

RAPPORT D'ÉTUDE

25/10/2013

N° - DRC-13-140901-10732A

## **STOCAMINE**

**Modélisation complémentaire du terme source  
en fonction des scénarios de déstockage  
étudiés (5) – Tracé des panaches consécutifs à  
ces 5 scénarios**

**INERIS**

maîtriser le risque |  
pour un développement durable |



# **STOCAMINE**

## **Modélisation complémentaire du terme source en fonction des scénarios de déstockage étudiés (5) – Tracé des panaches consécutifs à ces 5 scénarios**

Direction des Risques du Sol et du Sous-sol

Client: StocaMine

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Pierre Hennebert, Pierre Toulhoat, Fabrice Quiot, Frédéric Poulard

## PRÉAMBULE

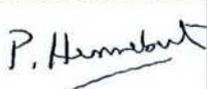
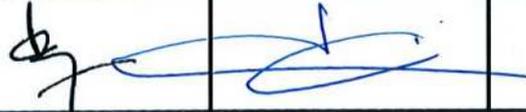
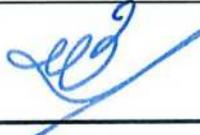
Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

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.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction		Vérification		Approbation
NOM	Pierre HENNEBERT	Fabrice QUIOT	Roger REVALOR	Jean-Claude PINTE	Mehdi GHOREYCHI
Qualité	Ingénieurs Unité Comportement des contaminants dans les sols et matériaux		Responsable de l'unité Comportement des contaminants dans les sols et matériaux	Ingénieur Direction des Risques du Sol et du sous sol	Directeur des Risques du Sol et du sous-sol
Visa					

# TABLE DES MATIÈRES

<b>1. INTRODUCTION ET OBJECTIF .....</b>	<b>7</b>
<b>2. RESULTATS.....</b>	<b>9</b>
2.1 Calcul des quantités de contaminants et des volumes des pores pour différentes options de retrait .....	9
2.2 Calculs des contaminants en solution à l'équilibre .....	13
2.2.1 Fixation du pH.....	13
2.2.2 Concentrations à l'équilibre.....	14
2.3 Principales remarques.....	15
<b>3. CONCLUSION SUR LES MODELISATIONS GEOCHIMIQUES.....</b>	<b>17</b>
<b>4. APPLICATION AUX PANACHES DANS LA NAPPE D'ALSACE.....</b>	<b>19</b>
<b>5. CONCLUSION SUR L'IMPACT SUR LA NAPPE D'ALSACE.....</b>	<b>37</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1: Tare par catégorie de déchets .....	10
Tableau 2: Masses brutes et nettes (tonnes) des déchets et volumes de porosité pour les différentes options de retrait .....	11
Tableau 3 : Quantité d'éléments dans le stockage en fonction des options de retrait (kg) ....	12
Tableau 4 : Ratios relatifs (quantités totales en moles/volume) de certains contaminants pour chaque option de retrait.....	12
Tableau 5 : Concentrations (g/l) à l'équilibre pour différentes options de retrait.....	14
Tableau 6 : Valeurs de concentrations moyennes en Hg calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans).....	21
Tableau 7 : Valeurs de concentrations moyennes en Cr calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans).....	22
Tableau 8 : Valeurs de concentrations moyennes en CN calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans).....	23
Tableau 9 : Valeurs de concentrations moyennes en Sb calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans).....	24
Tableau 10 : Valeurs de concentrations moyennes en As calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans).....	25
Tableau 11 : Valeurs de concentrations moyennes en Cd calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans).....	26

Tableau 12 : Valeurs de concentrations moyennes en Pb calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans).....	27
Tableau 13 : Valeurs de concentrations moyennes en Ni calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans).....	28
Tableau 14 : Valeurs de concentrations moyennes en Ba calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans).....	29
Tableau 15 : Valeurs de concentrations moyennes en Cu calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans).....	30

### **Liste des figures**

Figure 1 : Concentrations (g/l) à l'équilibre pour différentes options de retrait.....	14
Figure 2 : Carte du panache de mercure dans la couche inférieure du modèle dans le scénario V1 et profils d'évolution des concentrations d'amont vers l'aval pour le mercure (1000 ans).....	31
Figure 3 : Carte du panache de mercure dans la couche inférieure du modèle dans le scénario V2 et profils d'évolution des concentrations d'amont vers l'aval pour le mercure (1000 ans).....	32
Figure 4 : Carte du panache de mercure dans la couche inférieure du modèle dans le scénario V3 et profils d'évolution des concentrations d'amont vers l'aval pour le mercure (1000 ans).....	33
Figure 5 : Carte du panache de mercure dans la couche inférieure du modèle dans le scénario V4 et profils d'évolution des concentrations d'amont vers l'aval pour le mercure (1000 ans).....	34
Figure 6 : Carte du panache de mercure dans la couche inférieure du modèle dans le scénario V5 et profils d'évolution des concentrations d'amont vers l'aval pour le mercure (1000 ans).....	35

## Résumé

Ce rapport présente l'évolution des résultats des masses de déchets, des quantités de contaminants et des concentrations à l'équilibre dans la saumure contenue au sein des barrières pour différentes options de retrait partiel des déchets arséniés et mercuriels du stockage de StocaMine en comparaison du stockage illimité de l'ensemble des déchets. Le retrait de 56 % de la masse de mercure (déstockage des déchets B3 (arséniés) et B5 (mercuriels) des blocs 21 et 22) divise par plus de deux la concentration en mercure à l'équilibre dans la saumure avec le massif de déchets, alors que le retrait de 93 % de la masse de mercure (déstockage complémentaire des déchets B3 (arséniés) et B5 (mercuriels) des blocs 12 et 23) réduit la concentration en mercure d'un facteur 10. Toutefois, le cyanure, alors rendu disponible, provoque une augmentation des concentrations en solution de Cd, Co et Ni à respectivement 700 mg/l, 47 mg/l et 1 mg/l. Le retrait de tous les déchets des blocs 21 et 22 fournit des résultats similaires à l'option retrait de 56% de la masse de mercure, sauf pour le nickel total en solution, qui augmente à 1 mg/l. Le retrait de tous les déchets des blocs 12, 21, 22 et 23 fournit des résultats légèrement supérieurs à l'option de retrait de 93% de la masse de mercure pour le cobalt, le cadmium, l'argent, l'antimoine, le cyanure, le chrome et le mercure.

Les valeurs des concentrations calculées introduites dans la modélisation hydrodynamique de la nappe d'Alsace suggèrent que les concentrations en différentes substances seraient bien inférieures aux seuils réglementaires quel que soit le scénario étudié.

## SUMMARY

This report presents the results of the evolution of masses of waste, the quantities of contaminants and equilibrium concentrations in the brine within the engineered barriers for different options of partial withdrawal of arsenic and mercury waste storage StocaMine compared to the unlimited storage of all waste. The withdrawal of 56% of the mass of mercury (destocking B3 waste (arsenic) and B5 (mercury) of the blocks 21 and 22) divided by more than two mercury concentration in equilibrium with the brine in the waste mass, while the withdrawal of 93% of the mass of mercury (B3 destocking additional waste (arsenic) and B5 (mercury) of the blocks 12 and 23) reduces the concentration of mercury by a factor of 10. However, cyanide, then made available, causes an increase in concentration in solution of Cd, Co and Ni to respectively 700 mg/l, 47 mg/l and 1 mg/l. The withdrawal of all the waste of the blocks 21 and 22. The withdrawal of all the waste of blocks 12, 21, 22 and 23. The removal of all waste from blocks 21 and 22 provides similar results to the removal of 56% of the mass of mercury, except for total nickel in solution, increasing to 1 mg / l. The removal of all waste from blocks 12, 21, 22 and 23 provides slightly higher results than opting for removal of 93% of the mass of mercury for cobalt, cadmium, silver, antimony, cyanide, chromium and mercury.

By introducing the calculated concentrations in hydro-dynamic modeling of Alsace water-table, it can be concluded that concentrations related to different substances remain much less than regulatory thresholds. This is the case for all investigated scenarios.



## **1. INTRODUCTION ET OBJECTIF**

La société StocaMine a sollicité l'INERIS pour modéliser des scénarios complémentaires<sup>1</sup> d'évaluation du terme source (saumure contenue au sein des barrières délimitant le stockage) en fonction du retrait de certains lots de déchets à StocaMine :

- les déchets B3 et B5 des blocs 21 et 22 correspondant au déstockage de 56% de la masse de mercure (d'après l'évaluation de StocaMine) ;
- tous les déchets des blocs 21 et 22 ;
- en complément des choix précédents, les déchets B3 et B5 des blocs 12 et 23, ou autrement dit les déchets B3 et B5 des blocs 12, 21, 22 et 23, l'ensemble correspondant à 93 % de la masse de mercure (également d'après l'évaluation de StocaMine) ;
- tous les déchets des blocs 12, 21, 22 et 23 ;
- tous les déchets, à l'exception de ceux du bloc 15 dont l'accès est jugé dangereux pour les travailleurs.

Ce rapport présente les résultats d'une modélisation géochimique sur les quantités, les volumes et les concentrations à l'équilibre pour ces différentes options et compare ces résultats à ceux du stockage illimité.

Ce rapport est donc complémentaire du rapport N° IN ERIS-DRC-10-108130-12610B du 03/11/2011 intitulé « 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 », sur lequel il s'appuie.

Les résultats de la modélisation géochimique de ces 5 scénarios ont été ensuite traduits en termes de panache de la concentration en mercure dans la nappe d'Alsace après vérification que ce soit bien la substance la plus impactante. Il s'agit de déduire des résultats de la modélisation de l'impact sur la nappe d'Alsace, réalisée en 2011, les valeurs des différentes concentrations dans chacun des scénarios étudiés.

