

COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI
ET DES SALINES DE L'EST

Clichy Pouchet – Bâtiment A
92-98, Boulevard Victor HUGO
92 115 Clichy

DÉCLARATION D'ARRÊT DÉFINITIF DES TRAVAUX MINIERES ET D'UTILISATION DES INSTALLATIONS ASSOCIÉES

CONCESSION DE MINES DE SEL GEMME DE GOUHENANS ET DES EPOISSES (HAUTE-SAÔNE)

Document E

Mémoire décrivant le bilan des effets des travaux miniers,
et de l'arrêt de l'exploitation
sur la tenue des terrains de surface

Signataire de la demande

*Patrick DALLA VALLE, Directeur Industriel
Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est*

Clichy Pouchet – Bâtiment A
92-98, Boulevard Victor HUGO
92 115 Clichy

☎ : 01.75.61.78.00

Chargés du dossier

*Emmanuel HERTZ, Responsable Pôle Technique Minier
Cédric LHEUR, Géologue
Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est*

17, rue Gabriel PERI
54 110 Varangéville

☎ : 03.83.18.73.00

NOVEMBRE 2018

1. PREAMBULE	5
2. MOUVEMENTS DE TERRAIN ANTERIEURS ET CONTEMPORAINS DE L'EXPLOITATION MINIERE.....	5
2.1. MOUVEMENTS DE TERRAINS ANTERIEURS A L'EXPLOITATION INDUSTRIELLE.....	5
2.2. MOUVEMENTS DE TERRAINS CONTEMPORAINS A L'EXPLOITATION INDUSTRIELLE.....	5
3. MOUVEMENTS DE TERRAIN POSTERIEURS A L'ARRET DE L'EXPLOITATION	6
4. IMPACT DE LA METHODE D'EXPLOITATION SUR LA STABILITE DES TERRAINS	6
4.1. ÉLEMENTS DE REFLEXION SUR LA GEOMETRIE DES VIDES SOUTERRAINS	6
4.2. ÉVALUATION DU VOLUME DESTRUCTURE	6
4.2.1. <i>Éléments de géométrie et hypothèses de calcul.....</i>	<i>6</i>
4.2.2. <i>Calcul des éléments de géométrie des vides.....</i>	<i>9</i>
4.3. CONCLUSIONS.....	12
5. DESCRIPTION DES MOUVEMENTS DE TERRAIN RESIDUELS ENVISAGEABLES	13

1. PREAMBULE

Ce dossier fait référence aux conclusions de l'expertise de stabilité réalisée par le bureau d'étude MINELIS (2018). L'expertise qui a été conduite s'appuie sur les données des documents d'archives, en particulier sur les événements ou non évènements anciens, récents ou actuels, sur les investigations de terrain (recherche d'indices d'éventuels désordres ou de mouvements de terrain) et sur une étude géologique et hydrogéologique locale spécifique.

Ce document présente l'impact des travaux miniers de la concession de GOUHENANS et des EPOISSES sur la stabilité des terrains de surface et conclut la possibilité ou non de mouvements de terrain résiduels.

2. MOUVEMENTS DE TERRAIN ANTERIEURS ET CONTEMPORAINS DE L'EXPLOITATION MINIERE

2.1. Mouvements de terrains antérieurs à l'exploitation industrielle

La période qui se situe avant la date d'institution de la concession de GOUHENANS (3 janvier 1843) constitue l'"état initial". Ce qu'il est possible de reconstituer de l'état initial (analyse des données d'archive) a montré l'absence d'émergences salées et de dissolutions souterraines, l'absence d'une nappe salée naturelle active et l'absence de désordres en relation avec le gisement de sel dans le secteur d'étude.

Il n'est fait référence à aucun mouvement de terrain qui pourrait être lié à la présence de sel, ni au droit du gisement, ni aux alentours dans le périmètre de la concession de GOUHENANS et des EPOISSES antérieurement à l'exploitation industrielle du sel.

2.2. Mouvements de terrains contemporains à l'exploitation industrielle

Durant la période d'exploitation industrielle (c'est-à-dire à partir de l'attribution d'une concession minière), de 1843 à 1945, ce sont au total près de 1.083.200 tonnes de sel qui ont été extrait. L'exploitation par dissolution s'est toujours pratiquée en utilisant d'eau douce des aquifères supérieurs par injection dans les sondages.

Les archives ne font état d'aucun mouvement du sol ou de désordres en relation avec la dissolution du sel pendant l'exploitation : aucune déstabilisation de terrain, de mouvements de terrains lents ou progressifs, de dégâts causés aux infrastructures et aux habitations situées dans la concession qui seraient liés aux sondages d'exploitation n'ont été répertoriés.

