

**Synthèse 50 : pièce [B29] bibliographie DDA**

**Suivi des niveaux de surface et des niveaux d'ennoyage**

CESAME, 2020

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2022/Annexe [B29]

Auteurs : CESAME – A. Blachère et D. Lefort

**Origine et objectif du rapport**

**Extrait du chapitre « Contexte » en page 4 du rapport :**

*« Le 23 mars 2017, par arrêté, le préfet du Haut Rhin a autorisé la prolongation pour une durée illimitée du stockage souterrain de déchets non dangereux, situé sous le territoire de la commune de Wittelsheim (Haut Rhin - 68). Il a assorti cette autorisation de plusieurs obligations faites aux Mines de Potasse d'Alsace (MDPA), dont :*

- la prolongation de la surveillance du forage profond VAPB2 (article 10.2.1) ;*
- une étude pour la réalisation d'un second forage profond (article 10.2.1) ; le forage VLPB2 a ensuite été réalisé fin 2018 et fait depuis, l'objet d'une surveillance par les MDPA ;*
- la réalisation d'un suivi régulier du niveau du sol en surface (article 10.2.2).*

*Les MDPA ont de plus financé une thèse de l'EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre de l'Université de Strasbourg et du CNRS) traitant du suivi des niveaux de surface, à partir de données satellitaires.*

*L'acquisition de ces différentes données a pour objectif de répondre à la prescription fixée dans l'article 10.2.2 de l'arrêté préfectoral de 2017, à savoir la rédaction d'un « rapport d'analyse des données de suivi des niveaux en surface en les corrélant avec les volumes de vides miniers résiduels et les niveaux d'ennoyage ».*

*Le présent document constitue le rapport de synthèse, croisant les informations apportées par les nouveaux documents disponibles et les hypothèses présentées dans le dossier de demande d'autorisation de 2015 traitant de l'ennoyage et de l'évolution des vides miniers résiduels. »*

**Synthèse du document**

Le document, dans un premier temps, analyse les données des forages et du suivi des niveaux des sols puis, dans un deuxième temps, croise ces analyses avec les hypothèses présentées dans le dossier de demande d'autorisation de 2015.

La conclusion sur les analyses des données issues des forages, page 23 du document, est la suivante :

*« Les forages VAPB2 et VLPB2 ont atteint les travaux miniers souterrains dans les points bas des mines « Amélie » au Sud (secteur Wittelsheim) et « Marie-Louise » au Nord (secteur Pulversheim).*

*Depuis leur foration, ces ouvrages sont surveillés par MDPA car leur vocation est de suivre l'évolution du remplissage de la mine de potasse au fil du temps. Les éléments recueillis nous ont permis de :*

- *décrire les deux forages ;*
- *vérifier leur représentativité du fait de leur implantation, de leur profondeur, des vides effectivement recoupés ;*
- *présenter l'évolution constatée au niveau du remplissage depuis la création des ouvrages et constater l'absence de montée du niveau d'eau (de saumure) depuis septembre 2015 pour VAPB2 et décembre 2018 pour VLPB2.*

*Les vides recoupés dans le fond des deux forages sont de l'ordre de 10 % des vides créés par l'exploitation minière et ceci malgré des profondeurs importantes ( $\geq 900$  m par rapport à la surface) et des âges d'exploitation assez importants (30 à 40 ans). Les terrains déstructurés par l'exploitation minière peuvent représenter une épaisseur 2 à 4 fois supérieure à celle des couches exploitées.*

*Dans les deux forages, un liquide est présent au niveau de la couche inférieure de potasse exploitée. Ce liquide imprègne les terrains déstructurés par l'exploitation minière qui présentent une perméabilité faible mais non nulle.*

*La différence de niveau de liquide entre VAPB2 (- 655 NGF) et VLPB2 (- 754 NGF) signifie que, pour l'instant les réservoirs recoupés par les deux forages sont indépendants hydrauliquement l'un de l'autre (il pourrait existe un seuil entre les deux réservoirs et tant que les niveaux d'ennoyage n'auront pas atteint ce seuil, l'évolution dans les deux réservoirs sera indépendante).*

*La différence de pression de gaz pourrait cependant indiquer qu'ils sont totalement séparés l'un de l'autre, ce qui pourrait signifier que le stot séparant les mines Marie-Louise (au nord) et Amélie (au sud) serait étanche car il empêcherait les deux pressions atmosphériques de se mettre en équilibre (Il est peu probable qu'une zone totalement étanche puisse exister ailleurs qu'au niveau du stot).*

