaux de remplissage la cicatrization par le sel présenterait une porosité beaucoup plus faible.

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. 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. Le but est d'éviter la fragilisation des terrains du stockage. Bien entendu, les éventuelles cloches d'éboulement ne parviendraient jamais 25 mètres plus haut mais pourraient contribuer à fragiliser l'imperméabilité du toit entre le stockage et les vieux travaux supérieurs.

Les endoscopies réalisées dans les galeries d'infrastructure du stockage les plus larges montrent aussi que le toit présente parfois aussi des décollements proches. Ces galeries seront donc également remblayées. Le matériau de remblayage aura pour vocation de limiter la descente du toit. L'INERIS précise que cette recommandation pourra être modulée en tenant compte d'investigations complémentaires. L'exploitant MDPA prévoit donc, par prudence, de combler les galeries d'infrastructures internes du stockage.

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 et des galeries aurait un intérêt essentiellement lorsque la saumure aura réussi à traverser les barrières, c'est-à-dire au bout de plusieurs siècles, car les matériaux de remblayage garderont une certaine porosité malgré le fluage du sel. Ainsi, le délai pour que la saumure envahisse cette porosité (et remplisse tout le stockage) permettra de retarder la sortie potentielle de saumure polluée. Ceci réduira les débits expulsés du stockage puis des barrières, du fait de la diminution du phénomène de compaction.

Cette mesure, assurant une sécurité supplémentaire par rapport aux calculs réalisés par l'INERIS⁸³, est retenue par les MDPA.

Les travaux associés sont conséquents, le volume de matériau étant estimé à environ 55 000 m³ pour le remplissage des galeries de stockage vidées et autour de 90 000 m³ pour les parties non stockées des blocs (estimation Ercosplan).

⁸³ : 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 pénétrant dans le stockage).

Le remblayage peut être réalisé avec des coulis à base de cendres volantes. L'utilisation d'autres matériaux sera également étudiée (sous réserve qu'ils soient adaptés à l'objectif recherché et au contexte géologique et chimique particulier : 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 MDPA. 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'envoyage, 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 réaliser une couronne d'injection à la base de la zone cuvelée et à remplir la totalité des puits au-dessus des manchons bétonnés ancrés dans les recettes fond au moyen d'un coulis cendre/ciment et de bouchons de cendres volantes (cf. figure 75).

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,
- remblayage des blocs restés vides et des galeries d'infrastructure du stockage ,
- creusement d'une galerie exutoire entre les puits Joseph et Else et les vieux travaux sous-jacents,
- couronne d'injection à la base du cuvelage de ces puits pour limiter le débit d'infiltration pendant la phase d'envoyage.

(Ces deux dernières actions visant à limiter le contact entre une eau non saturée en sel et les barrières de confinement du stockage souterrain).

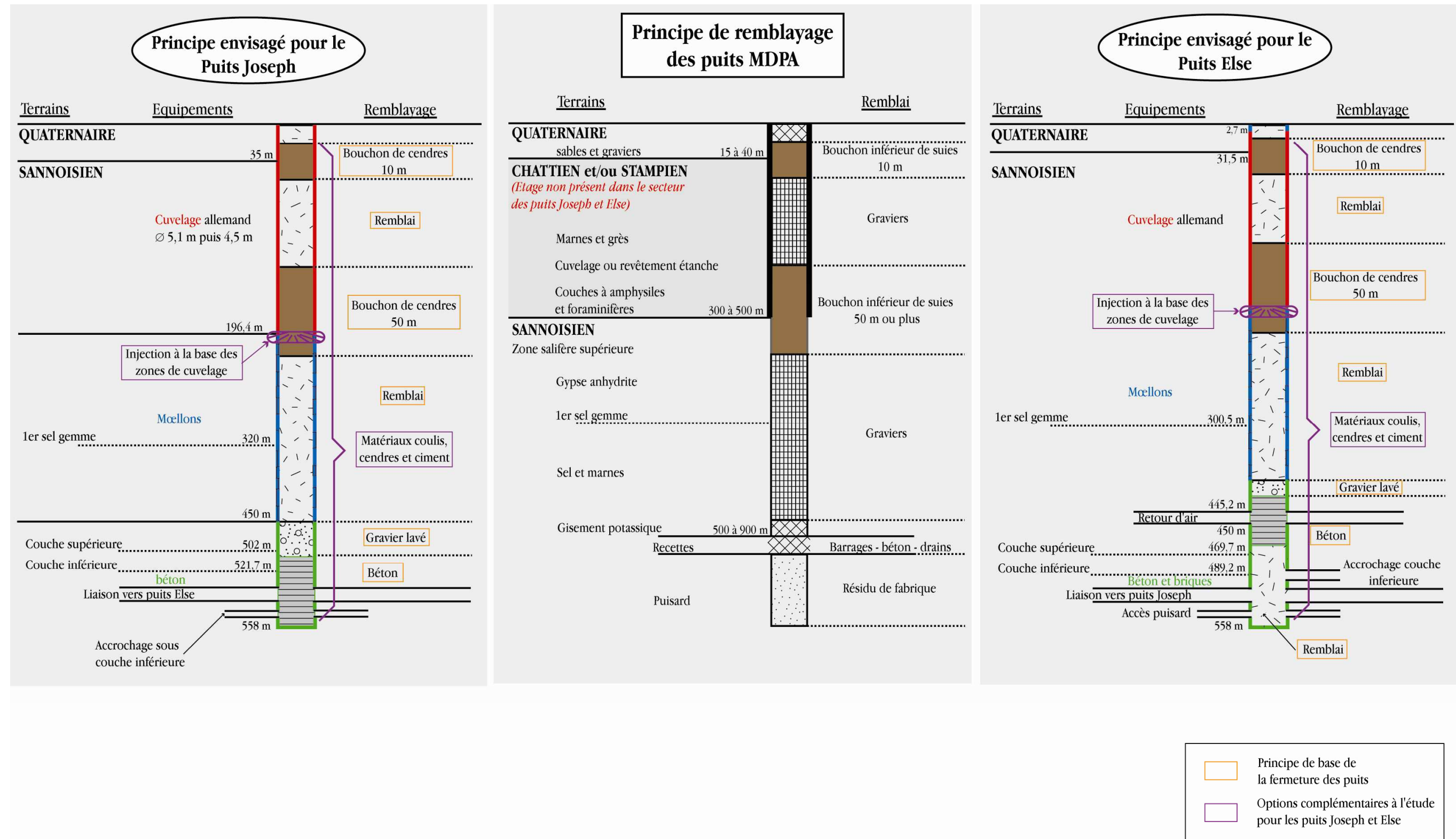


Figure 75 : Schéma de principe, fermeture des puits Joseph et Else.

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 (études INERIS, réflexions en cours MDPa). 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

La possibilité de remobilisation des polluants stockés en souterrain fait suite à l'hypothèse d'un ennoyage progressif de l'ancienne mine de potasse par des infiltrations passant par les puits de mine fermés, malgré leur remblayage.

L'ennoyage du secteur ouest des MDPa a vraisemblablement commencé depuis les années 1950, à l'occasion de la fermeture des premiers puits de mine. Toutefois, aucun ouvrage ne permet de vérifier cette hypothèse. Seuls les secteurs les plus profonds au nord du stot et à l'aval du puits Max (représentés en orange foncé sur la figure 76) pourraient être remplis de saumure.

Concernant la mine Amélie (au sud du stot, figure 76), étant donné la présence du stockage souterrain StocaMine, il a été admis qu'un ouvrage de suivi était nécessaire⁸⁴.

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]. Le secteur ouest de l'exploitation est composé de 7 bassins différents en cours d'ennoyage, reliés entre-eux à certains niveaux ; le stockage se situe dans celui 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 ;

⁸⁴ La nécessité d'un ouvrage de suivi de l'ennoyage avait été soulevée par le Comité de Pilotage qui suivait le dossier StocaMine lors de la première phase de concertation. Par ailleurs, dans le cadre du dossier de fermeture des MDPa et en application des dispositions de l'article L.174-1 du Code Minier, la DREAL a prescrit, dans un courrier en date du 14 septembre 2012, la mise en place d'une surveillance de l'ennoyage des travaux anciens.

- être, si possible, en eau dès la mise en service afin de lever le doute sur la communicabilité entre bassins et la fermeture naturelle des foudroyages des tailles exploitées ;
- 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 (validé auprès des administrations concernées) est représenté sur la figure 76.

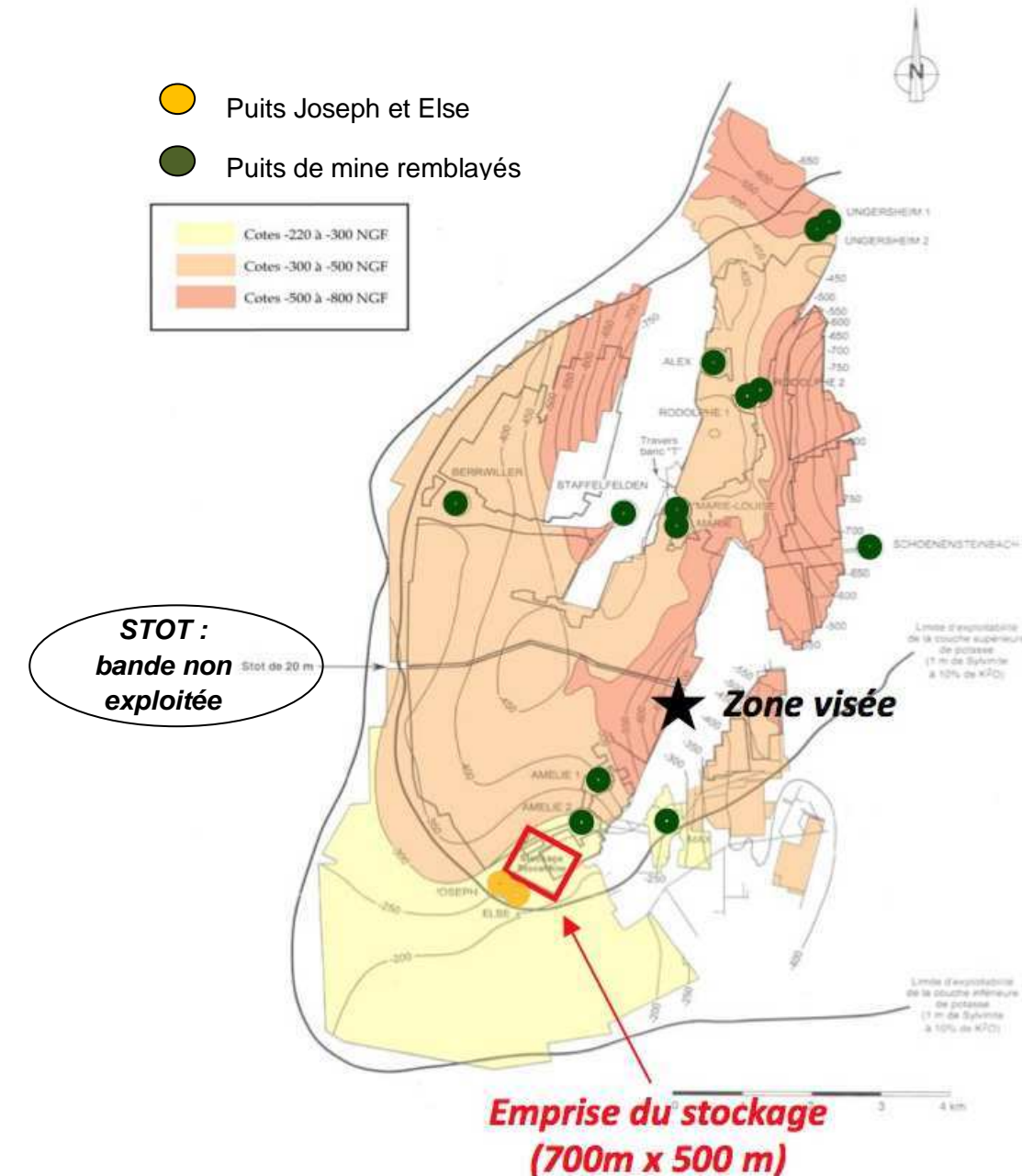


Figure 76 : Forage de surveillance de l'ennoyage (source : MDPa)

La position en surface est précisée sur la figure 77 : le site retenu est éloigné de toute habitation et accessible par un chemin communal existant.