---

<sup>1</sup> Par rapport aux scénarios étudiés en 2011



## 2. RESULTATS

### 2.1 CALCUL DES QUANTITES DE CONTAMINANTS ET DES VOLUMES DES PORES POUR DIFFERENTES OPTIONS DE RETRAIT

Les différentes étapes de calcul sont les suivantes :

- réception des données et contrôle,
- calcul du nombre de colis par lot (par bloc et par catégorie),
- calcul des masses nettes totales de déchet par lot, bloc et catégorie compte tenu des nouvelles règles de tare par colis,
- affectation à chaque lot des options de retrait :
  - option 1 - cas initial, « **pas de retrait** » (version initial du rapport terme source (INERIS-DRC-10-108130-12610B du 03/11/2011) ;
  - option 2 - retrait d'une liste spécifique de colis de déchets B3 (arséniés) et B5 (mercuriels) des blocs 21 et 22, dite ici « **retrait 56 % B3 B5, estimé par StocaMine** » ;
  - option 3 - retrait tous les déchets des blocs 21 et 22, dite ici « **retrait blocs 21 22** »
  - option 4 - option 2 plus retrait des autres colis de déchets B3 et B5 des blocs 12, 21, 22 et 23 (appelé dans la base « retrait + 50 % B3 B5 »), ou autrement dit les déchets B3 et B5 des blocs 12, 21, 22 et 23, soit au total l'option « **retrait 93 % B3 B5, estimé par StocaMine** » ;
  - option 5 - retrait tous les déchets des blocs 12, 21, 22 et 23, dite ici « **retrait blocs 12 21 22 23** »
  - option 6 -, retrait de tous les déchets sauf les déchets du bloc 15, dite ici « **retrait sauf bloc 15** » ;
- calcul des masses brutes et nettes de chaque option de retrait ;
- calcul du volume de pores pour chaque option de retrait (par application d'un taux de porosité aux masses brutes restantes) ;
- calcul des quantités d'éléments pour chaque lot à partir des teneurs moyennes des lots et des nouvelles masses nettes ;
- calcul des quantités d'éléments totaux restants pour chaque option de retrait ;
- calcul des quantités d'éléments totaux restants par unité de volume ;
- calcul des espèces en solution.

La société StocaMine a fourni :

- de nouvelles règles de tare des colis :
  - soit 90 kg = palette (30 kg) + 4 fûts (4\*15 kg),
  - soit 150 kg = 90 kg + 4 bouchons de plâtre (4\*15 kg) (Tableau 1) ;

- deux fichiers avec la liste spécifique des colis concernés par le retrait à « 56% de la masse de mercure » : il s'agit des déchets **accessibles** (partiels) B3 arséniés et B5 mercuriels des blocs 21 et 22 (fichiers *Bloc21 b3+b5 global.xls* et *Bloc 22 b3b5 global.xls*) ;
- un fichier reprenant l'ensemble des masses par colis, lot, catégorie de déchet et localisation (fichier *Copie de Recherche par bloc nature.xlsx*).

Le retrait de « 93 % de la masse de mercure » correspond au retrait de tous les déchets B3 arséniés et B5 mercuriels dans les blocs 12, 21, 22 et 23.

Les tableaux suivants présentent pour chaque option :

- les tares (Tableau 1),
- les masses et le volume correspondant à la porosité des déchets (Tableau 2),
- les quantités d'éléments (Tableau 3),
- les quantités d'éléments par unité de volume de porosité des déchets (Tableau 4).

*Tableau 1: Tare par catégorie de déchets*

Catégorie	Contenant	Tare (kg) par colis
A1 -Sels de trempé	Fûts	90
A2- Sels de trempé non cyanures	Fûts	90
B3 -Déchets arséniés		0
C4 -Déchets chromiques	Fûts	90
B5 -Déchets mercuriels	Fûts	150
B6 -Terres polluées		0
D7-résidus de l'industrie	Fûts	150
C8-Déchets de galvanisation	Fûts	90
E9 -Résidus d'incinération		0
B10-Produits phytosanitaires	Fûts	0
D12-Déchets de laboratoire	Conteneurs	150
E13-Déchets amiantés		0

Tableau 2: Masses brutes et nettes (tonnes) des déchets et volumes de porosité<sup>2</sup> pour les différentes options de retrait

Catégorie	Masse brute	Masse nette	Nombre de colis	Nombre de Lot	Retrait 56 % B3 B5 Masse brute	Retrait blocs 21 22	Retrait 93 % B3 B5 Masse brute	Retrait bloc 12 21 22 23	Retrait sauf bloc 15 Masse brute
A1	2156	1961	2164	151	2156	2156	2156	1554	79
A2	1218	1110	1191	100	1218	1218	1218	989	10
B3	6975	6975	7107	379	3912	122	601		12
C4	429	397	358	38	429	3274	429	601	
B5	2272	2010	1753	116	411	389	100	100	
B6	5298	5298	4646	302	5298	3353	5298	2529	129
D7	138	89	324	28	138	429	138	331	11
C8	640	587	586	53	640	640	640	532	44
E9	20714	20714	38967	1432	20714	76	20714	52	914
B10	128	128	105	9	128	138	128	136	
D12	76	62	91	9	76	3256	76	2096	
E13	3774	3774	9823	871	3774	15584	3774	10226	438
<b>Total général</b>	<b>43817</b>	<b>43105</b>	<b>67115</b>	<b>3488</b>	<b>38893</b>	<b>30634</b>	<b>35271</b>	<b>19145</b>	<b>1639</b>
« Porosité apparente » des déchets (m <sup>3</sup> /t)	0.160				0.160	0.160	0.160	0.160	0.160
Volume porosité (m <sup>3</sup> )	7000				6213	4894	5635	3059	262

<sup>2</sup> Il s'agit du volume des vides résiduels du stockage à l'envoyage, estimé en m3 pour la masse de déchets laissés en place du scénario

Tableau 3 : Quantité d'éléments dans le stockage en fonction des options de retrait (kg)

Option	Ag	Al	As	Au	Ba	Bi	Br	Ca	Cd	Cl	Co	Cr	Cr hexavalent	Cs	Cu	Cyanure	Eu	Fe	Ga	Ge	Hg	I	In	K
Pas de retrait	2013	672688	1190345	212	188685	78122	56872	3851467	29531	4037604	7241	47511	1201	1057	84658	4671	6	774022	395	193	50852	4949	204	605858
Retrait 56 %B3 B5	1358	633615	334578	212	182807	16177	56491	3777867	20476	4005089	5859	46265	1201	983	52406	4671	6	518839	286	112	20903	4111	36	578796
Retrait bloc 21 22	1091	418403	157758	195	176465	1865	44470	2853133	18091	2907374	4145	42752	1201	137	42882	4671	6	336931	243	91	14921	2485	4	487053
Retrait 93 %B3 B5	1192	580952	65322	212	178531	2084	56329	3616112	18287	3984447	4588	44755	1201	945	46753	4671	6	373573	263	59	3059	3944	6	562521
Retrait bloc 12 21 22 23	960	151909	53473	31	134375	1257	39636	1942673	17477	1030166	2842	32582	960	100	37550	4662	0	225926	183	44	2747	1861	4	367774
Retrait sauf bloc 15	74	8084	3762	0	3255	62	5616	113645	15635	96118	223	1296	0	0	1040	7	0	11482	16	0	84	163	0	20012

Option	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Se	Si	Sn	Sr	Ta	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr
Pas de retrait	1851352	20838	13719	2939658	209	31351	117953	213589	1575210	78428	10544	821	1547590	33548	18652	21801	4622	572	138946	3931	31	6628	22199	0	295685	20048
Retrait 56 %B3 B5	820142	19363	13568	2701726	170	29718	117550	127055	1473482	25633	9870	686	1363199	22510	17509	8129	1000	106	133831	1436	26	5811	20645	0	255566	19406
Retrait bloc 21 22	747454	14406	6979	2059992	137	27367	95269	83161	1081893	10020	6775	486	860319	16336	15193	4800	140	7	110755	823	26	4979	16478	0	187023	17375
Retrait 93 %B3 B5	210629	18280	10294	2561785	157	29281	114467	98910	1319279	11788	9338	443	1144668	19957	15135	3542	124	6	129921	551	24	5428	20245	0	241051	18693
Retrait bloc 12 21 22 23	63710	11307	5455	1023496	109	23506	54642	63432	342930	8297	4753	323	261187	13816	10133	2411	84	3	53213	455	15	3306	12204	0	130480	12932
Retrait sauf bloc 15	2707	459	181	81178	3	9932	3076	2356	18348	134	347	8	11894	878	315	124	1	0	2679	63		118	1215	0	7975	63

Tableau 4 : Ratios relatifs (quantités totales en moles/volume) de certains contaminants pour chaque option de retrait

Ratio Quantité M/volume	Ni	Co	Cd	As	Ag	Sb	Cyanure	Cr	Cr hexavalent	Hg
Pas de retrait	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Retrait de « 56 %de B3 B5 »	1.07	0.91	0.78	0.32	0.76	0.37	1.13	1.10	1.13	0.46
Retrait bloc 21 22	1.25	0.82	0.88	0.19	0.78	0.18	1.43	1.29	1.43	0.42
Retrait de « 93 %de B3 B5 »	1.16	0.79	0.77	0.07	0.74	0.19	1.24	1.17	1.24	0.07
Retrait bloc 12 21 22 23	3.99	0.90	1.35	0.10	1.09	0.14	2.28	1.57	1.83	0.08
Retrait sauf bloc 15	8.47	0.83	14.16	0.08	0.98	0.05	0.04	0.73	Non mesuré	0.04

Il y a donc, dans les cas de retrait partiel des déchets contenant le mercure, baisse du ratio (quantité en moles par unité de volume) pour les éléments calculés comme potentiellement contaminants (Cd, As, Ag, Sb, Hg) sauf pour le chrome et le cyanure.

