

Synthèse 13 : pièce [56] bibliographie DDA :

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 - DRC-10-108130-12610B –

INERIS, novembre 2011

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [56] :

Rédaction : INERIS, Pierre HENNEBERT

Vérification : Jacques BUREAU

Approbation : Pierre TOULHOAT

« AVERTISSEMENT (page 3/67) :

Cette étude a fait l'objet d'un premier rapport intitulé " Evaluation du terme source dans le cadre d'un stockage pérenne : quantités de contaminants stockés, concentrations potentielles en solution et en phase gazeuse "référéncé INERIS DRC-10-108130-12610A, dont les résultats ont été présentés en janvier 2011 au Comité de pilotage mis en place par les Services de l'État. Il contenait des éléments d'information et de calcul basés sur une estimation globale des contaminants présents dans les déchets entreposés, estimation elle-même basée sur une moyenne estimée à partir des résultats d'analyses chimiques effectuées sur des échantillons dans le cadre de la démarche préalable liée à l'émission de Certificats d'Acceptation Provisoire par StocaMine à ses clients.

Ces résultats ne prenaient pas en compte la composition, ni la pondération associée, permettant d'affiner les calculs massiques de contaminants effectivement contenus dans chaque lot de déchets. Il en résultait une incertitude sur les calculs subséquents du terme source.

En avril 2011, StocaMine a demandé à l'INERIS de procéder à une saisie électronique de cette information qui n'était disponible que sous format papier. Après compilation et vérification par échantillonnage aléatoire des données nouvellement saisies, les informations par lot (masses et concentrations) ont pu être prises en compte dans les nouveaux calculs de masses de contaminants présentes au sein des déchets stockés.

Le présent rapport constitue l'actualisation de l'étude antérieure, dont le titre et la référence ont été adaptés en conséquence. Il annule et remplace toute autre version antérieure du rapport sur cette étude. »

Résumé étendu extrait de l'étude (pages 8 à 10) :

« Résumé étendu

Le devenir du stockage de déchets en mine de sel de la société StocaMine entre 1999 (début de l'exploitation) et 2002 (incendie en galerie conduisant à l'arrêt de l'exploitation) doit être évalué. Ce rapport vise à établir la quantité de contaminants présents dans le stockage, et la concentration en solution de ces contaminants susceptibles d'être présents dans et déplacés par d'éventuelles eaux d'ennoyage de la zone de stockage, ainsi que dans l'air souterrain en équilibre avec ces concentrations.

Les données disponibles sur la quantité et la composition chimique des déchets stockés à StocaMine ont été rassemblées. La quantité de chaque déchet est connue initialement globalement par certificat d'acceptation préalable (CAP), alors que la composition est connue par analyses de chaque lot ou arrivage. Les déchets regroupés sous un même CAP sont hétérogènes (les coefficients de variation (écart-type sur moyenne) par élément dépassent souvent 100 %). L'analyse semi-quantitative par fluorescence X contribue à cette variabilité. Le calcul des quantités par BMG en 2004 a utilisé des hypothèses non clairement explicables. Dans un premier temps, les quantités de contaminants stockés par CAP ont donc été recalculées par multiplication des masses stockées par CAP par les concentrations moyenne de l'ensemble des lots d'un CAP (tableau ci-dessous, quantité INERIS1). Dans un deuxième temps, la quantité de chaque déchet par lot fut disponible, et les quantités de contaminants stockés ont été calculées par multiplication des concentrations de chaque lot par la masse de chaque lot, ce qui représente un calcul plus exact. Dans un troisième temps, la masse des palettes, fûts et plâtre a été soustraite des déchets de classe 0 pour obtenir la masse nette de déchets (tableau ci-dessous, quantité INERIS2). Les quantités trouvées sont, selon les éléments, égales ou légèrement inférieures au calcul par CAP (cas du mercure).

Le potentiel de lixiviation des contaminants présents dans les déchets stockés a été estimé selon deux scénarii de potentiel d'ennoyage. Les volumes d'eau d'ennoyage ont été estimés par l'INERIS à 6,2 Mm³ (scénario en l'absence de barrières) et à 7 000 m³ (scénario en présence de barrières) (INERIS 2011).

Une première approche par excès consiste à considérer que la totalité des contaminants stockés sont dissous dans l'eau d'ennoyage (colonnes « mise en solution totale » dans le tableau ci-dessous). Les données de laboratoire de fraction soluble des déchets auraient pu être utilisées mais ne sont disponibles que pour des lots non stockés. Une deuxième approche plus réaliste, retenue par l'INERIS, a consisté à évaluer, par calcul géochimique de la concentration à l'équilibre avec des phases minérales secondaires, en admettant une mise en solution totale des déchets, la composition potentielle de l'eau d'ennoyage présente dans l'environnement périphérique immédiat du massif de déchets (colonnes « calcul géochimique » du tableau ci-dessous).