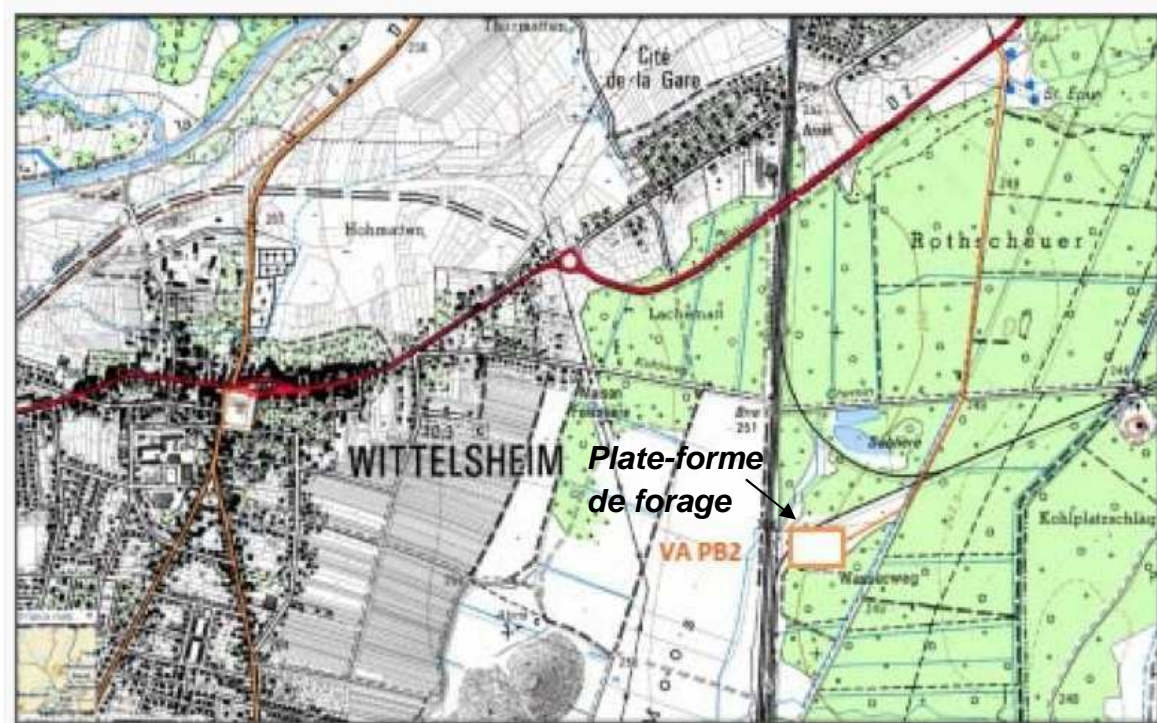


Figure 77 : Implantation prévue du forage de surveillance de l'ennoyage (source : MDPa).

L'entreprise FORACO a été retenue par les MDPa (suivi assuré par GEO-RS) pour réaliser un forage de 900 mètres atteignant les anciens travaux miniers de potasse, dans le point bas de la mine Amélie. Ce forage est dénommé « VA PB2 », le compte-rendu de l'ouvrage a été transmis à la DREAL.

Le forage a recoupé les formations suivantes :

- sables et argiles de l'Holocène (40 m d'épaisseur),
- argiles, sables et grès du Würm (40 m d'épaisseur),
- argiles et marnes du Stampien (300 m d'épaisseur),

avant d'atteindre les formations salifères.

Dans les formations salifères (marnes, argiles, halite), le suivi à l'avancement (entre 400 m et 800 mètres) a permis de montrer l'absence de venues d'eau et l'absence de gaz.

A l'approche du toit de la couche supérieure de potasse (située à 890 mètres de profondeur), le forage a rencontré une zone fortement déconsolidée (créant des difficultés dans la poursuite du forage). Les carottes de forage confirment la fracturation des terrains.

A la profondeur de 898,5 mètres une perte totale de fluide de foration s'est produite brutalement, marquant l'arrivée dans le foudroyage de la couche supérieure. Les vides y sont donc importants. Le forage a dû être arrêté à cette cote (il n'a donc pas pu atteindre la couche inférieure, plus profonde, qui était visée). Une sonde piézométrique a été descendue dans le forage et a dépassé l'extrémité forée du trou de 1 mètre, révélant un vide conséquent. Aucun fluide n'a été détecté.

L'existence de vides résiduels à une telle profondeur constitue une observation qui prouve que les hypothèses prises par l'INERIS dans l'étude de l'ennoyage de la mine sont des hypothèses sécuritaires (si les volumes de vides sont plus importants, l'ennoyage de la mine sera plus long qu'annoncé).

L'ampleur des vides indique que les vieux travaux miniers communiquent probablement encore entre eux. Des mesures de pression d'air sont encore en cours pour comparer les pressions mesurées au sein de la mine accessible avec les pressions mesurées dans le sondage et disposer ainsi d'une indication sur la communication des vides miniers.

A l'heure actuelle, l'ennoyage de ce secteur n'a pas vraiment commencé mais les MDPa vont reprendre le trou foré pour atteindre le foudroyage de la couche inférieure qui est beaucoup plus épais du fait de la hauteur de potasse qui y a été exploitée.

Cette intervention, qui sera réalisée en 2015, permettra de disposer d'un ouvrage plus large en fond de trou pour y installer des instruments de suivi (dans le forage actuel : des phénomènes de cristallisation empêchent de laisser une sonde en permanence à cause du faible diamètre terminal de l'ouvrage).

Le forage VA PB2 a atteint la couche supérieure de potasse exploitée.

Des vides importants sont encore présents (le fluage ne les a pas fermés malgré la pression lithostatique élevée à presque 900 mètres de profondeur). Ces éléments sont rassurants puisque si les vides restent ouverts ils sont plus lents à remplir.

L'ennoyage de ce secteur (le plus profond de la mine Amélie) n'a pas encore commencé ou n'en est qu'à ses prémices.

Le forage sera réutilisé pour atteindre la couche plus profonde (avec un diamètre plus important en fond pour transformation en ouvrage de suivi).

Remarque :

Toutes les précautions ont été prises pour que cet ouvrage ne constitue pas un point d'entrée d'eau vers la mine. Son étanchéité a été vérifiée. En cas d'abandon, il sera remblayé dans les règles de l'art.

6.2.2. Suivi de la nappe alluviale

• Réseau de suivi existant :

Un réseau de suivi conséquent permet d'étudier la qualité de la nappe d'Alsace (suivis pour l'alimentation en eau potable, etc.).

Plus précisément à l'aplomb des mines de potasse, un suivi spécifique est réalisé par le Département de Prévention et de Sécurité Minière du BRGM (pour le compte de la DREAL) concernant les chlorures générés par les terrils miniers (cf. paragraphe 2.1.4.2.b - page 41). De nombreux piézomètres sont donc situés à l'aval hydrologique des puits de la mine Amélie.

La figure 78 présente ainsi le réseau de suivi existant (source : BRGM) et le panache de saumure polluée (paramètre mercure) qui est obtenu par simulation de l'évolution à long terme du stockage souterrain.

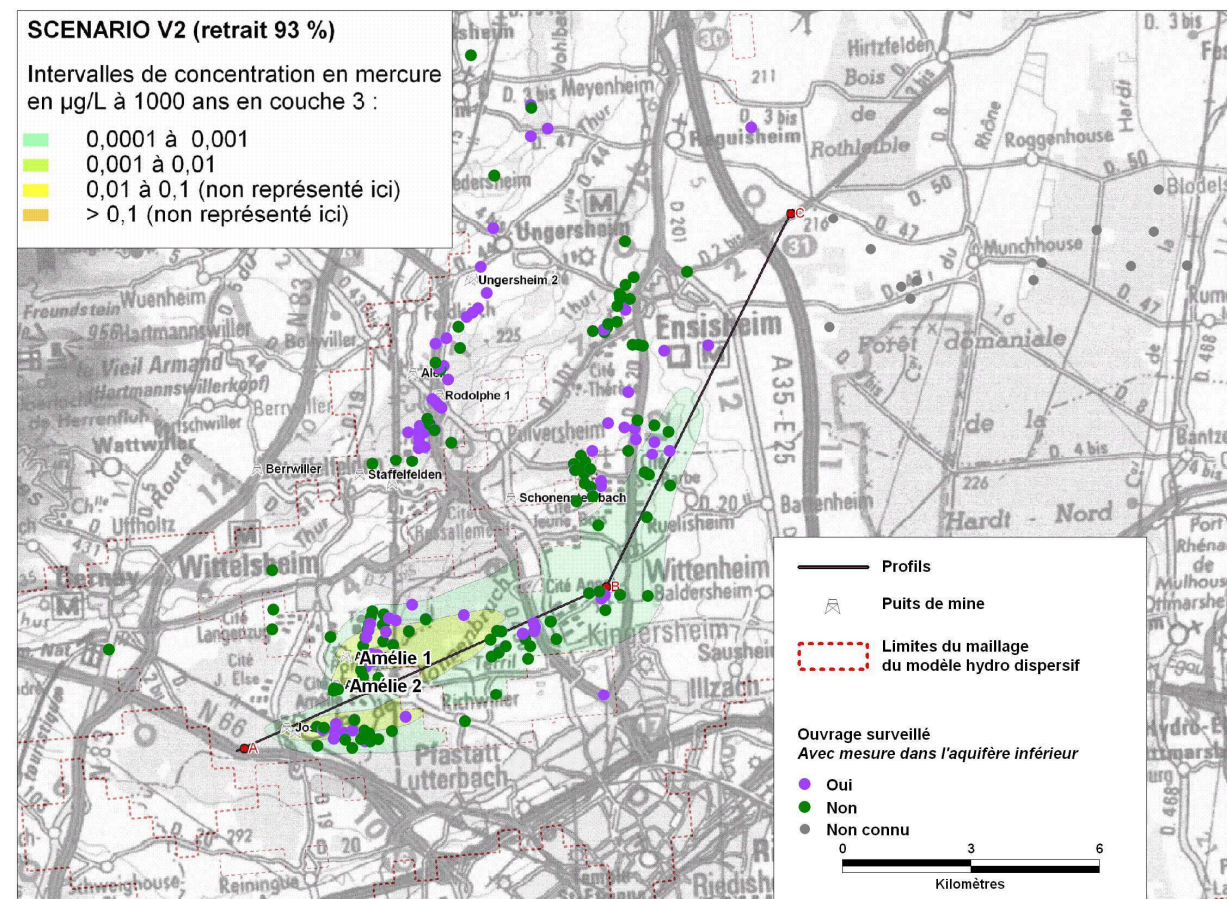


Figure 78 : Réseau de piézomètres existants permettant un suivi de la nappe à l'aval des puits de la mine Amélie.