Pour toutes les options, il y a toujours baisse du ratio d'As, de Sb et d'Hg, et hausse du Ni, du cyanure, du Cr total et du Cr hexavalent, avec un statu-quo approximatif pour Co, Cd (ce dernier est plus élevé cependant pour l'option « retrait des blocs 12 21 22 23 ») et Hg.

## **2.2 CALCULS DES CONTAMINANTS EN SOLUTION A L'EQUILIBRE**

Les options de calcul sont identiques à celles utilisées dans le rapport « Evaluation du terme source » cité.

### **2.2.1 FIXATION DU PH**

Le pH a été fixé de la façon suivante :

- calcul de la quantité d' $H^+$  et d' $OH^-$  de chaque lot (valeurs négatives pour  $pH < 7$ ) à partir des concentrations mesurées au laboratoire et renseignées dans le fichier des analyses, en tenant compte d'un rapport liquide/solide de 10 l/kg pour ces mesures, et des masses nettes ;
- calcul des quantités totales d' $H^+$  et d' $OH^-$  en fonction des options de retrait, et calcul de la quantité nette d' $OH^-$  (neutralisation des  $H^+$  par les  $OH^-$  très majoritaires) ;
- calcul de la quantité  $OH^-$  en cas de dissociation totale par unité de volume interstitiel des déchets.

Le calcul montre que les bases fortes présentes ne sont pas totalement dissociées. Un pH alcalin a donc été utilisé, comme pour les calculs précédents, et en accord avec des observations indépendantes sur les pH des résidus d'épuration des fumées d'incinération d'ordures ménagères (REFIOM) dit « bicarbonaté » et les REFIOM dit « chaux ». La catégorie de déchets E9-Résidus de l'incinération, soit les REFIOM, constituent 92% de l'alcalinité nette du stockage. Le pH a été fixé à entre 10.9 et 11.1 selon les différentes options de retrait pour optimiser la convergence de calcul (l'équilibre le meilleur possible entre somme des espèces positives et somme des espèces négatives en solution).

## 2.2.2 CONCENTRATIONS A L'EQUILIBRE

Les calculs ont été effectués pour les 4 options de retrait. Les concentrations calculées sont présentées au Tableau 5 et à la Figure 1 (en gramme par litre et par concentration croissante)

Tableau 5 : Concentrations (g/l) à l'équilibre pour différentes options de retrait

Elément	Pas de retrait g/l	Retrait 56% B3 B5	Retrait bloc 21 22	Retrait 93% B3 B5	Retrait bloc 12 21 22 23	Retrait sauf bloc 15
Cu	1.93E-07	1.94E-07	1.63E-07	1.95E-07	2.32E-07	1.97E-07
Ba	2.30E-07	2.39E-07	1.90E-07	2.42E-07	3.01E-07	2.72E-07
Ni	3.05E-07	7.78E-07	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	3.08E-07
Pb	4.53E-07	4.56E-07	6.07E-07	4.57E-07	3.82E-07	4.39E-07
Bi	6.95E-06	6.96E-06	5.43E-06	6.96E-06	8.76E-06	7.31E-06
Co	8.29E-06	8.26E-06	1.16E-05	4.74E-02	1.24E-01	8.37E-06
Cd	1.54E-03	1.56E-03	2.56E-03	7.12E-01	1.24E+00	1.54E-03
As	1.54E-02	1.42E-02	1.78E-02	1.39E-02	1.14E-02	1.27E-02
Ag	3.88E-02	5.30E-02	5.50E-02	5.20E-02	7.60E-02	3.91E-02
Sb	1.89E-01	1.92E-01	1.21E-01	1.92E-01	3.01E-01	1.90E-01
CN	6.80E-01	7.67E-01	9.71E-01	8.42E-01	1.55E+00	2.70E-02
Cr	7.07E+00	7.07E+00	9.12E+00	8.27E+00	1.11E+01	5.16E+00
Hg	7.52E+00	3.46E+00	3.16E+00	5.26E-01	9.02E-01	3.01E-01

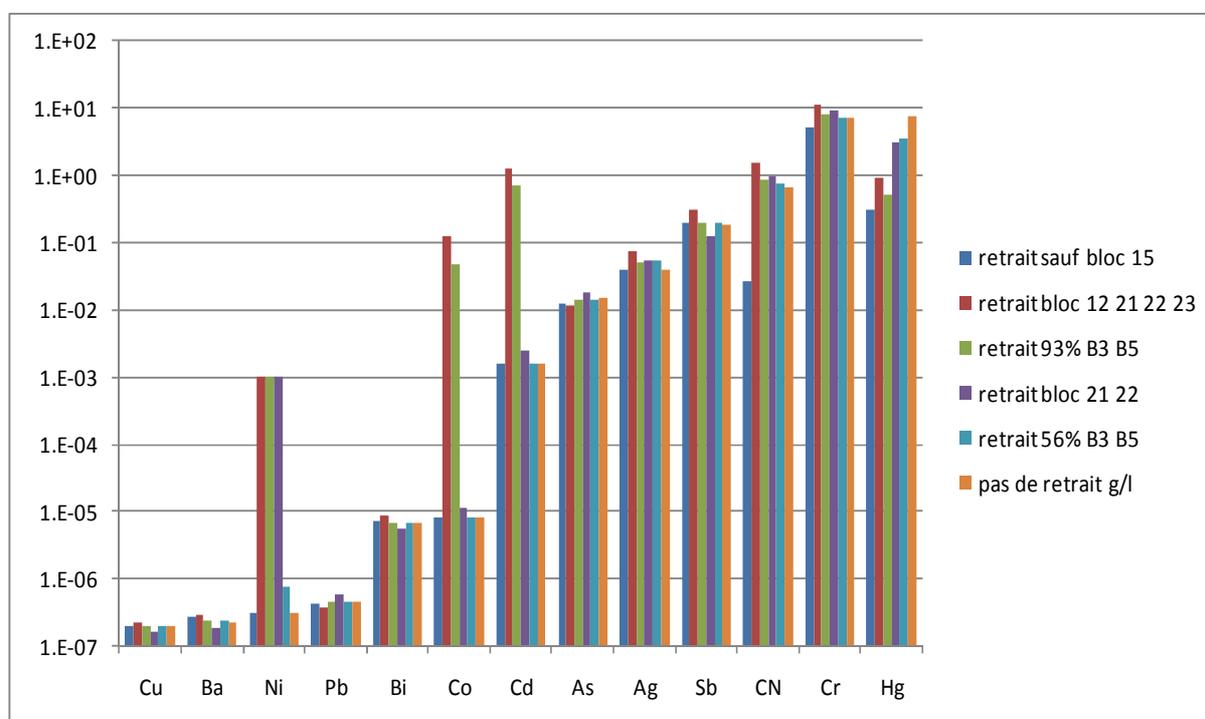


Figure 1 : Concentrations (g/l) à l'équilibre pour différentes options de retrait

## 2.3 PRINCIPALES REMARQUES

Entre l'option « pas de retrait », et l'option « **retrait de 56% des déchets B3 et B5** », il n'y a pas de différence majeure, hormis pour le mercure. Les concentrations des contaminants à l'équilibre avec les phases minérales ne varient pas ou très peu, tandis que les contaminants qui ne sont pas contrôlés par des phases solides varient au prorata des effets contradictoires de la diminution des inventaires, et de la diminution des volumes pour la dilution. Ainsi le mercure (Hg) passe de 7,52 à 3,46 g/l (de  $3,75 \cdot 10^{-2}$  M à  $1,72 \cdot 10^{-2}$  M).

Si l'on considère l'option de « **retrait à 93% des déchets B3 B5** », la concentration initiale en cyanure devient supérieure à la concentration initiale en mercure. Il en résulte donc que

- tout le mercure est complexé par le cyanure, sa concentration totale après équilibration passe à 0,526 g/l ( $2,62 \cdot 10^{-3}$  M), reflétant la baisse de la concentration initiale ;
- il reste du cyanure en excès, qui va alors complexer sélectivement Co, Cd et Ni. Les concentrations de ces métaux sont toujours fixées par des équilibres avec des minéraux secondaires, mais du fait de la complexation par les cyanures, les concentrations à l'équilibre sont plus élevées, et passent entre l'option sans retrait et l'option de retrait de 93 % des déchets de catégorie B3 et B5, pour Cd de 1,54 mg/l à 712 mg/l ( $1,37 \cdot 10^{-5}$  M à  $6,34 \cdot 10^{-3}$  M), pour Co de 0,008 mg/l à 47,4 mg/l (de  $1,41 \cdot 10^{-7}$  M à  $8,04 \cdot 10^{-2}$  M), et pour Ni de 0,0003 mg/l à 1 mg/l (de  $5,20 \cdot 10^{-9}$  M à  $1,70 \cdot 10^{-5}$  M).

Tout ceci met en exergue l'importance des cyanures d'une part, et l'importance du rapport entre les cyanures et le mercure. Si l'on retire le mercure, en laissant du cyanure en excès par rapport au mercure, celui-ci va alors complexer d'autres métaux, et augmenter leur concentration à l'équilibre.

L'option « **retrait des déchets des blocs 21 et 22** » fournit des résultats similaires à l'option « retrait de 56% des déchets B3 et B5 », sauf pour le nickel total en solution, qui augmente à 1 mg/l.

L'option « **retrait des déchets des blocs 12, 21, 22 et 23** » fournit des résultats légèrement supérieurs à l'option « retrait à 93% des déchets B3 B5 » pour le cobalt, le cadmium, l'argent, l'antimoine, le cyanure, le chrome et le mercure. Les quantités diminuent mais les volumes de dissolution également.