Tableau 1 : Quantités et concentrations des contaminants du stockage StocaMine selon BMG et l'INERIS

Contaminants	Quantité selon calculs BMG (base: concentrations diverses X masse CAP)	Quantité selon calculs INERIS 1 (base: concentration moyenne des lots X masse CAP)	Quantité selon calculs INERIS 2 (base: concentration lot X masse nette lot)	Conc ^{on} après mise en solution totale 6,2 10 ⁶ m ³ (qté : INERIS2)	Conc ^{on} après mise en solution totale 7 000 m ³ (qté : INERIS2)	Conc ^{on} selon calcul géochimique 6,2 10 ⁶ m ³ (qté : INERIS1)	Conc ^{on} selon calcul géochimique 7 000 m ³ (qté : INERIS2)
	tonnes	tonnes	tonnes	g/L	g/L	g/L	g/L
As	2566	1 231	1199	0.193	171.27	0.010	1.54E-02
Ba	-	257	192	0.031	27.39	1.06E-06	2.30E-07
Cd	138	32	30	0.0048	4.23	0.00150	1.54E-03
Cr	131	51	48	0.008	6.88	0.0091	7.07E+00
Cu	115	89	88	0.014	12.56		1.93E-07
Hg	47	78	53	0.0085	7.52	0.012	7.52E+00
Mo	-	15	11	0.0017	1.53		
Ni	71	39	33	0.0054	4.76	3.05E-07	3.05E-07
Pb	237	231	214	0.035	30.64	4.35E-07	4.53E-07
Sb	107	83	79	0.013	11.32	0.0134	1.89E-01
Se	-	3	0.87	0.0001	0.12		
Zn	351	296	296	0.048	42.35		
Cyanures	159	5.18	4.73	0.0008	0.68	8.3E-04	6.80E-01
Total	3924	2 410	2 249	-	-	-	-

Les quantités évaluées par l'INERIS comportent une incertitude estimée à 50 %.

Des simulations d'équilibre d'une eau de composition connue en équilibre à 35 °C température du massif au niveau de StocaMine) avec le sel et en présence de gypse (ajouté comme desséchant à certains déchets) à pH 8.8 et 11.8 (calculé à partir des données de laboratoire) ont été menées 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 est fixée par le produit de solubilité de la phase solide contenant cet élément la moins soluble. Si le produit de solubilité de la phase la moins soluble n'est pas atteint, alors l'élément ne précipite pas. Une base de données spécifique aux conditions salines (Pitzer), conditions qui prédominent dans la situation présente, ne comporte malheureusement pas tous les contaminants d'intérêt dans le cadre du stockage StocaMine, et n'a donc pas pu être exploitée.

Les calculs ont été menés pour les volumes correspondant aux deux scénarios envisagés, avec les quantités calculées par masse des lots. Les concentrations maximales calculées (avec la quantité obtenue par les masses par lot) pour le volume de 6 200 000 m³ sont de 0.120 g Hg/L, 0.0091 g Cr/L et 0.0134 g Sb/L. Pour le volume de 7 000 m³, les concentrations calculées (avec les quantités obtenues par les masses nettes par lot) sont de 7.52 g Hg/L, 7.07 g Cr/L et 0.189 g Sb/L. Ces concentrations multipliées par le flux de saumure sortant du stockage en l'absence et en présence de barrières représentent donc la base du calcul de flux de contaminants qui sera émis en phase liquide par le stockage en l'absence et en présence de barrières.

Des mesures étendues de concentrations dans l'air de la mine ont montré un léger dégazage des déchets, mais sans que des signes d'activité biologique n'aient pu être mis en évidence. La possibilité

d'émission de contaminants dans l'air de composés réduits comme l'arsine (AsH₃) et le mercure métallique gazeux (Hg⁰) semble donc a priori faible, comme le supposait BMG. La concentration potentielle d'acide cyanhydrique (HCN_g) estimé à partir des cyanures libres (dosés par le laboratoire) et de leur complexation avec les métaux des déchets, et en tenant compte du pH, est estimée à 1.6 10⁻³ mg/m³ d'air pour le scénario sans barrière (6 200 000 m³) et 2.8 10⁻⁶ mg/m³ d'air pour le scénario avec barrières (7 000 m³). L'émission de phénols (composés aromatiques C₆H₅-OH) ne peut être estimée.

En conclusion: les quantités des contaminants stockés ont été recalculées d'une part à partir des masses stockées indiquées sur les certificats d'acceptation préalable (CAP), et de la teneur moyenne en contaminants calculée à partir des analyses des lots stockés correspondant à chaque numéro de CAP, et d'autre part par les masse des lots (corrigée des palettes, fûts et plâtre) et les teneurs des lots. Les teneurs en contaminants sont cependant très variables pour un même déchet. Les quantités de contaminants calculées sont utilisables pour évaluer le terme source ; les ordres de grandeur de solubilité des contaminants stockés (calcul à partir des masses par CAP), calculés par équilibre géochimique, aboutissent à des concentrations à l'équilibre autour de 1 mg/L de Cd, entre 10 et 100 mg/L de Hg, Cr et Sb pour le scénario en l'absence de barrière (ennoyage dans 6 200 000 m³) et à des concentrations de 1 mg/L de Cd, entre 1 et 10 g/L de Hg, Cr et Sb pour le scénario en présence de barrière (ennoyage dans 7 000 m³); les concentrations actuelles dans l'air de l'atmosphère du stockage n'ont pas montré de traces d'activité biologique, mais présentent des signes de légère activité chimique. Après ennoyage, l'émission de composés créés en atmosphère réductrice (AsH₃, Hg⁰) semble donc peu probable, comme le concluait BMG. Les concentrations en acide cyanhydrique gazeux HCN_g après ennoyage, estimées à partir des concentrations de cyanures libres, du pH du stockage et de la complexation par les métaux atteindraient entre 10⁻³ et 10⁻⁶ mg/m³ d'air. »