Sous réserve de la pérennisation de ces ouvrages de suivi sur du long terme, ils permettraient :

- de détecter une éventuelle sortie de saumure (chlorures) par les puits de mine, qui traduirait alors la fin de l'ennoyage de la mine potasse,
- de détecter une éventuelle sortie de contaminant (ne pouvant intervenir qu'après les premières sorties de saumure).

• Réseau de suivi complémentaire :

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 potentiel de saumure. Pour cela, des piézomètres devront être implantés au minimum à l'aval immédiat des 5 puits de la mine Amélie, par lesquels la saumure polluée risque de sortir et si possible 5 en amont (pour s'assurer que les polluants ne proviendraient pas de l'amont hydrologique, sans lien avec les puits de mine).

La réalisation de ces 10 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.**

Les piézomètres seront à réaliser dans les règles de l'art (capot de protection, ...). Ils devront atteindre le niveau profond de la nappe (si nécessaire, isoler les 3 niveaux de nappes pour pouvoir réaliser des mesures différenciées). Les emprises de servitude devront inclure l'accès pour la réalisation des piézomètres (matériel lourd type foreuse).

• Paramètres :

Des analyses périodiques de contrôle de la qualité de la nappe sont à prévoir :

- o en amont et en aval des puits Joseph et Else (surveillance prévue dans le cadre de l'arrêté)
- o en amont et en aval des puits Max et Amélie 1 et 2.

Le premier paramètre à suivre est, comme dans le suivi DPSM actuel les teneurs en chlorures puisqu'elles mettraient en évidence la fin de l'ennoyage de la mine (à corrélérer avec le suivi piézométrique de l'ennoyage).

Les paramètres à analyser, au regard de la présence du stockage, seront les métaux prioritaires présents dans les déchets (As, Cd, Cr, **Hg**, Pb) et les cyanures (CN).

6.2.3. Suivi des puits de mine

Comme pour tous les autres anciens puits de la mine de potasse (dont Amélie 1, Amélie 2 et Max), le Département de Prévention et de Sécurité Minière du BRGM assurera la surveillance des ouvrages Joseph et Else, :

- contrôle des têtes de puits (vérification de l'absence de mouvement des remblais),
- contrôle de l'absence de gaz
- entretien des abords.

Spécifiquement en lien avec la présence de l'ancien stockage de déchets, la surveillance de l'atmosphère gazeuse sous les dalles des puits 5 puits de la mine Amélie inclura, à minima, acide cyanhydrique et mercure élémentaire.

6.2.4. Moyens d'intervention

La sortie de polluants n'interviendra qu'après une sortie potentielle de saumure. La saumure sera donc un premier indice de l'évolution conforme ou non du système minier (une sortie de saumure ne signifie pas pour autant une future sortie de polluant puisque le confinement jouera son rôle).

Si, au cours du suivi qualité, une dégradation venant de la mine était enregistrée dans la qualité de l'aquifère, plusieurs moyens d'intervention pourraient permettre de capter la pollution et d'éviter sa diffusion dans la nappe alluviale.

Etant donné les échéances auxquelles correspondent une sortie éventuelle de polluant (>300 ans), on peut penser que des technologies nouvelles pourront être proposées. Toutefois, sur la base des techniques actuelles, on peut envisager (études en cours, source : MDP) :

- une solution d'isolement du puits de mine où cette pollution serait constatée (solution la plus simple) ;

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.

- la réalisation d'un pompage directement dans l'enceinte minière ;

Ce dispositif consisterait à pomper directement dans l'enceinte minière. Il pourrait utiliser les forages de suivi de l'ennoyage (sous réserve d'un lien hydrologique franc) ou être réalisé à partir d'un forage spécifique (réalisé dans le stockage). L'objectif serait de créer une différence piézométrique entre la mine (le stockage) et la nappe alluviale pour que le gradient d'écoulement ne soit plus dans le sens mine vers nappe. Etant donné les phénomènes mis en jeu, les débits à pomper seraient très faibles (contrairement à ce qui se pratique actuellement sur d'autres mines, comme en Moselle).

On peut également envisager que si des fuites étaient très localisées, à l'extrados d'un puits par exemple, des procédés d'injection pour mieux isoler ces puits à la base de la nappe pourraient être envisagés.

6.3. Mémoire du site, servitudes et restrictions d'usage

6.3.1. Mémoire du site

Des mesures seront prises pour **garder la mémoire du stockage**, elles consisteront en :

- l'indication de l'emplacement 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 car les points de sortie potentielle de la saumure polluée (les puits de mine) font de toute façon déjà l'objet d'un suivi.

6.3.2. Servitudes

- Servitudes pour la réalisation de piézomètres de suivi de la nappe alluviale autour des 5 puits de la mine Amélie

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.

- Restrictions d'usage de la nappe alluviale à l'aval immédiat des 5 puits de la mine Amélie

Une mesure de sécurité supplémentaire consiste à prévoir, en surface, des servitudes et restrictions d'usage (interdisant notamment tout pompage de l'eau) 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 d'abord dans la mine puis au débouché dans la nappe, elles pourraient en toute rigueur être plus importantes que les concentrations calculées dans le modèle, dans l'hypothèse d'un pompage qui serait localisé très près des points de sortie et qui aspirerait la saumure polluée avant qu'elle n'ait pu se diluer dans la nappe.

Le détail de ces servitudes fera l'objet d'un examen point par point en fonction de chaque situation.

Cela ne concernera que quelques hectares.

- Interdiction de forage profond à l'aplomb du stockage souterrain

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 (environ 35 ha) 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 par des serrements (au minimum 4 ouvrages prévus, page 29 [1]), 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.

L'approche développée et proposée va plus loin que celle qui avait été énoncée lors du dépôt de dossier en 1996 (tableau 56), du fait des avancées techniques et scientifiques. 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 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 principalement à un **renforcement des mesures de confinement**.

Le déstockage partiel est considéré comme une mesure préalable, non nécessaire dans la mesure où les calculs d'impact montrent l'absence de dégradation de la nappe alluviale d'Alsace même sur le long terme, mais présentant un gain très intéressant de marge de sécurité.

	Dossier d'autorisation initiale, option de stockage illimité	Projet actuel
Déstockage préalable		<ul style="list-style-type: none"> • Déstockage ciblé des déchets les plus riches en mercure
Fermeture des puits de mine	<ul style="list-style-type: none"> • Remblayage MDPA matériaux fins peu perméables 	<ul style="list-style-type: none"> • Remblayage MDPA matériaux fins peu perméables et couronnes d'injections
Confinement des déchets	<ul style="list-style-type: none"> • serrements de 5-6 m de long, en maçonneries et béton 	<ul style="list-style-type: none"> • Remblayage des galeries vides • Traitement du sondage W3 • 12 barrières (dont 5 sur galeries simples et 7 sur doubles galeries), fermant toutes les galeries d'accès (murs de stabilité + noyau de très faible perméabilité)
Suivi	<ul style="list-style-type: none"> • 5 piézomètres (5 puits de la mine Amélie) 	<ul style="list-style-type: none"> • 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		<ul style="list-style-type: none"> • Interdiction des pompages en aval immédiat des 5 puits de la mine Amélie sans analyse détaillée préalable • Interdiction de forage profond à l'aplomb du stockage de déchets
Mémoire		<ul style="list-style-type: none"> • Inscription aux documents d'urbanisme : puits, emprise en surface du stockage en souterrain

Tableau 56 : 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 devront être adaptés aux contraintes locales au fur et à mesure de l'avancement du projet, ou bien correspondent à des travaux rarement effectués (le cas étant unique en France). L'estimation de leurs coûts est donc rendue très délicate.

Le présent chapitre propose donc plutôt un récapitulatif de l'ensemble des études et travaux déjà réalisés ou prévus, pour lesquels une enveloppe financière a été estimée.

Des appels d'offres seront encore lancés pour établir des devis les plus ajustés possibles tout en respectant les exigences de performance demandées.

Travaux préparatoires :

- traitement du sondage W3,
- recalibrage et remise en état des voies d'accès,
- auscultations des parois,
- injections (trous de dégazages, ...).

Déstockage partiel (déchets contenant du mercure) :

- déstockage et reconditionnement⁸⁵,
- transport,
- stockage dans la mine de sel de Sondershausen (Allemagne)⁸⁶ pour la première partie du déstockage partiel au moins.

Pilotes de chantier / tests préalables :

- barrage pilote pour tester les modalités de mise en place des matériaux et instrumentation de l'évolution des performances (contraintes et perméabilités) des terrains avoisinants.

⁸⁵ : Le coût de cette étape a été particulièrement difficile à estimer avant le lancement des travaux de déstockage. Actuellement le reconditionnement des déchets, quasi systématique et à effectuer en souterrain, constitue un poste de dépense très important et allonge les délais prévus pour le déstockage.

⁸⁶ : Le coût de la prise en charge en surface et du restockage est de l'ordre de 400 € / tonne de déchets à restocker. Le déstockage engagé est prévu pour deux blocs. Un autre appel d'offre sera lancé pour la suite du déstockage.

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 qui ne seraient pas cédés.

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,
- 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 79).

L'optimisation des délais passera par la coordination de plusieurs chantiers en même temps en souterrain (tests / déstockage, remblayage / barrières, ...). Les travaux de fermeture ne pourront être engagés qu'au terme de la procédure d'instruction du dossier, marqué par la promulgation d'un arrêté préfectoral, et après les délais d'appel d'offres.