La connaissance précise des inventaires en cyanure libre (accessible par des analyses restreintes à certains lots), mais aussi en cyanure total (non accessible, mais pouvant être éventuellement estimée de manière indirecte) est un enjeu important. En l'absence d'accès à ces données, il est préférable de limiter les inventaires en cyanure, et donc de retirer les déchets de type A1.

Pour les conséquences en termes d'impact, il est impératif de bien prendre en compte la diminution des concentrations, qui vont déterminer le flux, mais aussi des inventaires (quantités totales restantes) qui vont déterminer la durée pendant laquelle le flux va être émis et cela même si, dans un premier temps, c'est la valeur de pic qui peut conditionner les MMR (Moyens de Maîtrise des Risques).



### **3. CONCLUSION SUR LES MODELISATIONS GEOCHIMIQUES**

Le retrait de près de la moitié (56%, d'après l'estimation StocaMine, valeur légèrement sous estimée d'après nos calculs du tableau 3) de la masse de mercure (déstockage des déchets B3 (arséniés) et B5 (mercuriels) des blocs 21 et 22) conduit assez naturellement à une baisse de près de la moitié de sa concentration dans la saumure polluée au sein du stockage ; elle reste sans influence sur la concentration des autres contaminants.

Le retrait à 93% de la masse de mercure (déstockage complémentaire des déchets B3 (arséniés) et B5 (mercuriels) des blocs 12 et 23) réduit significativement la concentration en mercure à l'équilibre dans la saumure avec le massif de déchets. Le cyanure alors rendu disponible produit une augmentation des concentrations en solution de Cd, Co et Ni à respectivement 700 mg/l, 47 mg/l et 1 mg/l.

L'option « retrait des déchets des blocs 21 et 22 » fournit des résultats similaires à l'option « retrait de 56% des déchets B3 et B5 », sauf pour le nickel total en solution, qui augmente à 1 mg/l.

L'option « retrait des déchets des blocs 12, 21, 22 et 23 » fournit des résultats légèrement supérieurs à l'option « retrait à 93% des déchets B3 B5 » pour le cobalt, le cadmium, l'argent, l'antimoine, le cyanure, le chrome et le mercure.

Le déstockage complet hors bloc 15 conduit à des concentrations dans la saumure polluée quasi identiques à celles du stockage illimité sauf pour le cyanure et le mercure où elles sont alors 20 fois plus faibles.



#### **4. IMPACT SUR LES PANACHES DANS LA NAPPE D'ALSACE**

Au regard de ces résultats, l'INERIS a également évalué l'impact potentiel du stockage avec les hypothèses ci-dessus sur la ressource en eau, ce qui fait l'objet du présent chapitre. Cette dernière étude a été réalisée en déduisant la concentration dans la nappe d'Alsace de celle du terme source, en faisant l'hypothèse vraisemblable que le ratio de concentrations reste proportionnel.

La partie relative à la modélisation géochimique des 5 scénarios de ce rapport donne notamment les concentrations attendues au niveau du stockage (terme source).

Les calculs ont été effectués pour les 5 options de retrait (V1 à V5). Les concentrations calculées sont celles présentées au Tableau 5 et à la Figure 1 (en g/l et par concentration croissante).

Ces nouvelles données d'entrée ont été utilisées pour le calcul des concentrations attendues dans la nappe alluviale d'Alsace. En effet, basés sur le terme source que constituera la saumure présente dans le stockage (StocaMine) suite à l'ennoyage des vides miniers, différents modèles de transfert et différentes simulations ont permis d'estimer l'impact potentiel de l'arrivée de cette saumure contaminée au sein de la nappe d'Alsace. Ces modèles sont décrits dans le précédent rapport de l'INERIS sur ce thème (INERIS, 2011).

La démarche suivie pour considérer ces nouvelles données a été de calculer, par rapport au précédent scénario de stockage illimité, la proportion d'élément en plus ou en moins selon les différents scénarios de déstockage. Les calculs sont présentés en annexe, ci-après sont repris les résultats pour les éléments considérés et pour le scénario d'épanchement retenu *in fine* : un épanchement à 1000 ans par 5 puits (mine Amélie) et le fond de la nappe. Rappelons que comme cela a été précisé dans le rapport INERIS en 2011, dans l'hypothèse d'une sortie de saumure par un nombre plus faible de puits, la valeur de la concentration d'une substance donnée est plus grande et peut être estimée proportionnellement aux débits de sortie. A titre indicatif, en supposant les débits de sortie des différents puits identiques (hypothèse discutable), la concentration en tout point et à un temps donné, est multipliée par 2,5 si la saumure contaminée sort par 2 puits au lieu de 5.

Les tableaux qui suivent donnent les concentrations calculées en mercure (Hg) au droit des 5 puits de la mine Amélie (à 1000 ans). Des cartes illustrant le panache de mercure simulé dans la couche inférieure sont également reportées à la suite (pour les options V1 à V5).

Les résultats des différents calculs suggèrent que le déstockage partiel, pour les 5 scénarios, ne conduit à aucun dépassement des seuils réglementaires pour les éléments considérés. Rappelons que c'était déjà le cas avec le scénario de stockage illimité de tous les déchets. Le mercure était alors apparu comme l'élément le plus impactant sur la qualité des eaux souterraines.

A ce titre, rappelons la recommandation formulée par l'INERIS en conclusion de son rapport de 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. ». Cette recommandation reste valable pour les scénarios étudiés ici.

Tableau 6 : Valeurs de concentrations moyennes en Hg calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans)

			Retrait 56%	Retrait bloc 21 22	Retrait 93%	Retrait bloc 12 21 22 23	Retrait sauf bloc 15
Couche	Critères de qualité	0,2					
	(µg/L) – environnement local témoin						
	Critères de qualité	1					
	d'origine réglementaire (µg/L)						
	Puits	Hg					
1	Amélie 1	7,41E-03	3,41E-03	3,11E-03	5,18E-04	8,89E-04	2,97E-04
	Amélie 2	3,33E-03	1,53E-03	1,40E-03	2,33E-04	3,99E-04	1,33E-04
	Else	4,21E-03	1,94E-03	1,77E-03	2,94E-04	5,05E-04	1,69E-04
	Joseph	4,03E-03	1,85E-03	1,69E-03	2,82E-04	4,83E-04	1,61E-04
	Max	1,30E-02	5,98E-03	5,46E-03	9,09E-04	1,56E-03	5,20E-04
2	Amélie 1	2,56E-02	1,18E-02	1,08E-02	1,79E-03	3,07E-03	1,02E-03
	Amélie 2	8,82E-03	4,06E-03	3,71E-03	6,17E-04	1,06E-03	3,53E-04
	Else	8,44E-03	3,88E-03	3,55E-03	5,90E-04	1,01E-03	3,38E-04
	Joseph	6,08E-03	2,80E-03	2,55E-03	4,25E-04	7,29E-04	2,43E-04
	Max	9,02E-02	4,15E-02	3,79E-02	6,31E-03	1,08E-02	3,61E-03
3	Amélie 1	1,04E-01	4,79E-02	4,37E-02	7,27E-03	1,25E-02	4,16E-03
	Amélie 2	5,57E-02	2,56E-02	2,34E-02	3,90E-03	6,68E-03	2,23E-03
	Else	7,05E-02	3,24E-02	2,96E-02	4,93E-03	8,46E-03	2,82E-03
	Joseph	6,67E-02	3,07E-02	2,80E-02	4,67E-03	8,00E-03	2,67E-03

Tableau 7 : Valeurs de concentrations moyennes en Cr calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans)

			Retrait 56%	Retrait bloc 21 22	Retrait 93%	Retrait bloc 12 21 22 23	Retrait sauf bloc 15
Couche	Critères de qualité (µg/L) – environnement local témoin	7					
	Critères de qualité d'origine réglementaire (µg/L)	50					
	Puits	Cr					
1	Amélie 1	6,79E-03	6,79E-03	8,76E-03	7,94E-03	1,07E-02	4,96E-03
	Amélie 2	3,05E-03	3,05E-03	3,93E-03	3,57E-03	4,79E-03	2,23E-03
	Else	3,86E-03	3,86E-03	4,98E-03	4,52E-03	6,06E-03	2,82E-03
	Joseph	3,69E-03	3,69E-03	4,76E-03	4,32E-03	5,79E-03	2,69E-03
	Max	1,19E-02	1,19E-02	1,54E-02	1,39E-02	1,87E-02	8,69E-03
2	Amélie 1	2,35E-02	2,35E-02	3,03E-02	2,75E-02	3,69E-02	1,72E-02
	Amélie 2	8,09E-03	8,09E-03	1,04E-02	9,46E-03	1,27E-02	5,90E-03
	Else	7,74E-03	7,74E-03	9,98E-03	9,05E-03	1,22E-02	5,65E-03
	Joseph	5,57E-03	5,57E-03	7,19E-03	6,52E-03	8,74E-03	4,07E-03
	Max	8,27E-02	8,27E-02	1,07E-01	9,67E-02	1,30E-01	6,04E-02
3	Amélie 1	9,54E-02	9,54E-02	1,23E-01	1,12E-01	1,50E-01	6,96E-02
	Amélie 2	5,11E-02	5,11E-02	6,59E-02	5,98E-02	8,02E-02	3,73E-02
	Else	6,46E-02	6,46E-02	8,33E-02	7,56E-02	1,01E-01	4,71E-02
	Joseph	6,12E-02	6,12E-02	7,89E-02	7,16E-02	9,61E-02	4,47E-02

Tableau 8 : Valeurs de concentrations moyennes en CN calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans)