Il n'est pas envisageable que des mouvements verticaux significatifs (plusieurs décimètres) dans un secteur où il existaient de très nombreux bâtiments (saline et industries annexes) et des infrastructures (lignes électriques, réseaux enterrés, voies de communication) aient pu se produire sans qu'ils n'aient été détectés et n'aient eu un impact. Même si cela ne peut être écarté, aucune subsidence de faible amplitude sur une grande surface liée à l'exploitation du sel n'a jamais été mise en évidence dans la concession GOUHENANS et des EPOISSES. Si de tels mouvements s'étaient produits, l'amplitude extrêmement limitée de ces mouvements et l'étendue de la cuvette de subsidence n'ont pas induit de mouvements horizontaux conséquents ou de mise en pente importante qui se seraient répercutés sur les infrastructures.

**CONCESSION DE MINES DE SEL GEMME
DE GOUHENANS ET DES EPOISSES (Haute-Saône)
DÉCLARATION D'ARRÊT DEFINITIF DES TRAVAUX MINIERS
ET D'UTILISATION DES INSTALLATIONS ASSOCIEES**

Les éléments de réflexions sur la géométrie des cavités de dissolution du sel sont développés plus loin dans le dossier ; ils permettent d'expliquer que du fait de la structure géologique locale et de la méthode d'exploitation qui a été employée dans la concession GOUHENANS et des EPOISSES, cette exploitation n'a eu aucun impact sur la tenue des terrains de surface.

Les analyses qui ont été conduites montrent qu'aucun affaissement actif ou récent n'a été recensé depuis 1945 au niveau des sondages d'exploitation de la concession GOUHENANS et des EPOISSES.

3. MOUVEMENTS DE TERRAIN POSTERIEURS A L'ARRET DE L'EXPLOITATION

La topographie du terrain au voisinage du champ d'exploitation des sondages de la concession GOUHENANS et des EPOISSES ne présente à l'heure actuelle aucune anomalie perceptible pouvant indiquer un mouvement du sol ayant eu une amplitude significative, ni sur le bâti, ni sur les infrastructures environnantes.

L'étude des photographies aériennes postérieures à l'exploitation ne montre pas d'anomalie liée à un mouvement du sol dans le périmètre des sondages d'exploitation.

4. IMPACT DE LA METHODE D'EXPLOITATION SUR LA STABILITE DES TERRAINS

4.1. Éléments de réflexion sur la géométrie des vides souterrains

L'exploitation minière de la concession GOUHENANS et des EPOISSES s'est toujours pratiquée en utilisant d'eau douce des aquifères supérieurs pour l'injection dans les ouvrages provoquant la dissolution du sel au pied des sondages. Le volume exploité peut aussi être appelé *volume déstructuré* pour mieux représenter le fait qu'il ne s'agit pas d'une cavité unique, mais d'un ensemble de cavités comblées par des éléments foisonnés et remplies de saumure saturée.

4.2. Évaluation du volume déstructuré

La détermination du volume déstructuré par l'exploitation des sondages fait l'objet d'une étude par MINELIS. Les éléments et hypothèses de calcul sont présentés en annexe de la présente Déclaration d'arrêt des travaux¹.

4.2.1. Éléments de géométrie et hypothèses de calcul

La réflexion qui a été menée s'appuie sur la note *Etude de la géométrie des vides résultant de l'exploitation par dissolution au toit du sel – note CSME, 17 juillet 2007*.

¹ MINELIS 2018 (étude de stabilité de 3.1 à 3.3)

Le volume de gisement de sel affecté par la dissolution peut être évalué par une approche semi-qualitative simple. Ce volume est appelé « *enveloppe déstructurée* ». L'application à la concession de GOUHENANS et des EPOISSES se base sur les données et hypothèses suivantes :

- Densité du sel gemme : **2,16**.
- Production globale de la concession : **P = 1 083 200 tonnes*** de sel entre 1843 et 1945.

**Ce chiffre se base sur les informations issues de l'analyse historique et documentaire réalisée par CSME. Ce tonnage reste néanmoins grevé d'une inconnue forte, par ailleurs, la répartition par sondage est inconnue.*

- Contenu en sel des marnes intercalées (éléments insolubles) dans le gisement : entre 10 et 30 % en fonction des indications relevées sur les logs de sondages.
- Teneur en NaCl du sel gemme : 80 %.
- Teneur moyenne du gisement : **T = 40 %**.