Globalement, le projet qui a été initié mi-2013 et modifié en septembre 2014 devrait se dérouler sur 10 ans.

Hors déstockage, le coût du projet est estimé autour de 90-100 millions d'euros.

Le prix du déstockage est très incertain car il faut s'adapter au fur et à mesure de l'avancement à des conditions de plus en plus défavorables ; il est actuellement estimé autour de 90 millions d'euros.

Tous les financements proviennent des subventions de l'Etat.

Calendrier de fermeture

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
dépôt du dossier de cessation d'activité	☆	☆										
instruction du dossier de cessation d'activité		Concertation	Tierce expertise									
déstockage du mercure dans les Blocs 12, 21, 22 et 23 (93 % Hg)		Travaux préparatoires, appels d'offres et études										
pilote de confinement			Travaux préparatoires, appels d'offres et études		Instrumentation, contrôles et suivi							
construction des barrages de confinement						Travaux préparatoires, appels d'offres et études						
remplissage du Bloc 15, des blocs non stockés et des galeries d'accès												
désarmement des puits												
remblayage des puits												
démantèlement jour												

- ☆ Dossier avant concertation
- ☆ Dossier après concertation

Figure 79 : Planning prévisionnel (données : MDPa 2014).

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'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 était 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 (soumise au code minier) et de celle de StocaMine était assurée par deux **conventions bipartites**⁸⁷. Depuis le 1^{er} janvier 2014, MDPa (actionnaire unique l'Etat) a absorbé StocaMine, reprenant droits et obligations liées au stockage souterrain. MDPa est ainsi devenu propriétaire des installations souterraines de StocaMine et de la parcelle 254 en surface (cf. extrait cadastral figure 80).

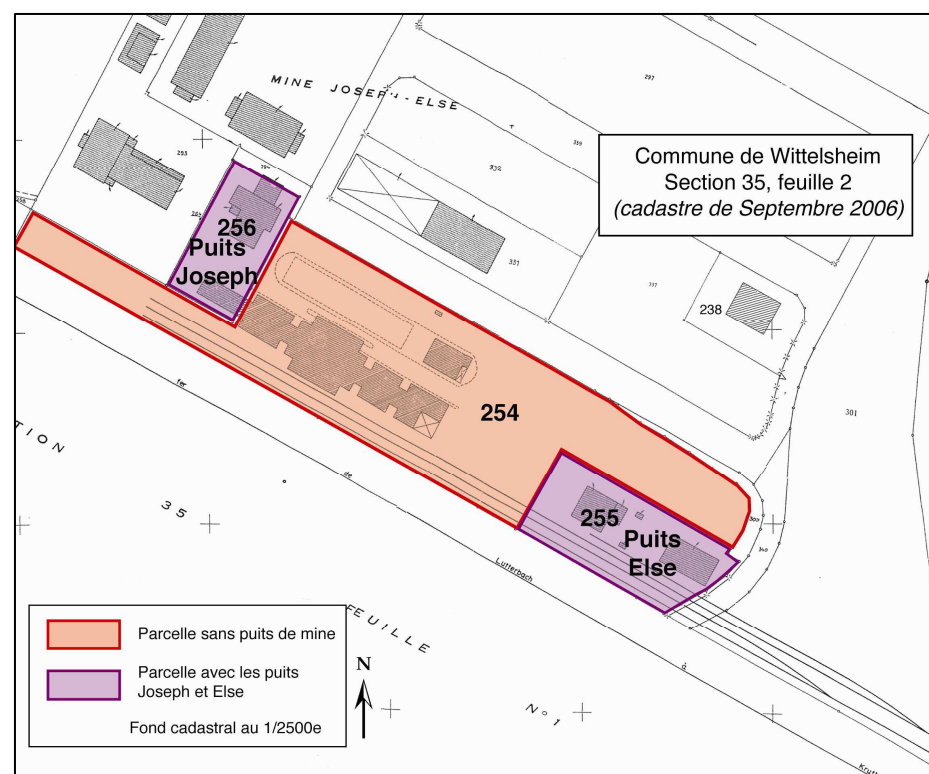


Figure 80 : Extrait cadastral, parcelles concernées par les installations de surface.

⁸⁷ : une convention relative aux modalités de mise à disposition des cavités et une convention fixant les conditions d'utilisation des parties communes.

Les MDPa sont ainsi propriétaires à la fois des parcelles 255 et 256 (section 35) sur lesquelles sont implantés les puits Joseph et Else et leur machine d'extraction, et de la parcelle 254 attenante (section 35) sur laquelle se trouvent les bâtiments autrefois propriété de StocaMine.

Après confinement des déchets de StocaMine, les MDPa réaliseront un dossier d'abandon des concessions minières Amélie. Ce dossier détaillera alors le devenir des terrains propriété des MDPa.

La société StocaMine a été absorbée par les Mines de Potasse d'Alsace.

Les MDPa sont propriétaires des parcelles sur lesquelles sont implantés le puits Else, le puits Joseph et les bâtiments appartenant anciennement à StocaMine.

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 82, page 178) : zone réservée aux **activités industrielles, artisanales et commerciales** - zone d'activités Joseph-Else / Heiden.

Les **infrastructures de surface associées au stockage 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 terroir Else est spécifiquement classé en zone UEe (stockage et traitement des résidus miniers).

7.3. Servitudes d'utilité publique actuelles

Les trois parcelles sur lesquelles sont implantées des infrastructures de surface sont concernées par deux servitudes inscrites au PLU (cf. figure 83) :

- 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.

7.4. Compatibilité du projet

- Parcelle 254 section 35 :

La parcelle 254 ne présente que des installations de surface. Aucune servitude liée aux puits de mine ne sera donc demandée par les MDPAs (les périmètres de sécurité autour des puits étant de quelques mètres seulement). Cette parcelle pourra donc être destinée à un usage industriel, artisanal ou commercial, comme prévu pour ce secteur dans le PLU (zone UEc).*

Seuls deux piézomètres de surveillance de la nappe alluviale et un piézomètre de suivi du bassin de rétention sont implantés sur la parcelle (cf. figure 22 page 44). Le piézomètre de suivi du bassin de rétention pourra être supprimé. Les deux autres piézomètres présentent peu d'intérêt pour la surveillance à long terme de la nappe, car ils ne sont pas situés dans l'axe d'écoulement de la nappe passant par le puits Joseph ou le puits Else. Ils pourront être supprimés.

Quelques mètres carrés de la parcelle pourraient être réservés pour l'implantation de deux nouveaux piézomètres (cf. paragraphe suivant) sans gêner notablement l'utilisation future de la parcelle.

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 ferroviaires).

- Demande de servitudes :

Le présent dossier concerne uniquement la fermeture du stockage souterrain de déchet. Les MDPAs réaliseront un dossier d'abandon de concession pour les concessions de Max, Amélie, Joseph et Else. Des prescriptions plus précises **autour des puits de mine** seront alors présentées.

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.

MDPA propose de prévoir la réalisation de **piézomètres de surveillance de la qualité de la nappe**. 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).

Les piézomètres aval seront implantés 30 à 60 mètres en aval des puits de mine, dans une direction comprise entre 85 et 90° est pour les puits Joseph et Else, 60 et 80° est pour les puits Max et Amélie 1 et 20 à 40° est pour le puits Amélie 2.

Tous les piézomètres devront descendre jusqu'à la base de la nappe alluviale. Ils permettront d'assurer un suivi qualitatif de la nappe en aval puits des 5 puits de la mine Amélie.

Bien que le risque de diffusion de polluant depuis le stockage souterrain confiné soit très faible⁸⁸, l'INERIS préconise de mettre en place une **restriction d'usage de la nappe alluviale à l'aval immédiat des cinq puits de la mine Amélie**.

Les piézomètres « aval puits » du réseau de suivi renseigneront sur la qualité de la nappe dans le secteur où ils seront implantés : plus en aval les sorties potentielles de saumure seront plus diluées, mais plus en amont (entre le puits de mine et le piézomètre) elles seront moins diluées.

Il est donc proposé de définir deux niveaux de restriction d'usage (cf. figure 81).

Le suivi ne permettra pas de préciser la qualité de la nappe dans le périmètre compris entre le puits et le piézomètre aval, celui-ci est à classer en périmètre de restriction élevée (périmètre A).

⁸⁸ : Les démonstrations qui conduisent à retenir cette éventualité se basent sur des hypothèses pessimistes, dans un souci sécuritaire.

En aval des piézomètres « aval puits » (périmètre B) une autorisation sera à demander et son acceptation dépendra des caractéristiques de qualité mesurées sur le piézomètre aval.

Dans les deux cas, **l'objectif est d'éviter l'utilisation de la nappe alluviale sans analyse préalable**, par un éventuel usager qui implanterait un pompage à moins de 125 mètres de l'un des puits de mine.

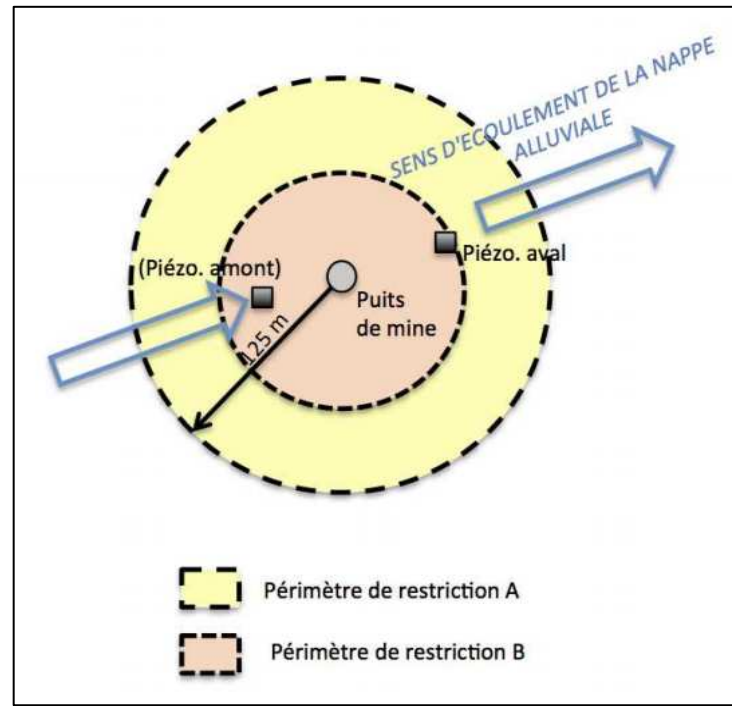


Figure 81 : Périmètre de restriction d'usage autour d'un puits de mine.

Les analyses préalables à tout usage devront se faire dans les conditions de sollicitation de la nappe prévues par l'usager.