			Retrait 56%	Retrait bloc 21 22	Retrait 93%	Retrait bloc 12 21 22 23	Retrait sauf bloc 15
Couche	Critères de qualité	<100					
	(µg/L) – environnement local témoin						
	Critères de qualité	50					
	d'origine réglementaire (µg/L)						
	Puits	CN					
1	Amélie 1	6,53E-04	7,37E-04	9,32E-04	8,09E-04	1,49E-03	2,59E-05
	Amélie 2	2,93E-04	3,30E-04	4,18E-04	3,63E-04	6,68E-04	1,16E-05
	Else	3,71E-04	4,18E-04	5,30E-04	4,59E-04	8,46E-04	1,47E-05
	Joseph	3,55E-04	4,00E-04	5,07E-04	4,40E-04	8,09E-04	1,41E-05
	Max	1,14E-03	1,29E-03	1,63E-03	1,41E-03	2,60E-03	4,53E-05
2	Amélie 1	2,25E-03	2,54E-03	3,21E-03	2,79E-03	5,13E-03	8,93E-05
	Amélie 2	7,77E-04	8,76E-04	1,11E-03	9,62E-04	1,77E-03	3,09E-05
	Else	7,44E-04	8,39E-04	1,06E-03	9,21E-04	1,70E-03	2,95E-05
	Joseph	5,36E-04	6,05E-04	7,65E-04	6,64E-04	1,22E-03	2,13E-05
	Max	7,95E-03	8,97E-03	1,14E-02	9,84E-03	1,81E-02	3,16E-04
3	Amélie 1	9,17E-03	1,03E-02	1,31E-02	1,14E-02	2,09E-02	3,64E-04
	Amélie 2	4,91E-03	5,54E-03	7,01E-03	6,08E-03	1,12E-02	1,95E-04
	Else	6,21E-03	7,00E-03	8,87E-03	7,69E-03	1,42E-02	2,47E-04
	Joseph	5,88E-03	6,63E-03	8,40E-03	7,28E-03	1,34E-02	2,33E-04

Tableau 9 : Valeurs de concentrations moyennes en Sb calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans)

			Retrait 56%	Retrait bloc 21 22	Retrait 93%	Retrait bloc 12 21 22 23	Retrait sauf bloc 15
Couche	Critères de qualité	nm					
	(µg/L) – environnement local témoin						
	Critères de qualité	5					
	d'origine réglementaire (µg/L)						
	Puits	Sb					
1	Amélie 1	1,82E-04	1,85E-04	1,17E-04	1,85E-04	2,90E-04	1,83E-04
	Amélie 2	8,15E-05	8,28E-05	5,22E-05	8,28E-05	1,30E-04	8,19E-05
	Else	1,03E-04	1,05E-04	6,59E-05	1,05E-04	1,64E-04	1,04E-04
	Joseph	9,88E-05	1,00E-04	6,33E-05	1,00E-04	1,57E-04	9,93E-05
	Max	3,18E-04	3,23E-04	2,04E-04	3,23E-04	5,06E-04	3,20E-04
2	Amélie 1	6,28E-04	6,38E-04	4,02E-04	6,38E-04	1,00E-03	6,31E-04
	Amélie 2	2,16E-04	2,19E-04	1,38E-04	2,19E-04	3,44E-04	2,17E-04
	Else	2,07E-04	2,10E-04	1,33E-04	2,10E-04	3,30E-04	2,08E-04
	Joseph	1,49E-04	1,51E-04	9,54E-05	1,51E-04	2,37E-04	1,50E-04
	Max	2,21E-03	2,25E-03	1,41E-03	2,25E-03	3,52E-03	2,22E-03
3	Amélie 1	2,55E-03	2,59E-03	1,63E-03	2,59E-03	4,06E-03	2,56E-03
	Amélie 2	1,37E-03	1,39E-03	8,77E-04	1,39E-03	2,18E-03	1,38E-03
	Else	1,73E-03	1,76E-03	1,11E-03	1,76E-03	2,76E-03	1,74E-03
	Joseph	1,64E-03	1,67E-03	1,05E-03	1,67E-03	2,61E-03	1,65E-03

nm : non mesuré

Tableau 10 : Valeurs de concentrations moyennes en As calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans)

			Retrait 56%	Retrait bloc 21 22	Retrait 93%	Retrait bloc 12 21 22 23	Retrait sauf bloc 15
Couche	Critères de qualité	<10					
	(µg/L) – environnement local témoin						
	Critères de qualité	10					
	d'origine réglementaire (µg/L)						
	Puits	As					
1	Amélie 1	1,47E-05	1,36E-05	1,70E-05	1,33E-05	1,09E-05	1,21E-05
	Amélie 2	6,62E-06	6,10E-06	7,65E-06	5,98E-06	4,90E-06	5,46E-06
	Else	8,38E-06	7,73E-06	9,69E-06	7,56E-06	6,20E-06	6,91E-06
	Joseph	8,02E-06	7,40E-06	9,27E-06	7,24E-06	5,94E-06	6,61E-06
	Max	2,58E-05	2,38E-05	2,98E-05	2,33E-05	1,91E-05	2,13E-05
2	Amélie 1	5,09E-05	4,69E-05	5,88E-05	4,59E-05	3,77E-05	4,20E-05
	Amélie 2	1,76E-05	1,62E-05	2,03E-05	1,59E-05	1,30E-05	1,45E-05
	Else	1,68E-05	1,55E-05	1,94E-05	1,52E-05	1,24E-05	1,39E-05
	Joseph	1,21E-05	1,12E-05	1,40E-05	1,09E-05	8,96E-06	9,98E-06
	Max	1,80E-04	1,66E-04	2,08E-04	1,62E-04	1,33E-04	1,48E-04
3	Amélie 1	2,07E-04	1,91E-04	2,39E-04	1,87E-04	1,53E-04	1,71E-04
	Amélie 2	1,11E-04	1,02E-04	1,28E-04	1,00E-04	8,22E-05	9,15E-05
	Else	1,40E-04	1,29E-04	1,62E-04	1,26E-04	1,04E-04	1,15E-04
	Joseph	1,33E-04	1,23E-04	1,54E-04	1,20E-04	9,85E-05	1,10E-04

Tableau 11 : Valeurs de concentrations moyennes en Cd calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans)

			Retrait 56%	Retrait bloc 21 22	Retrait 93%	Retrait bloc 12 21 22 23	Retrait sauf bloc 15
Couche	Critères de qualité	0,7					
	(µg/L) – environnement local témoin						
	Critères de qualité	5					
	d'origine réglementaire (µg/L)						
	Puits	Cd					
1	Amélie 1	1,48E-06	1,50E-06	2,46E-06	6,84E-04	1,19E-03	1,48E-06
	Amélie 2	6,63E-07	6,72E-07	1,10E-06	3,07E-04	5,34E-04	6,63E-07
	Else	8,39E-07	8,50E-07	1,39E-06	3,88E-04	6,76E-04	8,39E-07
	Joseph	8,03E-07	8,13E-07	1,33E-06	3,71E-04	6,47E-04	8,03E-07
	Max	2,58E-06	2,61E-06	4,29E-06	1,19E-03	2,08E-03	2,58E-06
2	Amélie 1	5,10E-06	5,17E-06	8,48E-06	2,36E-03	4,11E-03	5,10E-06
	Amélie 2	1,76E-06	1,78E-06	2,93E-06	8,14E-04	1,42E-03	1,76E-06
	Else	1,68E-06	1,70E-06	2,79E-06	7,77E-04	1,35E-03	1,68E-06
	Joseph	1,21E-06	1,23E-06	2,01E-06	5,59E-04	9,74E-04	1,21E-06
	Max	1,80E-05	1,82E-05	2,99E-05	8,32E-03	1,45E-02	1,80E-05
3	Amélie 1	2,08E-05	2,11E-05	3,46E-05	9,62E-03	1,67E-02	2,08E-05
	Amélie 2	1,11E-05	1,12E-05	1,85E-05	5,13E-03	8,94E-03	1,11E-05
	Else	1,40E-05	1,42E-05	2,33E-05	6,47E-03	1,13E-02	1,40E-05
	Joseph	1,33E-05	1,35E-05	2,21E-05	6,15E-03	1,07E-02	1,33E-05

Tableau 12 : Valeurs de concentrations moyennes en Pb calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans)

			Retrait 56%	Retrait bloc 21 22	Retrait 93%	Retrait bloc 12 21 22 23	Retrait sauf bloc 15
Couche	Critères de qualité	13					
	(µg/L) – environnement local témoin						
	Critères de qualité	10					
	d'origine réglementaire (µg/L)						
	Puits	Pb					
1	Amélie 1	4,35E-10	4,38E-10	5,83E-10	4,39E-10	3,67E-10	4,22E-10
	Amélie 2	1,95E-10	1,96E-10	2,61E-10	1,97E-10	1,64E-10	1,89E-10
	Else	2,47E-10	2,49E-10	3,31E-10	2,49E-10	2,08E-10	2,39E-10
	Joseph	2,37E-10	2,39E-10	3,18E-10	2,39E-10	2,00E-10	2,30E-10
	Max	7,61E-10	7,66E-10	1,02E-09	7,68E-10	6,42E-10	7,37E-10
2	Amélie 1	1,50E-09	1,51E-09	2,01E-09	1,51E-09	1,26E-09	1,45E-09
	Amélie 2	5,18E-10	5,21E-10	6,94E-10	5,23E-10	4,37E-10	5,02E-10
	Else	4,96E-10	4,99E-10	6,65E-10	5,00E-10	4,18E-10	4,81E-10
	Joseph	3,57E-10	3,59E-10	4,78E-10	3,60E-10	3,01E-10	3,46E-10
	Max	5,30E-09	5,34E-09	7,10E-09	5,35E-09	4,47E-09	5,14E-09
3	Amélie 1	6,12E-09	6,16E-09	8,20E-09	6,17E-09	5,16E-09	5,93E-09
	Amélie 2	3,27E-09	3,29E-09	4,38E-09	3,30E-09	2,76E-09	3,17E-09
	Else	4,14E-09	4,17E-09	5,55E-09	4,18E-09	3,49E-09	4,01E-09
	Joseph	3,92E-09	3,95E-09	5,25E-09	3,95E-09	3,31E-09	3,80E-09