*MDPA pourrait mener des investigations complémentaires pour tenter de valider cette hypothèse. L'idée serait d'enregistrer simultanément sur les deux forage des variations de pression, afin de mesurer sur VAPB2 l'effet d'une mise en pression longue durée (1 à plusieurs mois) sur VLPB2 par exemple ; et inversement. Si une variation de pression importante sur un réservoir se traduit sur l'autre alors la relation entre les deux sera établie. »*

La conclusion concernant les mouvements de surface et les mouvements résiduels au fond, pages 45 et 46 du document, est la suivante :

« Les éléments concernant l'évolution de la topographie à l'aplomb des travaux miniers visaient à :

- comparer qualitativement les résultats des mesures réalisées par rapport aux hypothèses d'évolution des vides miniers retenues dans le dossier initial de demande de stockage illimité produit par StocaMine en 2015 ;
- traduire les affaissements mesurés en volumes perdus par rapport au volume initial de vide (approche quantitative).

Les données disponibles mettent en évidence un affaissement à l'aplomb des travaux miniers souterrains pouvant se décomposer en 2 phases successives d'ampleur différente répondant au total à une somme de deux fonctions exponentielles de temporalités différentes :

- un affaissement initial dynamique important se produisant dès la période d'exploitation souterraine et durant quelques années (3 à 5 au maximum) ;
- un affaissement résiduel se poursuivant pendant plusieurs dizaines d'années après la fin de l'exploitation (mouvement très faible mais encore actif en 2020 à l'aplomb de travaux plus que cinquantenaires).

Les mesures entreprises semblent indiquer que l'affaissement dynamique initial est plus faible que celui historiquement retenu ( $\approx 85\%$  de la hauteur exploitée) par les MDPA (affaissement dynamique initial correspondant à  $95\%$  de l'affaissement total qui représente  $90\%$  de la hauteur exploitée).

En effet, les mesures réalisées sur les derniers panneaux exploités (à Raedersheim, Bollwiller, Staffelfelden et Reiningue) ont plutôt mis en évidence des hauteurs d'affaissement dynamique de l'ordre de  $75\%$  de la hauteur exploitée).

Actuellement, des mouvements résiduels persistent à l'aplomb des travaux miniers souterrains. Les vitesses de déplacement mesurables représentent  $0,1\text{ cm/an}$  à  $1,5\text{ cm/an}$ .

Les mouvements mesurés en surface sont clairement reliés à l'ancienne exploitation minière et à la création de vides souterrains dans l'exploitation minière et à la fermeture progressive de ces vides. Les mouvements résiduels les plus marqués mesurés par satellite sont d'ailleurs clairement concentrés sur les zones d'exploitation les plus récentes (qui sont également souvent en position profonde et à proximité des anciens puits de mine).

La modélisation mécanique du milieu a permis de simuler la fermeture de vides miniers situés à  $900\text{ m}$  de profondeur dans les secteurs de Bollwiller ou Pulversheim. Elle conforte les mesures réalisées au jour en montrant une convergence cumulée correspondant en 2020 à moins de  $80\%$  de la hauteur exploitée, pour des panneaux exploités entre 1993 et 1994. »

La conclusion concernant par rapport au temps de remplissage retenu dans l'étude INERIS de 2011 et repris dans le dossier de demande d'autorisation de 2015, pages 64 et 68 du document, est la suivante :

« Le paragraphe suivant reprend et commente les éléments du paragraphe 3.1.

- « **En 2010**, il avait été considéré que (compte tenu des dates de remblayage des puits de mine – donc d'arrêt de l'exhaure dans les différents quartiers) l'ennoyage avait commencé en moyenne depuis 19 ans et que en conséquence, le **volume de liquide dans les travaux miniers** souterrains était de **2,06 Mm<sup>3</sup>**. ».

En tenant compte de porosités comprises entre 10 et 20 %, la somme des volumes occupant les zones ennoyées en 2020 au niveau de VAPB2 et VLPB2 (points les plus bas des mines Amélie et Marie-Louise) ne s'élèverait actuellement qu'entre 55 200 et 110 400 m<sup>3</sup>. Soit 2,5 à 5 % du volume envisagé par INERIS en 2010.

Cette valeur est très faible, il est toutefois possible qu'elle ne reflète pas la totalité de l'ennoyage de la mine. On peut en effet envisager que chacun des points bas de la mine soit en train de se remplir indépendamment des autres en recevant les eaux s'infiltrant au niveau des puits de mine.

Au regard de la morphologie de l'exploitation minière, on pourrait individualiser 8 points bas et leur attribuer un (ou plusieurs) puits source d'alimentation [...].