Dans la mesure où ces restrictions ne seront mises en place qu'au terme du confinement du stockage, MDPA fera réaliser une étude spécifique pour préciser les restrictions qui seront demandées et les périmètres associés.

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. Une restriction d'usage sera imposée sur la nappe alluviale en aval immédiat uniquement des 5 puits de la mine Amélie.

N.B. : L'administration pourra émettre de nouvelles prescriptions susceptibles de se transformer en servitudes.

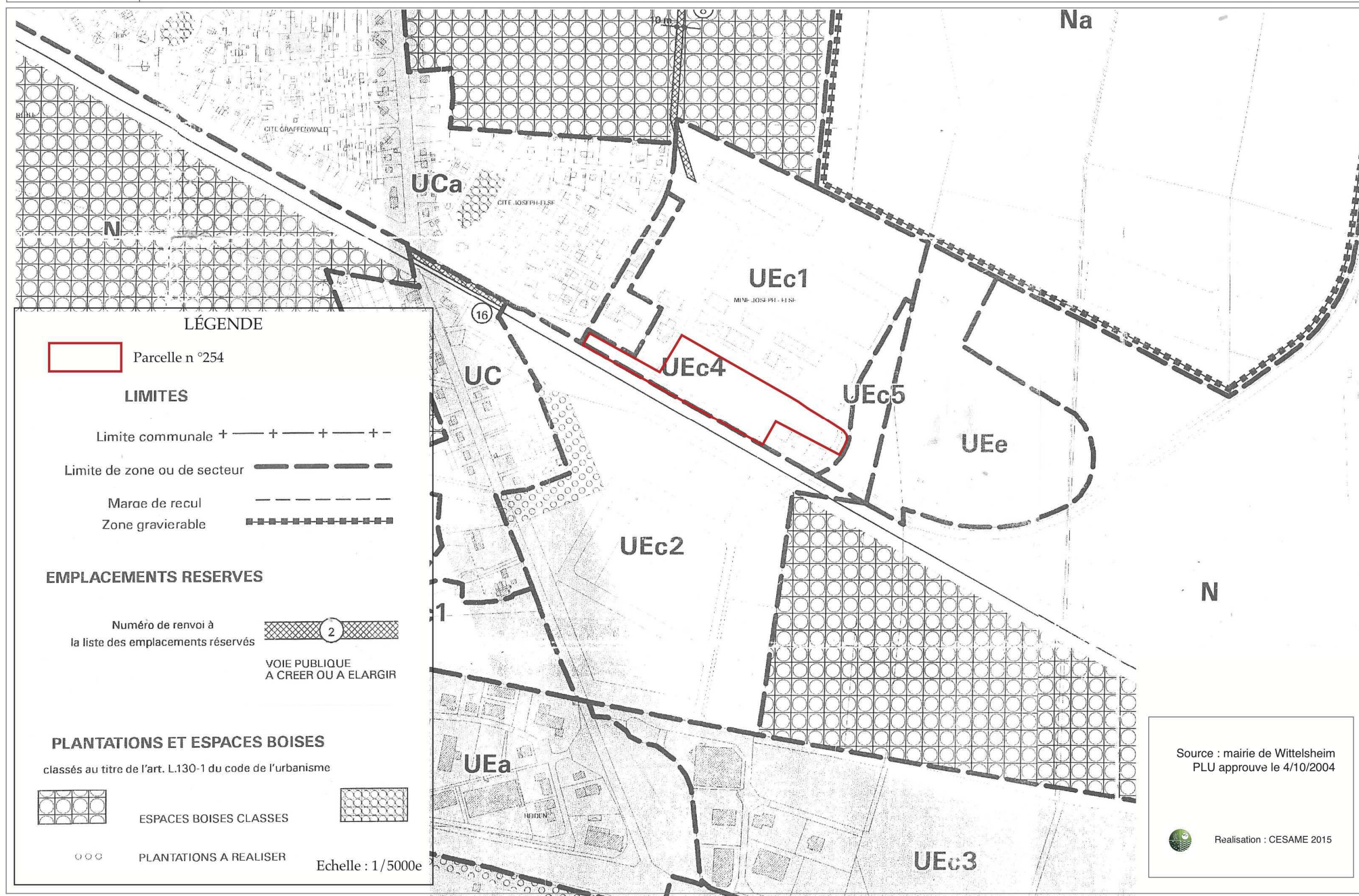
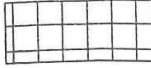
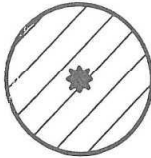
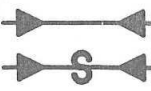






FIGURE 82 : SERVITUDES INSCRITES AU PLU




LÉGENDE DES SERVITUDES

	A 1	Bois et forêts soumis au régime forestier	Direction Régionale de l'Office National des Forêts Code Forestier
	AC 1	Protection des Monuments Historiques	Service Départemental de l'Architecture et du Patrimoine - COLMAR - Loi du 31.12.1913 - Ancien dépôt Pompiers Carreau minier Joseph Elso rue forestière Inscrit sur l'inv. suppl. des M.H. le 25.05.1990 et 14.02.1991 Classé M.H. le 21.01.1993 - Salle des fêtes Grossegert Inscrite à l'inv. suppl. des M.H. le 30.06.1998 - Vestiaire du puits Joseph Elso Inscrite à l'inv. suppl. des M.H. le 28.09.2005
	I 4	Lignes électriques	E.D.F. - G.D.F. Distribution Alsace 2, Rue de l'In 68055 MULHOUSE Cedex - Loi du 15.06.1906 - Arrêté du 13.02.1970
		Aériennes	
		Souterraines	
	T 1	Zone ferroviaire en bordure de laquelle peuvent s'appliquer les servitudes relatives au chemin de fer	S.N.C.F. Agence Immobilière Régionale 3, Boulevard du Président Wilson 67083 STRASBOURG Cedex - Loi du 15.07.1845 - Décret n° 730 du 22.03.1942 - Code Minier - Art. 84 et 107 - Code Forestier - Art. L 322-8 - Loi du 29.12.1892 - Décret loi du 30.10.1935 modifié en Art. 6 par la loi n° 957 du 27.10.1942 - Décret n° 59-962 du 31.07.1959 - Décret n° 64-262 du 14.03.1964 - Décret n° 69-601 du 10.06.1969 - Décret n° 80-331 du 07.05.1980

Echelle : 1/5000e

 Parcelle n°254

Source : mairie de Wittelsheim
PLU approuvé le 4/10/2004

 Réalisation : CESAME 2015

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] [68]	B. NEDLEC (Responsable d'étude et recherche DRA / Unité Evaluation des risques) J-C. PINTE (Ingénieur à la Direction des Risques du Sol et du Sous-sol)
Mesures de maîtrise du risque	INERIS	[67] [72]	F. LAOUAFA (Ingénieur à l'unité Risques Naturels, Ouvrages et Stockages à la Direction des Risques du Sol et du Sous-Sol) 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 Engineering (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 potentiels 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 études [1] à [48]).
- 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, géochimie, 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 du site de stockage. Ce travail a conduit dans un premier temps 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 du scénario « de référence » initial (confinement de l'ensemble des déchets par des barrières de très faible perméabilité) ;
- les moyens de maîtrise des risques (MMR) permettant de réduire autant que possible ces impacts.

Parmi les moyens de maîtrise des risques, l'option d'un déstockage partiel de la masse de mercure présente dans le stockage a fait l'objet d'études complémentaires par BMG [79] et l'INERIS, afin de comparer différents scénarios de déstockage et d'évaluer les variations du terme source (concentrations au sein du stockage) et des concentrations induites dans la nappe. Ces éléments peuvent être retrouvés dans les études [80] à [82].

Le déstockage ciblé du mercure a été retenu suite à la concertation.

Les moyens de maîtrise de risques proposés dans leur principe par l'INERIS ont été plus précisément étudiés avec :

- des mesures in situ en mine (tests de perméabilité du sel, traitement du sondage W3) dans le but de réduire les risques de passage de saumure par des interstices,
- des mesures de porosité sur des déchets représentatifs des déchets stockés (tests sur des réfiom)
- la poursuite des mesures des déformations des parois du stockage,
- des modélisations géomécaniques prenant en compte un calage sur les mesures de fluage réalisées dans le stockage, le comportement des différents remblais envisagés pour remblayer les galeries du stockage, la porosité des déchets, différents matériaux pour les barrières de confinement (bureau d'études ITASCA [76] et [83]).

Ce sont ces études complémentaires, combinées à certaines observations comme le forage du sondage VAPB2, qui permettent de préciser aujourd'hui que les hypothèses retenues pour l'évaluation des effets du projet sur l'environnement sont très sécuritaires.

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, la société des Mines de Potasse d'Alsace qui a absorbé StocaMine exploitant le site de stockage de déchets ultimes 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 le 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.

Dans un premier temps, 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).

Pour la concertation publique, cinq scénarios complémentaires, avec restockage à Sondershausen, ont été ensuite retenus :

- 2 pour des déstockages partiels permettant d'extraire 56% et 93% du mercure contenu dans le stockage, suivi d'un confinement illimité avec barrières ouvragées ;

- 2 pour des déstockages partiels un peu plus complets, reprenant les scénarios précédents mais en sortant tous les déchets des blocs concernés, suivi du même confinement illimité avec barrières ouvragées ;
- 1 pour un déstockage complet à l'exception du bloc 15, suivi d'un confinement illimité du seul bloc 15 avec des barrières simplifiées autour de ce bloc.

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, il est considéré que 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 par les Allemands pour leurs sites de stockage (ils considèrent une performance totale des barrages même à long terme), 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 estimée 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 a déjà accueilli plus de 4,4 millions de tonnes de déchets alors que 44 000 tonnes sont entreposés 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, du court au très long terme, 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.

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 mais aussi le plus sécuritaire, 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 plus favorables.

- **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 (W3), ouvrage ayant traversé l'emprise du stockage a fait l'objet d'investigations spécifiques. Il a été retrouvé et traité (injection d'un coulis de ciment magnésien) mais il ne présentait aucune trace d'écoulement.

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 rejouer 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 Paris, 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 :
 - o le tonnage de matériau extrait, fourni par les MDPA (423 Mt pour le secteur ouest) ;
 - o 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 :
 - o la répartition, connue avec une bonne précision, des vides miniers en tailles (90%) et en galeries (10%) ;
 - o 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'envoyage 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'envoyage 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'envoyage des MDPA et donc sur le débit d'épanchement en fin d'envoyage, puisque ce dernier dépendra du volume de vides résiduels effectivement envoyés.