Tableau 13 : Valeurs de concentrations moyennes en Ni calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans)

			Retrait 56%	Retrait bloc 21 22	Retrait 93%	Retrait bloc 12 21 22 23	Retrait sauf bloc 15
Couche	Critères de qualité	3,7					
	(µg/L) – environnement local témoin						
	Critères de qualité	20					
	d'origine réglementaire (µg/L)						
	Puits	Ni					
1	Amélie 1	2,93E-10	7,47E-10	9,61E-07	9,61E-07	9,61E-07	2,96E-10
	Amélie 2	1,32E-10	3,37E-10	4,33E-07	4,33E-07	4,33E-07	1,33E-10
	Else	1,67E-10	4,26E-10	5,48E-07	5,48E-07	5,48E-07	1,69E-10
	Joseph	1,59E-10	4,06E-10	5,21E-07	5,21E-07	5,21E-07	1,61E-10
	Max	5,13E-10	1,31E-09	1,68E-06	1,68E-06	1,68E-06	5,18E-10
2	Amélie 1	1,01E-09	2,58E-09	3,31E-06	3,31E-06	3,31E-06	1,02E-09
	Amélie 2	3,49E-10	8,90E-10	1,14E-06	1,14E-06	1,14E-06	3,52E-10
	Else	3,34E-10	8,52E-10	1,10E-06	1,10E-06	1,10E-06	3,37E-10
	Joseph	2,41E-10	6,15E-10	7,90E-07	7,90E-07	7,90E-07	2,43E-10
	Max	3,57E-09	9,11E-09	1,17E-05	1,17E-05	1,17E-05	3,61E-09
3	Amélie 1	4,12E-09	1,05E-08	1,35E-05	1,35E-05	1,35E-05	4,16E-09
	Amélie 2	2,20E-09	5,61E-09	7,21E-06	7,21E-06	7,21E-06	2,22E-09
	Else	2,79E-09	7,12E-09	9,15E-06	9,15E-06	9,15E-06	2,82E-09
	Joseph	2,64E-09	6,73E-09	8,66E-06	8,66E-06	8,66E-06	2,67E-09

Tableau 14 : Valeurs de concentrations moyennes en Ba calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans)

			Retrait 56%	Retrait bloc 21 22	Retrait 93%	Retrait bloc 12 21 22 23	Retrait sauf bloc 15
Couche	Critères de qualité	nm					
	(µg/L) – environnement local témoin						
	Critères de qualité	700					
	d'origine réglementaire (µg/L)						
	Puits	Ba					
1	Amélie 1	2,20E-10	2,29E-10	1,82E-10	2,31E-10	2,88E-10	2,60E-10
	Amélie 2	9,90E-11	1,03E-10	8,18E-11	1,04E-10	1,30E-10	1,17E-10
	Else	1,25E-10	1,30E-10	1,03E-10	1,32E-10	1,64E-10	1,48E-10
	Joseph	1,20E-10	1,25E-10	9,91E-11	1,26E-10	1,57E-10	1,42E-10
	Max	3,86E-10	4,01E-10	3,19E-10	4,06E-10	5,05E-10	4,56E-10
2	Amélie 1	7,62E-10	7,92E-10	6,29E-10	8,02E-10	9,97E-10	9,01E-10
	Amélie 2	2,63E-10	2,73E-10	2,17E-10	2,77E-10	3,44E-10	3,11E-10
	Else	2,51E-10	2,61E-10	2,07E-10	2,64E-10	3,28E-10	2,97E-10
	Joseph	1,81E-10	1,88E-10	1,50E-10	1,90E-10	2,37E-10	2,14E-10
	Max	2,69E-09	2,80E-09	2,22E-09	2,83E-09	3,52E-09	3,18E-09
3	Amélie 1	3,10E-09	3,22E-09	2,56E-09	3,26E-09	4,06E-09	3,67E-09
	Amélie 2	1,66E-09	1,72E-09	1,37E-09	1,75E-09	2,17E-09	1,96E-09
	Else	2,10E-09	2,18E-09	1,73E-09	2,21E-09	2,75E-09	2,48E-09
	Joseph	1,99E-09	2,07E-09	1,64E-09	2,09E-09	2,60E-09	2,35E-09

nm : non mesuré

Tableau 15 : Valeurs de concentrations moyennes en Cu calculées pour les 5 scénarios de déstockage partiel après épanchement en nappe de la saumure contaminée dans les 3 couches des 5 puits de la mine Amélie (sortie dans 1000 ans)

			Retrait 56%	Retrait bloc 21 22	Retrait 93%	Retrait bloc 12 21 22 23	Retrait sauf bloc 15
Couche	Critères de qualité	7,2					
	(µg/L) – environnement local témoin						
	Critères de qualité	1000					
	d'origine réglementaire (µg/L)						
	Puits	Cu					
1	Amélie 1	1,86E-10	1,87E-10	1,57E-10	1,88E-10	2,24E-10	1,90E-10
	Amélie 2	8,33E-11	8,37E-11	7,04E-11	8,42E-11	1,00E-10	8,50E-11
	Else	1,06E-10	1,07E-10	8,95E-11	1,07E-10	1,27E-10	1,08E-10
	Joseph	1,01E-10	1,02E-10	8,53E-11	1,02E-10	1,21E-10	1,03E-10
	Max	3,25E-10	3,27E-10	2,74E-10	3,28E-10	3,91E-10	3,32E-10
2	Amélie 1	6,41E-10	6,44E-10	5,41E-10	6,48E-10	7,71E-10	6,54E-10
	Amélie 2	2,21E-10	2,22E-10	1,87E-10	2,23E-10	2,66E-10	2,26E-10
	Else	2,12E-10	2,13E-10	1,79E-10	2,14E-10	2,55E-10	2,16E-10
	Joseph	1,52E-10	1,53E-10	1,28E-10	1,54E-10	1,83E-10	1,55E-10
	Max	2,26E-09	2,27E-09	1,91E-09	2,28E-09	2,72E-09	2,31E-09
3	Amélie 1	2,61E-09	2,62E-09	2,20E-09	2,64E-09	3,14E-09	2,66E-09
	Amélie 2	1,40E-09	1,41E-09	1,18E-09	1,41E-09	1,68E-09	1,43E-09
	Else	1,77E-09	1,78E-09	1,49E-09	1,79E-09	2,13E-09	1,81E-09
	Joseph	1,67E-09	1,68E-09	1,41E-09	1,69E-09	2,01E-09	1,70E-09

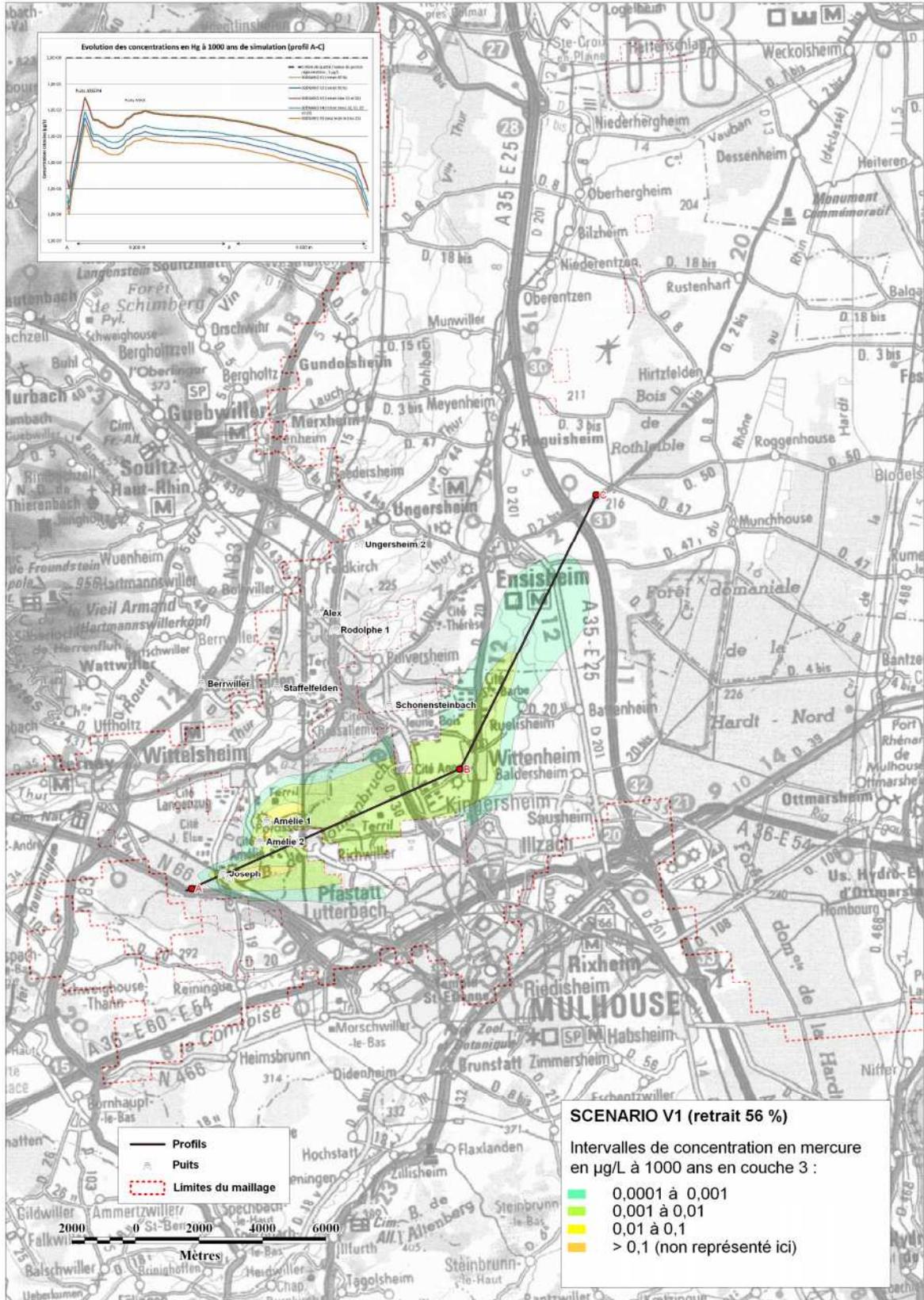


Figure 2 : Carte du panache de mercure dans la couche inférieure du modèle dans le scénario V1 et profils d'évolution des concentrations d'amont vers l'aval pour le mercure (1000 ans)