À chaque zone basse on peut attribuer pour chaque puits susceptible de l'alimenter, un débit d'alimentation correspondant soit à l'hypothèse moyenne soit à l'hypothèse mini de l'INERIS. En connaissant la date de remblayage des puits, donc d'arrêt de l'exhaure, on peut calculer le volume qui a pénétré dans la mine jusqu'en 2020, puis le traduire en surface en posant comme hypothèse que l'épaisseur cumulée d'exploitation est de 5,5 m au cœur du bassin minier et que la porosité résiduelle est de 10%.

[...] le tableau 10 présentent ces éléments avec une couleur pour chaque zone basse et chaque puits qui l'alimente.

**Au total en 2020 l'hypothèse la plus probable est que le volume total d'ennoyage de l'exploitation ouest de la mine de potasse d'Alsace soit <500 000 m<sup>3</sup>.**

**L'emprise des zones ennoyées serait <100 ha et représenterait environ 2% de la surface de la zone exploitée.**

Situation 2020	Nb d'années depuis remblayage	Débit mini retenu INERIS	Débit moyen retenu INERIS	Volume introduit dans la mine en 2020		Surface noyée équivalente pour une épaisseur cumulée des couches de 5,5 m et une porosité de 10%		En % de la surface totale de la mine (≈4000 ha)
				Volume mini selon INERIS	Volume moyen selon INERIS	Si Volume mini selon INERIS	Si Volume moyen selon INERIS	
		m <sup>3</sup> /an	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		ha	ha	%
Ungersheim1	22	2 383	6 411	52 426	141 042	9,5	25,6	0,54
Ungersheim2	22	3 038	8 173	66 836	179 806	12,2	32,7	
Alex	26	420	1 142	10 920	29 692	2,0	5,4	0,58
Rodolphe2	25	2 873	7 727	71 825	193 175	13,1	35,1	
Rodolphe1	25	1 799	4 827	44 975	120 675	8,2	21,9	
Marie-Louise	21	1 395	3 746	29 295	78 666	5,3	14,3	0,26
Marie	21	1 306	3 508	27 426	73 668	5,0	13,4	
Shoenensteinbach	22	2 663	6 261	58 586	137 742	10,7	25,0	0,27
Staffelfelden	18	1 418	3 810	25 524	68 580	4,6	12,5	0,12
Berwiller	18	2 677	7 298	48 186	131 364	8,8	23,9	0,22
Max	16	330	894	5 280	14 304	1,0	2,6	0,02
Amélie1	13	547	1 466	7 111	19 058	1,3	3,5	0,05
Amélie2	9	366	989	3 294	8 901	0,6	1,6	
<b>Totaux</b>		<b>21 215</b>	<b>56 252</b>	<b>451 684</b>	<b>1 196 673</b>	<b>82,1</b>	<b>217,6</b>	<b>2,05</b>

En caractères rouges : hypothèse la plus probable au regard des données actuellement disponibles

Tableau 10 : Points bas de la mine, puits susceptibles de les alimenter et surfaces potentiellement concernées par le remplissage (les couleurs se rapportent à celle de l'illustration 34)

- « **En 2010**, il avait été considéré que l'introduction d'eau douce dans la mine entraîne des **phénomènes de dissolution** qui vont augmenter le volume des vides.

En se basant sur l'hypothèse d'une création de vides correspondant à **24% du volume d'eau introduit**. »

Cette hypothèse reste évidemment valable. Elle ne concerne pas les zones basses observées par VAPB2 et VLPB2 au niveau desquelles les fluides arrivent sous forme de saumure saturée, mais les zones proches des puits de mine au niveau desquels l'eau arrive non saturée en sels puis se sature rapidement et se transforme en saumure en circulant dans les premières centaines de mètres autour du puits.

On pourrait d'ailleurs envisager que ce soit ce phénomène qui entretienne une convergence résiduelle un peu plus élevée à proximité de tous les puits de mine et en particulier du puits Staffelfelden et des galeries les plus proches.

**L'introduction d'eau douce dans la mine entraîne des phénomènes de dissolution qui vont augmenter le volume des vides de 24% du volume d'eau introduit. Ce phénomène concerne essentiellement les galeries et panneaux exploités proches des puits de mine.**

- « **En 2010**, il avait été considéré que « En se basant sur l'ensemble des hypothèses précitées, l'INERIS a calculé une durée d'ennoyage prévisionnelle de **300 ans pour remplir la totalité de l'exploitation minière souterraine dont 240 ans avant d'atteindre le niveau de Stocamine**. » (voir tableaux 4 et 5).