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'envoyage 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'envoyage 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'envoyage, 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'envoyage ;
 - 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'envoyage 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'envoyage : 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'envoyage. Elle est estimée à 0,01% par an à la fin d'envoyage. 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'envoyage et débit d'épanchement de saumure :**

En tenant compte des paramètres précédemment évoqués, la durée d'envoyage 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'envoyage 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'envoyage 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 m ³ /an)	300 ans	200 ans	120 ans
	Moyenne (58 000 m ³ /an)	420 ans	300 ans	200 ans
	Basse (22 000 m ³ /an)	650 ans	500 ans	350 ans

Légende : les données du scénario de référence sont en caractères gras

Tableau 57 : 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. C'est pourquoi l'INERIS a toujours travaillé en terme de ratio « réduction de volume mine / réduction de volume dans le stockage » pour évaluer les flux de polluants sortant des puits, intégrés ensuite dans l'étude d'impact.

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 StocaMine 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.** Néanmoins, le fluage ne va pas se produire à l'intérieur des déchets ou des remblais et concernant les vieux travaux, il n'a pas été tenu compte du fait que la moitié des éboulis est constituée d'insolubles.

Le fluage 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 MDPAs : 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 MDPAs, 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 progressive 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 initiale des galeries qui était 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).

Dans le cadre de cette étude, l'INERIS a réalisé une estimation simple du volume minimal de vides dans le stockage, basée sur une porosité moyenne des déchets (en l'absence de données disponibles au moment de l'étude). Le volume de ces vides a été estimé à environ 7000 m³ ce qui correspond à 1/3 du volume des 44000 tonnes de déchets stockés (porosité environ 33%) dont la densité serait portée à 2 au moment de l'ennoyage par la convergence du stockage.

L'INERIS a fait varier cette valeur dans une plage allant de 20% à 45% et a ainsi pu montrer que ce paramètre n'avait aucune incidence notable sur les résultats des différents calculs (mécanique, transport). L'INERIS n'a pas pris en compte les vides résiduels des remblais (la mesure de remblayage étant une préconisation complémentaire elle n'avait pas été intégrée aux calculs).

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 FOUDROYES

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 ont permis de procéder à une prévision sécuritaire 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 chapitre 5 du mémoire technique 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 comblée 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 MDPAs 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 (passages de tailles où les pressions peuvent doubler par rapport aux pressions habituelles) 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 blocs 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 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.

N.B. : Postérieurement à l'étude de l'INERIS, les mesures de perméabilité réalisées dans le stockage ont montré que la perméabilité est effectivement plus importante dans les 2 premiers mètres autour des galeries (sans qu'il y ait de réels décollements), mais retrouve ensuite une valeur de sel sain. Le havage, nécessaire au traitement du sondage W3, a permis de montrer que la zone saine était à moins de 1 mètre. Tout ceci confirme que les instabilités sont limitées aux premiers mètres seulement autour des galeries.

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 MDPAs (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.

h - IMPACT DES SONDAGES

Parmi tous les forages de reconnaissance recensés par les MDPAs, 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 et sec au niveau du stockage) et traité par injection de ciment magnésien.

L'INERIS a également étudié l'impact des trous de dégazage, de quelques mètres de longueur, réalisés au toit des MDPAs (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 de 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 minière 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 minière.

Si deux trous de dégazage étaient situés l'un en amont et l'autre en aval d'une des barrières mises en place en périphérie du stockage, un court-circuit horizontal pourrait être envisagé si la perméabilité des terrains était altérée entre les deux trous de sonde. L'INERIS a donc préconisé, avant mise en place des barrières, la réalisation de vérifications spécifiques menant si nécessaire à une imperméabilisation des forages par injection.

N.B. : Les tests réalisés après cette étude ont montré que la perméabilité du sel au toit des galeries présente une valeur maximale de 10^{-19} m^2 et une valeur moyenne de 10^{-21} m^2 . L'endommagement du sel ne semble donc pas avoir d'effet significatif sur la perméabilité du toit dans le site de stockage (l'hypothèse d'un court-circuit horizontal entre deux trous de sonde est donc très peu probable).

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, ...). Les investigations réalisées ont permis d'éliminer les hypothèses les plus pessimistes concernant les caractéristiques du massif de sel au toit des galeries et les risques liés aux forages anciens.

Par ailleurs, la mise en œuvre d'un remblayage des galeries vides du stockage avant le confinement contribuera à provoquer un effet de « soutènement » de ces galeries qui limitera les risques d'instabilité.

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 suivants :

- [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'ennoyage, 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'arrivage 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. Cette incertitude 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'ennoyage (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 (hydroxydes) qui sont insolubles à la valeur de pH du stockage. 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 $\mu\text{g/L}$ au sein du stockage).
- Les polluants dont le potentiel de dissolution n'est pas limité par saturation, du fait de leur complexation⁸⁹ 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.

⁸⁹ : 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'étude complémentaire du terme source en fonction des scénarios de déstockage a montré que le retrait de 56% à 93% de la masse de mercure réduit d'une proportion équivalente la concentration de mercure dans le terme source.**

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 (dans la mesure où il y en a une quantité non négligeable). Le retrait des déchets les plus riches en mercure inclut le retrait des déchets arséniés (car ils sont riches en mercure). Du fait du déstockage, le terme source sera également plus pauvre en arsenic.

a - INCERTITUDES SUR LE PARAMETRE ANTIMOINE

Une 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.

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 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.

N.B. : L'étude réalisée par ITASCA [86] qui tient compte du remblayage des galeries vides du stockage avant fermeture et d'une porosité des déchets supérieure à 30% (au vu de résultats de tests sur les réfioms, qui constituent une grande part des déchets présents dans le stockage), conclut à un volume potentiel de vides beaucoup plus important dans le stockage au moment de l'arrivée de la saumure.

Cela conduirait à un terme source beaucoup moins concentré en mercure, chrome et antimoine que ce qui a été retenu dans l'évaluation réalisée par l'INERIS.

Par ailleurs, la solubilité du mercure dépend des formes sous lesquelles il est présent. L'étude ERCOSPLAN de 2008 [40] avait considéré qu'une faible part seulement du mercure passerait en solution dans la saumure (environ 5%), l'hypothèse retenue par l'INERIS est donc plus défavorable.

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 (Hg⁰), 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.

MDPA dispose d'une base de données précise sur la composition des déchets stockés dans les galeries de StocaMine. 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.

Les premières étapes de déstockage engagées en 2014 ont confirmé la validité de la base de données : les colis à déstocker ont bien été retrouvés aux emplacements indiqués et avec les mêmes caractéristiques que ce qui était annoncé.

La difficulté des études de détermination du terme source 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 apprécier 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'envoyage 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.

Les hypothèses retenues par l'INERIS sont systématiquement sécuritaires **et les moyens de maîtrise des risques retenus viennent rajouter un degré de sécurité par rapport aux calculs présentés.**

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'envoyage 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.

Les résultats préliminaires basés sur des hypothèses simplificatrices ont conduit l'INERIS à étudier des moyens de maîtrise des risques (notamment les barrières de confinement à mettre en œuvre) et à procéder à une évaluation des risques résiduels plus précise que lors des premières étapes, 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 sous l'effet de la fermeture des vides miniers par fluage de la roche salifère. Elle atteindra alors la base de l'aquifère d'Alsace. De ce fait, la couche profonde 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 des 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 (sans déstockage et avec un déstockage de 93% de la masse de mercure).

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 barrières de confinement 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 dilution⁹⁰ 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.

⁹⁰ : dilution toutefois sans commune mesure avec celle ayant lieu dans la nappe.

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 la sortie de saumure polluée) 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 ($\leq 10^{-18} \text{ m}^2$). De ce fait, l'influence du fluide d'hydratation devra être examinée ou un autre type de matériau pourra être retenu à condition que ses caractéristiques hydrauliques soient comparables.

Les essais en cours sur le béton SOREL en font un matériau potentiellement intéressant du fait de sa très faible perméabilité ($\leq 10^{-19} \text{ m}^2$), de sa très grande résistance mécanique et de sa plus grande facilité de mise en œuvre.

- Le nombre des voies d'accès au stockage est élevé (19) 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 prévenir 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. Les surexcavations réalisées récemment montrent une bonne qualité des terrains. Ceci, associé au phénomène de recompaction des terrains autour des barrières, et au fait que la saumure n'est attendue que dans quelques siècles, permet de garantir une bonne étanchéité des terrains encaissants.
- 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. Au final, il est retenu de creuser spécifiquement une « galerie exutoire » dans le point bas du stockage pour éviter une arrivée trop rapide de saumure ou d'eau seulement partiellement saturée en sel venant des puits de mine proches, sur les barrages les plus profonds..

D'autres mesures visent à s'assurer de l'isolement du site de stockage par rapport à la mine :

- Des mesures spécifiques de maîtrise des risques liés à la présence du sondage WIII (retrouvé dans le bloc 25 et traité) et des trous de dégazage au toit de certaines chambres du stockage ont été mises en œuvre. Les travaux de reconnaissance et des investigations in situ, notamment des mesures de perméabilités, montrent qu'il n'y a pas de risques spécifiques liés à ces divers orifices ;
- Le 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. Les MDPAs ont choisi de l'étendre à l'ensemble des blocs et galeries du stockage.

La dernière étude ITASCA montre que cette dernière disposition permet d'augmenter significativement la durée de remplissage du site de stockage par la saumure. En effet **les mesures de porosité faites sur les réfioms présents dans le stockage et les matériaux de remblayage qu'il est envisagé de mettre en œuvre permettent de considérer un temps de saturation des porosités disponibles en plus de 6000 ans** (c'est-à-dire bien au-delà des 1000 ans de retard induits par les barrières, apportant donc un facteur de sécurité supplémentaire). De plus la présence de ces matériaux au sein du stockage, en créant une réaction contre le fluage du sel baisse les débits potentiellement expulsés du site.

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'amoinissement 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 ; ce point a été pris en compte dans une étude d'ITASCA et d'après cette étude le surcreusement autour des barrières pourra être de moins de deux mètres dans la mesure où le terrain sain est très proche et que la saumure est attendue dans quelques siècles
- la possibilité d'une fermeture partielle des galeries devenant étanches. Cela peut conduire au piégeage d'une partie de la saumure.

8.3. Conclusion non technique sur les difficultés et incertitudes

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 exploitation).

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 précision.

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, ...). Par ailleurs certains moyens de maîtrise des risques n'ont pas été pris en compte dans les calculs d'impact et apportent donc des coefficients de sécurité supplémentaires par rapport au scénario de référence présenté dans l'étude d'impact.

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).

L'autorisation d'exploiter stipulait qu'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 aujourd'hui par l'exploitant retient l'option d'un stockage illimité après retrait de déchets correspondant à 93% du mercure présent dans le stockage et, en cas d'impossibilité, à au moins 56% du mercure, puis confinement des déchets restants.

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 ; au mois de septembre, 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 a donc duré moins de 4 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, au milieu d'une épaisse formation de sel et de potasse (230 mètres de terrains salifères au-dessus, 1000 mètres en-dessous). La particularité de ce type de gisement est d'être constitué de terrains secs. En effet, la présence de sel traduit l'absence d'eau (dans le cas contraire le sel se serait dissout).