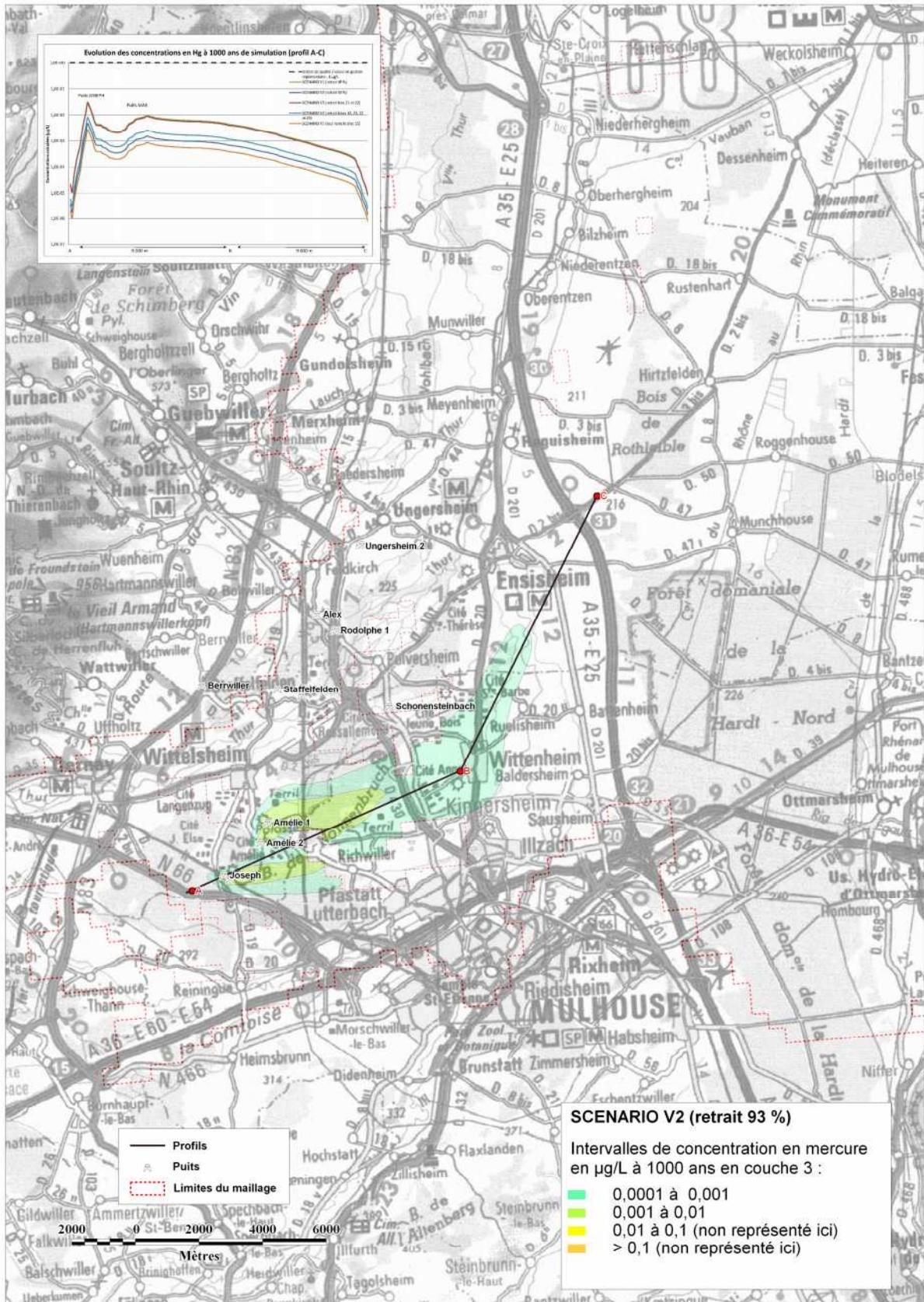


Figure 3 : Carte du panache de mercure dans la couche inférieure du modèle dans le scénario V2 et profils d'évolution des concentrations d'amont vers l'aval pour le mercure (1000 ans)

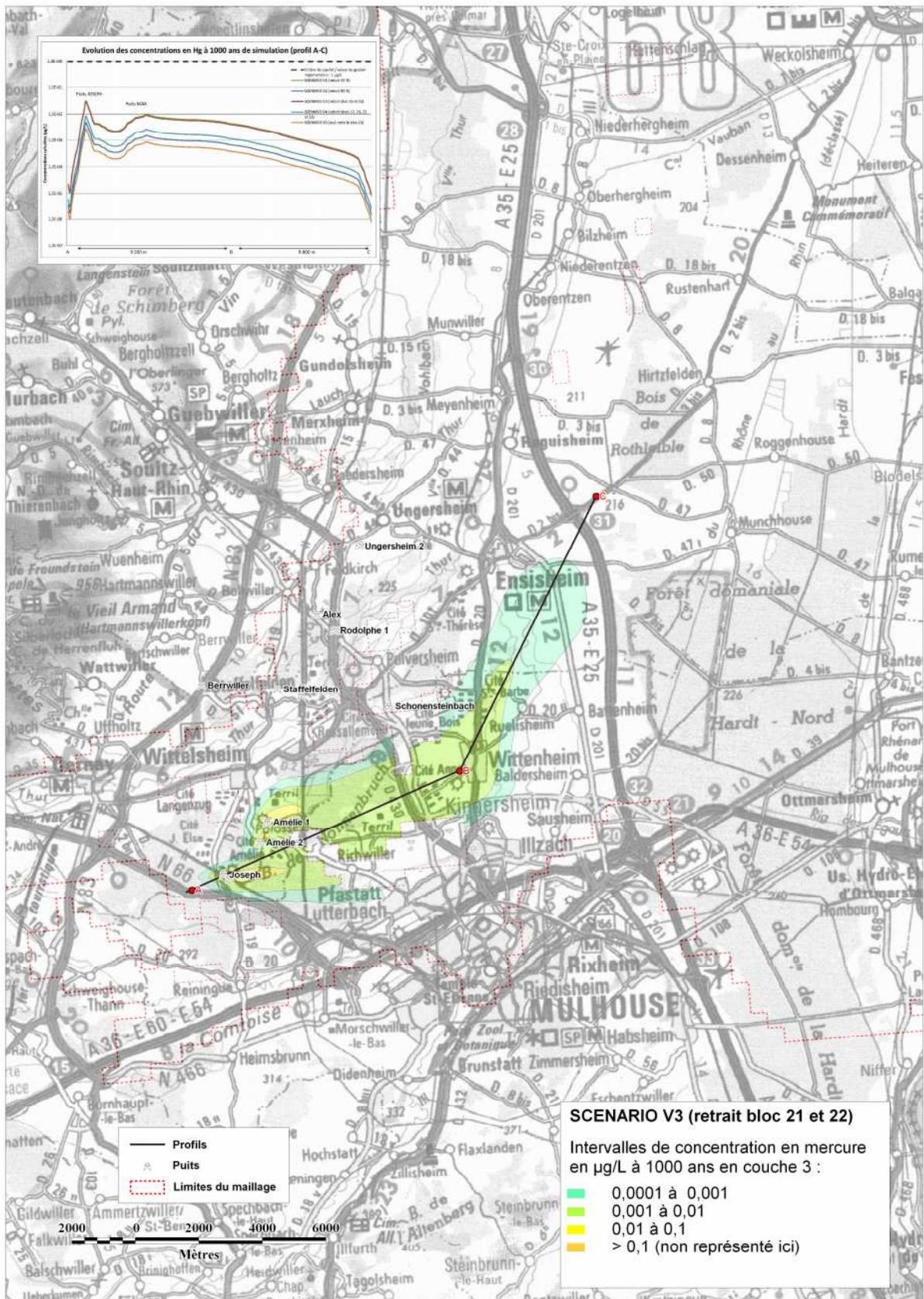


Figure 4 : Carte du panache de mercure dans la couche inférieure du modèle dans le scénario V3 et profils d'évolution des concentrations d'amont vers l'aval pour le mercure (1000 ans)