Au regard des éléments développés dans le présent document, il apparaît que :

- Les débits pénétrant dans la mine correspondent très probablement aux hypothèses les plus basses envisagées dans les études antérieures ;
- Les volumes de vides résiduels sont non négligeables dans les zones les plus profondes de la mine alors qu'ils étaient sensés avoir disparu par convergence.
- Les affaissements initiaux sont < 85 % , ils semblent plutôt se situer entre 70 et 80 %.... on serait donc plutôt sur un volume de vides élevé par rapport aux hypothèses INERIS immédiatement après affaissement dynamique. La convergence des vides miniers serait légèrement plus élevée que la valeur de 0,1% par an retenue par INERIS, mais elle mènerait à un vide résiduel s'élevant encore à 5 à 15 % du vide initial 100 ans après l'exploitation.

Au total, si l'on reprend les tableaux 5 et 6 du présent document, les hypothèses à privilégier au regard des éléments actuellement disponibles seraient celles qui sont colorées.

- **L'hypothèse la plus probable est donc celle d'un remplissage complet de l'exploitation en plus de 600 ans dont 550 ans pour arriver au niveau de Stocamine.**

Hypothèse d'affaissement→		Haute	Moyenne	Basse
Hypothèse de débit ↓		20%	10%	5%
<b>Haute</b>	<b>105 000 m<sup>3</sup>/an</b>	<b>304</b>	195	123
Moyenne	58 000 m <sup>3</sup> /an	425	286	182
Basse	22 000 m <sup>3</sup> /an	644	490	341

Hypothèse d'affaissement→		Haute	Moyenne	Basse
Hypothèse de débit ↓		20%	10%	5%
<b>Haute</b>	<b>105 000 m<sup>3</sup>/an</b>	<b>240</b>	150	100
Moyenne	58 000 m <sup>3</sup> /an	340	220	140
Basse	22 000 m <sup>3</sup> /an	560	400	270

Tableau 11 : Hypothèse la plus probable en 2020 concernant le remplissage de la mine au regard du dossier de 2015 complété par les nouvelles mesures

NB : dans ces deux tableaux, l'hypothèse d'affaissement est représentée par la valeur du vide résiduel dans la mine après affaissement initial.

N.B. : Dans l'hypothèse où la mine Amélie serait isolée du reste de l'exploitation ouest le temps de remplissage passerait à plus de 3000 ans.

»

La conclusion générale de l'étude est la suivante :

« L'ensemble des observations réalisées par MDPA :

- forages de reconnaissance profonds équipés en piézomètres,
- mesures du niveau de saumure, analyses de gaz et mesures de pression en deux points de la mine,
- mesure des vides par imagerie,

- *mesures topographiques in situ et par interprétation de données satellites,*
- *modélisations des affaissements et des vides résiduels.*

*Conduisent à retenir un temps de remplissage pour le secteur ouest de la mine de potasse d'Alsace supérieur à 600 ans soit au minimum 2 fois plus long que l'hypothèse privilégiée dans l'étude hydrogéologique réalisée par INERIS en 2011 et reprise dans le dossier de demande de transformation de Stocamine en stockage de durée illimitée en 2015.*

*Ces éléments sont favorables puisque plus la durée d'ennoyage est longue, plus les phénomènes de cicatrisation du massif autour des bouchons de Stocamine seront aboutis et donneront aux barrages toutes leur efficacité.*

*Les deux forages vont permettre de poursuivre l'observation du niveau de saumure qui, après la phase de stabilisation, commence à s'élever lentement en VLPB2 (ce qui semble confirmer que des débits arrivent à s'infiltrer dans la mine comme prévu par l'Ineris, mais qui indique de faibles valeurs de débits).*

*Les mouvements de surface devraient également s'atténuer mais être encore mesurables dans les secteurs récents ou dans les secteurs potentiellement soumis à des circulations d'eau à proximité des points de pénétration de l'eau que sont les puits (phénomènes de dissolution localisés). Les mesures topographiques de terrain pourraient être accentuées dans ces secteurs.*

*Par ailleurs, les mesures de pression de gaz actuellement disponibles semblent plaider pour une indépendance des réservoirs miniers des mines Amélie au sud et Marie-Louise au nord. De nouvelles mesures pourraient être entreprises pour vérifier cette hypothèse (mise en pression de l'un des réservoirs et suivi de la pression dans l'autre pour voir s'il y a une influence). Si l'hypothèse d'un isolement des deux réservoirs se confirme, alors la durée d'ennoyage de la mine Amélie serait encore plus longue donc encore plus favorable à une cicatrisation des massifs autour des bouchons de StocaMine (et dans l'ensemble du système). »*