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 en eau majeure pour la région (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. 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 (puits de mine) appartenant aux Mines de Potasse d'Alsace (MDPA⁹¹) qui ont exploité deux couches de chlorures de potassium (potasse) intercalées 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 principalement menée en longues tailles foudroyées c'est-à-dire que le minerai était exploité sur de grandes largeurs et on laissait les terrains s'effondrer à l'arrière du front de taille, au fur et à mesure de l'avancement de l'exploitation. Grâce à la souplesse des terrains susjacentes (sels et marnes), l'affaissement se propageait jusqu'à la surface sans engendrer de fissures souterraines ni de pénétrations d'eau dans la mine.

Les galeries de stockage des déchets ont été creusées environ 23 mètres sous la couche inférieure de potasse au sein de la dernière mine exploitée : 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 l'ancienne 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 de mine, dont les quatre cités précédemment. Les deux seuls puits qui n'ont pas encore été remblayés sont les puits Joseph et Else. Le premier est affecté au transport d'hommes et de matériel et le second au retour d'air de l'« aérage ».

- **Le détail du stockage :**

Le stockage est constitué d'un maillage de galeries de 2,8 m de hauteur et 5,5 m de largeur, creusées sur un seul niveau entre 23 et 25 m sous la couche inférieure de potasse. Chaque bloc est constitué de deux ou trois galeries de 220 mètres de long, appelées allées, recoupées tous les 25 mètres par des galeries perpendiculaires, soit 8 recoupes, et séparées l'une de l'autre de 20 mètres de sel, ce qui forme des piliers carrés de 20 mètres de côté et assure la stabilité du stockage.

Huit 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).

⁹¹ : 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.

Les positions et les compositions des déchets entreposés ont toutes été enregistrées 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, déchets amiantés, ...

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 un hangar de stockage /manutention et des bâtiments administratifs. Ces installations de surface sont implantées 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 qui se comporte un peu comme une pâte susceptible de se déformer sous la pression des terrains susjacentes. 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 « loi de Norton » qui indique que la réduction de volume en fonction du temps est linéaire. Elle est plus marquée dans les secteurs profonds et parcourus de nombreuses galeries (sous l'effet des pressions et températures plus élevées).

Les parois des galeries de stockage se rapprochent les unes des autres, à un rythme de quelques cm/an, elles arriveront en contact avec tous les colis de déchets stockés d'ici une trentaine d'années. De même, les vides laissés en souterrain par l'exploitation de la potasse se réduisent au fil du temps (en moyenne et actuellement environ -0,1%/an).

- **L'eau :**

Comme indiqué précédemment, 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 exploitants de la mine de Potasse 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 à l'extérieur des parois des ouvrages, dans les terrains dans lesquels ils ont été creusés.

Par ce biais, un très faible débit d'eau de la nappe peut descendre dans la mine de potasse, d'où il était immédiatement extrait par pompage quand la mine était en exploitation.

Au contact des terrains salifères l'eau qui arrive à pénétrer dans les vides souterrains 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, basée sur un effondrement des panneaux exploités, a laissé peu de vides accessibles en souterrain (impossible d'y circuler) mais la granulométrie des éboulis et la porosité résiduelle peuvent permettre à l'eau (la saumure), qui pénètre au niveau des puits, de passer (lien hydraulique). Cela signifie que les foudroyages des anciennes couches de potasse exploitées constituent deux niveaux dans lesquels la saumure peut circuler et remplir progressivement les vides. Le stockage de déchets de StocaMine 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 minière. 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 petite partie de l'ancienne mine est moins profonde que le stockage souterrain).

Au vu d'une estimation prudente par l'exploitant, le 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 et d'exploitation de ces ouvrages), la saumure pourrait remplir la mine en **300 ans environ** (soit un niveau de saumure atteignant le stockage souterrain dans 240 ans). Une pression de saumure se développera devant les barrages qui protégeront le stockage et un faible débit de saumure percolera à travers les barrages. Bien plus tard, la saumure remplira la porosité des remblais utilisés pour remplir les galeries, mais aussi la porosité des déchets. Le risque d'un contact entre saumure et déchets est donc envisageable si l'on raisonne à très long terme.

On notera que la tendance de la mine à se fermer avec le temps (réduisant le volume à remplir et donc la durée d'ennoyage) a été prise en compte dans le calcul de la vitesse d'ennoyage de la mine tout comme le fait que les couches de potasse laissées en place entre la mine Amélie et la mine Marie-Louise (qui, avec plus de puits, pourrait apporter plus d'eau) pourrait laisser passer la saumure (hypothèse d'un « stot » entre les deux mines non étanche).

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 recensaient tous les lots admis. Par sécurité, tous les éléments potentiellement solubles ont dans un premier temps été considérés comme passant en solution.

Les différentes interactions (les éléments entre eux et avec le milieu souterrain) ont ensuite été prises en compte 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 cyanure, mercure, et autres métaux lourds, ...) pour laquelle la possibilité de passage en solution subsiste, 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. Il ressort que le mercure est de très loin la substance potentiellement la plus impactante.

Une fois passées en solution, ces substances pourront se déplacer avec la saumure. Or celle-ci finira à long terme par remplir tout le stockage et le fluage ainsi que la compaction des déchets et des remblais, sous le poids des terrains susjacentes, pourraient chasser cette saumure du stockage, à travers les barrages. Elle rejoindrait la saumure chassée, par les mêmes phénomènes, des vides miniers.

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). La saumure remonterait de la mine vers la nappe.

Les volumes déplacés seraient 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 leur vitesse de fermeture se réduit⁹². En outre, une fois les vides remplis de saumure celle-ci exerce une contre-pression sur les parois qui fait que la réduction des volumes est 10 fois moins rapide que quand ils sont vides.

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 (5 simples et 7 doubles) afin de retarder le plus longtemps possible le contact entre saumure et déchets stockés et faire en sorte que la mobilisation de saumure polluée ne puisse se produire que lorsqu'il y aura réduction importante du moteur de sortie de la saumure, assurant ainsi un risque d'épanchement de saumure polluée vers la surface, avec des débits extrêmement faibles.

⁹² : Il est même probable que le phénomène se bloque avant d'arriver à son terme comme on l'observe sur certaines mines, mais cette hypothèse (considérée comme optimiste) n'a pas été retenue.

Les calculs réalisés par l'INERIS pour quantifier ces différents phénomènes montrent que les barrières de confinement à mettre 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 venant du stockage, ceci indépendamment de tout déstockage.

Le choix du confinement après déstockage préalable

Dès l'origine du projet StocaMine, deux solutions limites 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.

Un point a été fait sur la possibilité d'un déstockage complet des déchets du site. 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 a considéré 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 complet de StocaMine. En effet, l'extraction, le reconditionnement des colis, la décontamination des zones déstockées et le renforcement du soutènement sont des opérations délicates et dangereuses. Par ailleurs, le transport sur une longue distance de substances toxiques génère de forts risques. Le bloc 15, qui a subi l'incendie, ne pourra pas être déstocké car cela conduirait à faire travailler dans une zone éboulée, des opérateurs dont la sensibilité auditive sera fortement réduite du fait de la nécessité de porter des masques intégraux, ce qui constitue un risque inacceptable.

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. Néanmoins, suite aux nombreux échanges avec des représentants locaux et à toutes les concertations menées par les MDPAs, l'Etat a souhaité parfaire la sûreté vis-à-vis de la nappe d'Alsace en décidant un déstockage préalable du site.

Le projet retenu est donc la transformation du stockage StocaMine en site de stockage à durée illimitée après déstockage partiel correspondant à 93% du mercure contenu dans les déchets, avec, en cas d'impossibilité un objectif de replis à 56% de la masse de mercure.

Les déchets restant au fond seront isolés du reste de la mine de potasse et de la surface par des barrières de confinement. Les deux puits d'accès seront remblayés.

Ce projet répond au 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 dans 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 doit avoir pour objectif de retarder d'environ 1000 ans la possible sortie de saumure du stockage vers la mine, puis de la mine vers la surface.

Les terrains d'ancrage des barrières seront entièrement auscultés et excavés s'ils sont dégradés, pour éviter tout contournement des barrières par de la saumure. De même des sondages de faible diamètre situés dans le stockage ont été recherchés et certains ont été traités afin de supprimer tout chemin potentiel de passage de la saumure entre la mine et le stockage. Du fait de la pression des terrains, le sel gemme se refermera sur les barrages et retrouvera son étanchéité initiale en une quinzaine d'années.

Le produit utilisé pour les barrières de confinement pourra être de la bentonite. Cette argile est très stable et reconnue pour ce type d'usage et permettra d'atteindre facilement les performances souhaitées, en disposant d'une perméabilité inférieure à 10^{-18} m² qui décroît lors du passage de la saumure. Une longueur de 6 mètres des noyaux de bentonite suffira. Néanmoins, MDPa se réserve la possibilité de profiter des grands progrès accomplis ces six dernières années dans les stockages nucléaires allemands, en étudiant la possibilité d'utiliser des bétons SOREL mis en place par projection. Cela permettrait d'améliorer encore l'étanchéité des barrages tout en réduisant leurs coûts.

Par ailleurs, les galeries laissées vides au sein du stockage seront remplies par un béton maigre fluide qui évitera toute fragilisation du toit, freinera la fermeture des terrains, et augmentera la porosité du stockage, c'est-à-dire les vides résiduels.

L'étude d'impact souligne que 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), la majorité des travaux étant réalisés en souterrain.

Suite à la fermeture du site, 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. La détection d'une montée de teneur en sel dans la nappe sera le premier signe d'un passage de la saumure de la mine vers la nappe.

Dans le cadre du scénario majorant, où tous les déchets seraient laissés dans le stockage 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 dans l'air. 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 contrôles de l'air dans le stockage en février 2010 et données antérieures mesurées au sein même des 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 est un passage par l'intermédiaire des puits de mine : par la ventilation tant que ces puits resteront ouverts (aéragé 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 : depuis le stockage vers la mine) 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 puits⁹³ selon les hypothèses) en cas d'épanchement de saumure polluée 1000 ans (dimensionnement des barrières) après la fermeture du stockage souterrain.

⁹³ : 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.

Les concentrations ainsi calculées à 1000 ans (sortie potentielle de polluant avec confinement du site) dans la nappe d'Alsace restent inférieures à celles que l'on a pu mesurer dans l'environnement de StocaMine au moment de sa création et nettement inférieures aux critères réglementaires actuels pour la consommation d'eau potable.

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) et ceci même si tous les déchets sont laissés en place.

L'élément mercure est celui pour lequel la différence entre la teneur calculée dans la nappe au point le plus concentré⁹⁴, au moment le plus critique, et les critères de qualité apparaissait la plus faible.