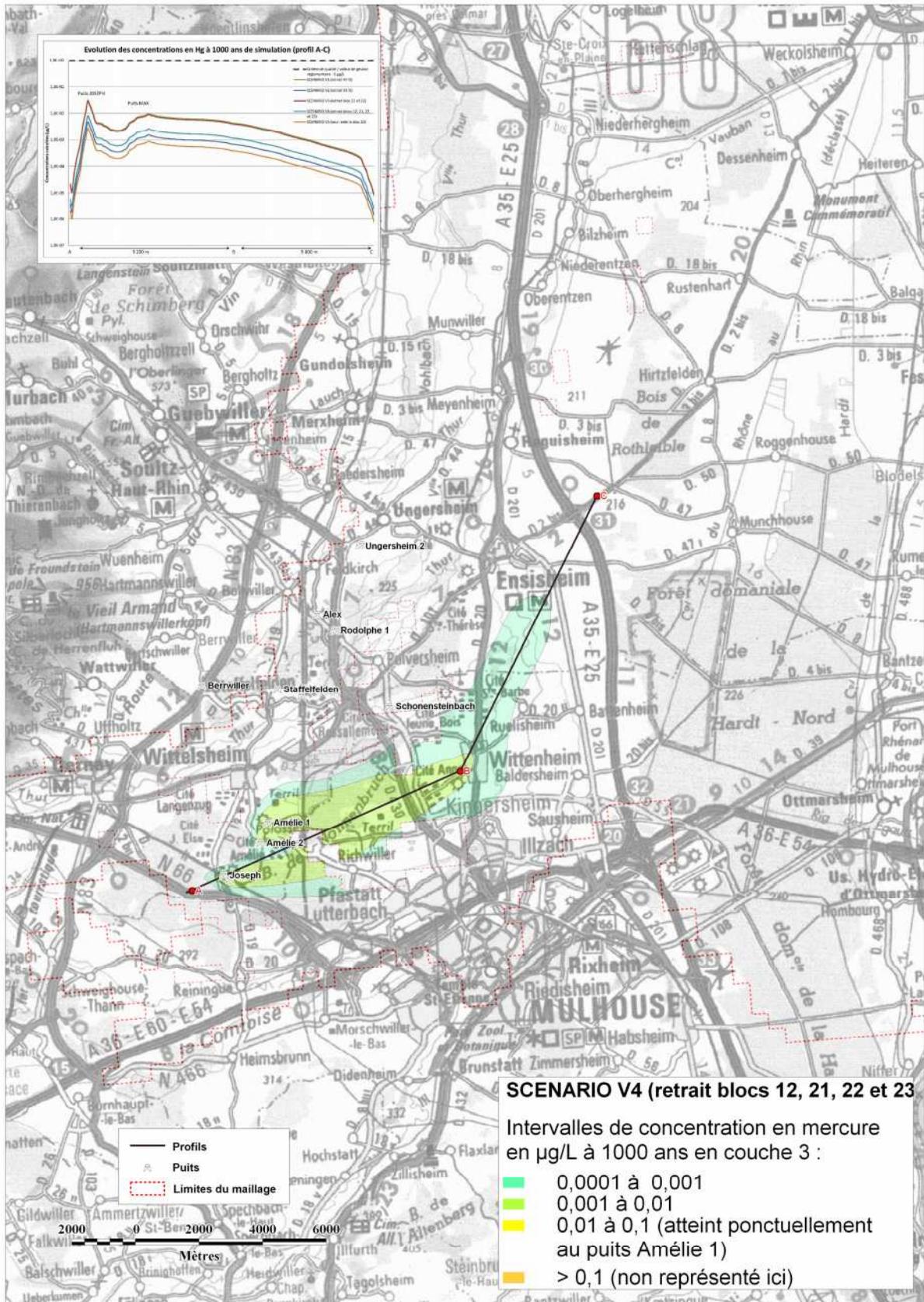


Figure 5 : Carte du panache de mercure dans la couche inférieure du modèle dans le scénario V4 et profils d'évolution des concentrations d'amont vers l'aval pour le mercure (1000 ans)

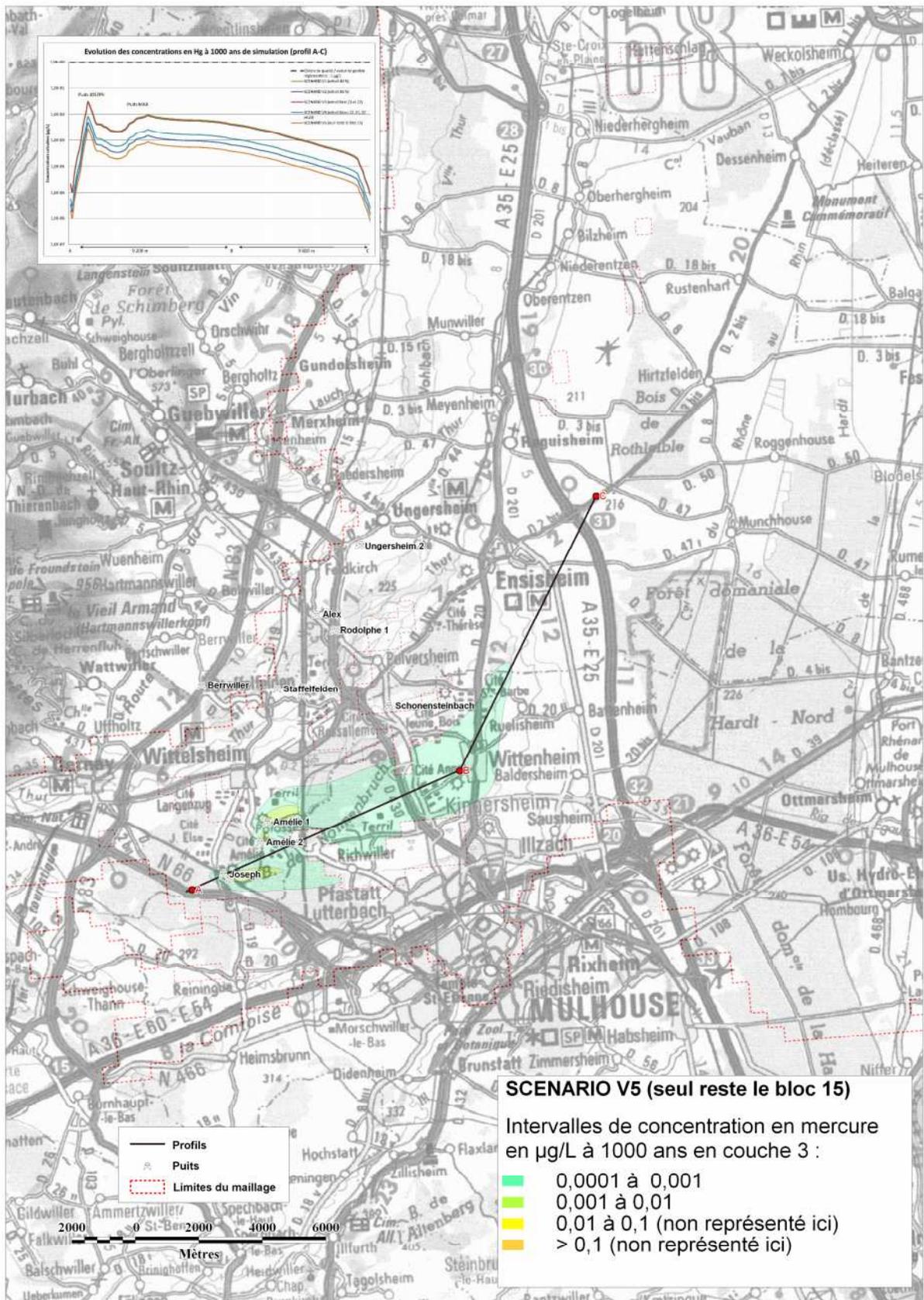


Figure 6 : Carte du panache de mercure dans la couche inférieure du modèle dans le scénario V5 et profils d'évolution des concentrations d'amont vers l'aval pour le mercure (1000 ans)

Remarque : Concernant les panaches issus du calcul réalisé par le BRGM quant au transfert en nappe, il convient d'indiquer ici une observation du BRGM 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 ».

## **5. CONCLUSION SUR L'IMPACT SUR LA NAPPE D'ALSACE**

StocaMine a demandé à l'INERIS d'étudier 5 scénarios complémentaires d'évaluation du terme source (saumure contenue au sein des barrières délimitant le stockage) en fonction du retrait de certains lots de déchets. L'INERIS a ainsi repris sa précédente étude réalisée en 2011<sup>3</sup> portant sur l'impact potentiel du stockage de tous les déchets sur la ressource en eau. Les résultats des nouveaux scénarios de déstockage partiel ont été déduits de ceux de la précédente étude en faisant l'hypothèse vraisemblable de la proportionnalité des ratios des concentrations entre la nappe d'Alsace et à l'intérieur du stockage délimité par les barrières (terme source).

Concernant l'épanchement, le scénario de référence étudié est l'épanchement à 1000 ans par l'ensemble des 5 puits de la mine Amélie (arrivée de la saumure contaminée par le fond de la nappe). Les calculs réalisés ont permis de déterminer les concentrations estimées en tout point de la zone d'étude, des cartes du panache de mercure (Hg) ont notamment été produites.

Les résultats de la modélisation suggèrent que le déstockage partiel pour les 5 scénarios étudiés ne conduit à aucun dépassement des seuils réglementaires pour les éléments considérés et qu'il existe bien une marge de sécurité importante par rapport à ces seuils. Rappelons que c'était également le cas pour le scénario de stockage illimité de tous les déchets, étudié en 2011 – tout en suivant une approche sécuritaire ou majorante. L'INERIS réitère sa précédente recommandation concernant les usages de l'eau à proximité immédiate des puits, en lien avec la nécessité de préserver la mémoire du site : « 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. »

---

<sup>3</sup> Etude réalisée en 2011, la dernière version du rapport tenant compte des remarques de StocaMine date de 2012



## Annexe

Calculs de la proportion d'élément en plus ou en moins selon les différents scénarios de déstockage (illustration pour Hg).

Le taux de proportion calculé par rapport à la concentration initiale (pas de retrait) a été appliqué aux précédents résultats pour disposer des concentrations dans la nappe selon différents scénarios considérés.

Elément	Pas de retrait g/l	Retrait 56%	Retrait bloc 21 22	Retrait 93%	Retrait bloc 12 21 22 23	Retrait sauf bloc 15
		B3 B5		B3 B5		
Hg	7,52E+00	3,46E+00	3,16E+00	5,26E-01	9,02E-01	3,01E-01
Proportion / initiale		0,46	0,42	0,07	0,12	0,04