La concentration calculée en ce point étant de 0,1 µg/l de Mercure, alors que la concentration mesurée dans la nappe au moment de la création de StocaMine était de 0,2 µg/l et que la norme de potabilité actuelle est de 1 µg/l. Le facteur de sécurité est donc de 2 par rapport à l'environnement local témoin et de 10 par rapport à la norme de potabilité actuelle, sachant par ailleurs que de nombreuses hypothèses majorantes ont été prises tout au long de l'analyse de ce scénario.

Malgré ce facteur de sécurité, et malgré le fait que les calculs réalisés aient toujours pris en compte le scénario le plus défavorable, la décision de l'Etat, faisant suite à la concertation publique conduit à un degré de sécurité supplémentaire en imposant le retrait de la majorité des déchets les plus riches en mercure, soit 93% de la masse de mercure contenue dans le stockage avec un minimum visé de 56% en cas d'impossibilité.

L'étude de la base de données sur les caractéristiques des déchets a montré que les déchets les plus riches en mercure sont à la fois des déchets mercuriels et des déchets arséniés et qu'en retirant les déchets de ce type stockés dans les blocs n° 12, 21, 22 et 23, on retire 93 % de la quantité de mercure présent dans le stockage (et 94 % de la quantité d'arsenic).

Le projet définitivement retenu, et faisant l'objet du présent rapport prend donc en compte le retrait de 93 % du mercure contenu dans le site avec, en cas d'impossibilité de mener à bien ce retrait, un minimum visé de 56% de retrait de mercure.

Les nouveaux calculs réalisés à partir de cette hypothèse (terme source⁹⁵ et impact sur la nappe aquifère) montrent **que la teneur en mercure diminue proportionnellement à la quantité de mercure retirée du stockage.**

⁹⁴ : maille de 125m x 125 m en couche 3 autour du puits Amélie.

⁹⁵ : Le terme source représente la concentration de la saumure polluée dans le stockage avant sa dilution par la saumure de la mine puis la nappe alluviale d'Alsace. Les caractéristiques du terme source (solution d'équilibre entre déchets et saumure) ont été significativement modifiées avec le retrait des déchets mercuriels et arséniés.

Dans la maille la plus concentrée de la nappe, au moment le plus critique, la teneur passe alors à 0,007 µg/l de mercure⁹⁶ soit 15 fois moins que dans la situation sans déstockage, 30 fois moins que la concentration mesurée dans l'environnement au moment de la création de StocaMine et 140 fois moins que la norme de potabilité actuelle pour cet élément ; ce qui respecte le principe de non dégradation de la nappe inscrit dans le SDAGE en application de la Directive Cadre sur l'eau Européenne, ainsi que la conservation de la potabilité de la nappe inscrite au SAGE III Nappe Rhin.

StocaMine a également retenu des différentes études réalisées que le remblayage des parties confinées non remplies de déchets contribuerait à retarder la sortie de polluant (en créant à la fois une résistance mécanique à l'écrasement et une porosité résiduelle). **Pour plus de sécurité, StocaMine a donc retenu le remblayage de la zone confinée comme mesure complémentaire.**

Enfin, une dernière mesure de précaution a été retenue : il s'agit du creusement d'une galerie nouvelle reliant la mine et la partie basse de la zone non confinée de StocaMine. Cette galerie aura pour vocation d'évacuer, pendant toute la phase de remplissage des vides miniers, les eaux provenant des infiltrations potentielles se produisant au niveau des puits Joseph et Else et qui, dans la configuration actuelle du site, pourraient se stocker dans ce point bas qui est en cul de sac et venir lécher les barrages de confinement situés plus bas. Le rôle de cette galerie sera donc de créer un exutoire à ce cul de sac afin d'évacuer les eaux qui y pénétreraient vers des galeries de mine situées à une cote inférieure. En retardant ainsi la date de mise en contact des barrières de confinement avec de l'eau, on retarde d'autant l'échéance des 1000 ans correspondant à leur durée de saturation puis au remplissage du site de stockage par la saumure qui les aura traversées.

Le projet complet, retenu à l'issue de l'étude d'impact et des phases de concertations qui ont été organisées par le préfet puis par l'Etat, comprend donc des mesures de sûreté complémentaires par rapport au simple confinement de la totalité du stock de déchets initialement envisagé par l'exploitant.

Ce projet, objet du présent dossier, est le suivant :

- après retrait de 93% de la quantité de mercure contenue dans le site (opération en cours avec déplacement des déchets reconditionnés vers l'Allemagne) ou, si cette opération s'avère impossible, d'au moins 56% du mercure,
- remblaiement des parties du site de stockage n'ayant pas reçu de déchets,
- creusement d'une galerie exutoire au point bas du site StocaMine pour éviter des accumulations d'eau derrière les barrières de confinement en phase de remplissage de la mine,
- mise en place de barrières de confinement sur toutes les galeries d'accès aux blocs de stockage des déchets,
- fermeture des deux puits de mine restant ouverts avec des produits de très faible perméabilité.

⁹⁶ : Valeur non mesurable avec les méthodes analytiques actuelles.

Conclusion et suivi du site

Pour mener à bien le projet, les études de conception, tests en place puis travaux seront menés, dans la mesure du possible, simultanément au déstockage des déchets mercuriels et arséniés contenus dans les blocs 12, 21, 22 et 23 (opération en cours). Ils se prolongeront ensuite et la fermeture complète du site est envisagée à une échéance de 7 ou 8 ans environ.

Une fois les travaux terminés, le site de StocaMine sera abandonné et la responsabilité de son suivi échoira à l'Etat qui a mis en place au sein du Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM) un service spécialement dédié au suivi de « l'après mine » : le Département de Prévention et de Sécurité Minière (DPSM). Celui-ci réalise déjà les surveillances et la gestion des installations hydraulique de sécurité des MDPA. La pérennité de la surveillance du site sera donc assurée par la pérennité de l'Etat.

Pour assurer la surveillance du site, des servitudes et restrictions d'usage (interdisant notamment tout pompage de l'eau, ou réglementant 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 (les déchets sont à plus de 500 m de profondeur).

Pour cela, la mémoire du site doit être maintenue, également à travers les documents d'urbanisme.

Enfin, une surveillance du site et de son environnement sera engagée :

- un forage (MDPA), descendant jusqu'à la mine de potasse pour pouvoir suivre le phénomène d'envoyage des travaux miniers par la saumure a déjà été réalisé en 2014 et sera finalisé en 2015. Le suivi qui sera réalisé à partir de cet ouvrage permettra de suivre le remplissage de la mine et de vérifier la validité des hypothèses de débits d'infiltration et vitesse de remplissage prises dans les études,
- par la suite, des ouvrages de surveillance (forages équipés en piézomètres et permettant de faire des analyses dans la nappe alluviale) sont prévus autour de chacun des puits identifiés comme vecteurs potentiels de polluants ; la réalisation 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 ces mesures, le stockage illimité des déchets présents dans les blocs souterrains de StocaMine restera compatible avec la préservation de l'environnement.

Données prises en compte sur les habitats naturels

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 19 du dossier) est présentée ci-dessous.

- La chênaie-charmaie

Une grande partie de la forêt de la commune de Wittelsheim était propriété des MDPAs et n'avait 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 acidiphiles (*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 lixivats 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 acidiphile 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 terri 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'Élimination 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'aéragé 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] LAOUAFA 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-12-108130-00744B – 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 – Mars 2013
- [77] RAUCHE H. – Conceptual design for dam constructions and partial backfill for the isolation of StocaMine underground waste disposal site – ERCOSPLAN Juin 2013
- [78] CAMUSSO M. et CATALANO E. – Stockage de Wittelsheim, étude de l'évolution de la perméabilité du sel – ITASCA – Septembre 2013
- [79] BMG – Evaluation logistique et technique de variantes de réversibilité du stockage, stockage souterrain de déchets ultimes de Wittelsheim, Mines De Potasse d'Alsace – BMG – Octobre 2013
- [80] HENNEBERT P. et QUIOT F. – Modélisation complémentaires du terme source en fonction des scénarios de déstockage étudiés (5), tracé des panaches consécutifs à ces 5 scénarios – INERIS DRC-13-140901-10732A – Octobre 2013
- [81] PINTE J.C. – Comparaison des scénarios relatifs au devenir du stockage de StocaMine – Etude complémentaire – INERIS DRS-13-141706-11148A – Novembre 2013
- [82] INERIS – Note de synthèse des travaux d'expertise de l'INERIS relatifs au devenir du stockage de déchets de StocaMine au sein de la mine Amélie – INERIS DRS-13-143465-13181A – Décembre 2013
- [83] MDPA – Bilan de la concertation publique 15 novembre 2013-15 février 2014, projet de fermeture du stockage souterrain StocaMine – MDPA – Mars 2014
- [83a] MDPA – Bilan de la concertation publique 15 novembre 2013-15 février 2014, projet de fermeture du stockage souterrain StocaMine, Annexes partie 1 – MDPA – Mars 2014
- [83b] MDPA – Bilan de la concertation publique 15 novembre 2013-15 février 2014, projet de fermeture du stockage souterrain StocaMine, Annexes partie 2 – MDPA – Mars 2014
- [84] Arrêté préfectoral n°2014 303-0004 du 30 octobre 2014 portant prescriptions complémentaires à la société des Mines de Potasse d'Alsace MDPA suite à la déclaration du changement d'exploitant et de la dissolution de la société STOCAMINE au 1^{er} janvier 2014 et suite à la demande de modification de

certaines dispositions de l'arrêté préfectoral du 3 février 1997 sur son site situé avenue Joseph Else à Wittelsheim (68310) – Octobre 2014

[85] A. DORISON – Bilan de la concertation et propositions – Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD), rapport n°005950-02 – Mars 2014

[86] CAMUSSO M. – Stockage de Wittelsheim, étude de comparaison entre les barrages en bentonite et les barrages en béton Sorel – ITASCA – Janvier 2015

Notes techniques (travaux, déstockage, ...)

MDPA StocaMine – Analyse des risques pour l'enlèvement des produits du bloc 15 – Présentation faite au Copil le 28 février 2011

IBeWa – Investigations sur la perméabilité des formations salifères du site de StocaMine – Novembre 2013

LAURENT – Equipement du forage VAPB2 à Wittelsheim pour surveillance de la nappe et prélèvement d'eau – SOLEXPERTS – Janvier 2014

DERIDDER – Dossier de fin de forage, puits VA PB2 – FORACO – Janvier 2014

GeoRessources A.S.G.A – Résultats d'essais géomécaniques, matériau d'injection du sondage W3 – Décembre 2013

MDPA – Travaux de remblayage du sondage W3, note interne – Janvier 2014

POUYAU – Caractérisation des déchets générés par le chantier de déstockage partiel (scénario 2) – MSE – Décembre 2014

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: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)