Les évaluations basées sur les coupes géologiques relevées dans le rapport de RICOUR (1944) ont permis de constater que la grande majorité des horizons traversés correspondent à des marnes gypseuses et salifères. Il existe très peu de bancs de sel gemme qui de plus sont de faible puissance. En reprenant les logs et en recalculant la teneur moyenne à partir des teneurs de chaque couche pondérée par leur puissance, nous avons pu évaluer une teneur moyenne pour les différents sondages. Cette teneur moyenne varie de 20 à 40 %. Le bureau d'étude MINELIS a décidé de prendre la valeur de 40 % de manière conservatoire.

- Coefficient de récupération de la saumure (Rendement) : **c = 90 %**.

Pour la concession de GOUHENANS, les profondeurs d'aspiration ne sont pas connues, seules les profondeurs de sondages ont été rapportées. Ces dernières font donc office de profondeur d'aspiration, permettant de calculer la hauteur **H** de l'enveloppe déstructurée.

La production de sel rattachée à chacun des sondages d'exploitation de la concession de GOUHENANS et des EPOISSES a été évaluée selon leur période de production respective en considérant une hypothèse de 2 370 t annuelle par sondage.

Ce tonnage annuel est estimé en répartissant la production totale (1,083 Mt) de manière constante et identique sur tous les sondages au prorata de leur période d'exploitation supposée. Cette hypothèse est simplificatrice mais permet une première évaluation des volumes et enveloppes déstructurés.

Le choix d'implantation des sondages montre le regroupement de ces derniers par 2 (GOUHENANS). Sans avoir la preuve que ces sondages aient fonctionné en doublet d'injection/pompage, il est certain que ces derniers étaient en communication hydraulique au fond compte tenu de leur proximité (quelques mètres).

Ainsi, pour l'analyse de la stabilité, le bureau d'étude MINELIS a groupé ces sondages.

Pour ces doublets, les durées d'exploitation et productions ont été cumulées. C'est notamment le cas de S1-S2, S3-S4, S7- S8. Les autres sondages ont été considérés comme étant isolés.

**CONCESSION DE MINES DE SEL GEMME
DE GOUHENANS ET DES EPOISSES (Haute-Saône)
DÉCLARATION D'ARRÊT DEFINITIF DES TRAVAUX MINIERES
ET D'UTILISATION DES INSTALLATIONS ASSOCIEES**

Le Tableau E-1 ci-après reprend la liste des sondages exploités, leurs caractéristiques, durées de production et tonnages estimés :

Sondage	date forage	Année de fin d'exploitation	Durée d'expl. en année*	Tonnage exploité (t)
S1+S2	1832	1870	73	184 879
S3+S4	1832	1910	73	232 284
S15 - Puits Prinnet	1832	1850	18	42 664
S5 (v)	1832	1870	38	90 069
S7+S8	1844	1945	66	395 830
S10	1912	1945	33	78 218
S11	1920	1945	25	59 256

Tableau E-1 : **périodes d'exploitation et production des sondages de la concession de GOUHENANS et des EPOISSES (d'après MINELIS, 2018)**

Pour les sondages d'exploitation, la cote exacte des crépines d'aspiration n'est pas connue. La hauteur de sel exploitée dans chaque sondage qui a été retenue en fonction de la profondeur maximum des sondages (hauteur de sel traversée). Les éléments retenus par MINELIS sont présentés dans le Tableau E-2, ci-dessous :

Sondage	Production estimée (t)	Profondeur du toit du sel (m)	Profondeur du sondage et d'aspiration
S1+S2	184 879	27,7	57
S3+S4	232 284	41,1	89
S15 - Puits Prinnet	42 664	27,0	52
S5 (V)	90 069	46,1	72
S7+S8	395 830	53,3	119
S10	78 218	49,2	106
S11	59 256	65,5	110
Sondage moyen	1 083 200	30,0	88

Tableau E-2 : **Hauteur de l'enveloppe déstructurée pour les sondages d'exploitation de GOUHENANS et des EPOISSES (d'après MINELIS, 2018)**

4.2.2. Calcul des éléments de géométrie des vides

Le détail des calculs relatifs à la géométrie des vides au niveau des sondages d'exploitation de la concession GOUHENANS et des EPOISSES est présenté dans le Tableau E-3.

De plus, les éléments de géométrie qui ont été retenus sont présentés sous forme de schémas (voir ci-après ainsi que dans la note *Etude de la géométrie des vides de l'exploitation au toit du sel* – Note CSME du 17 juillet 2007).

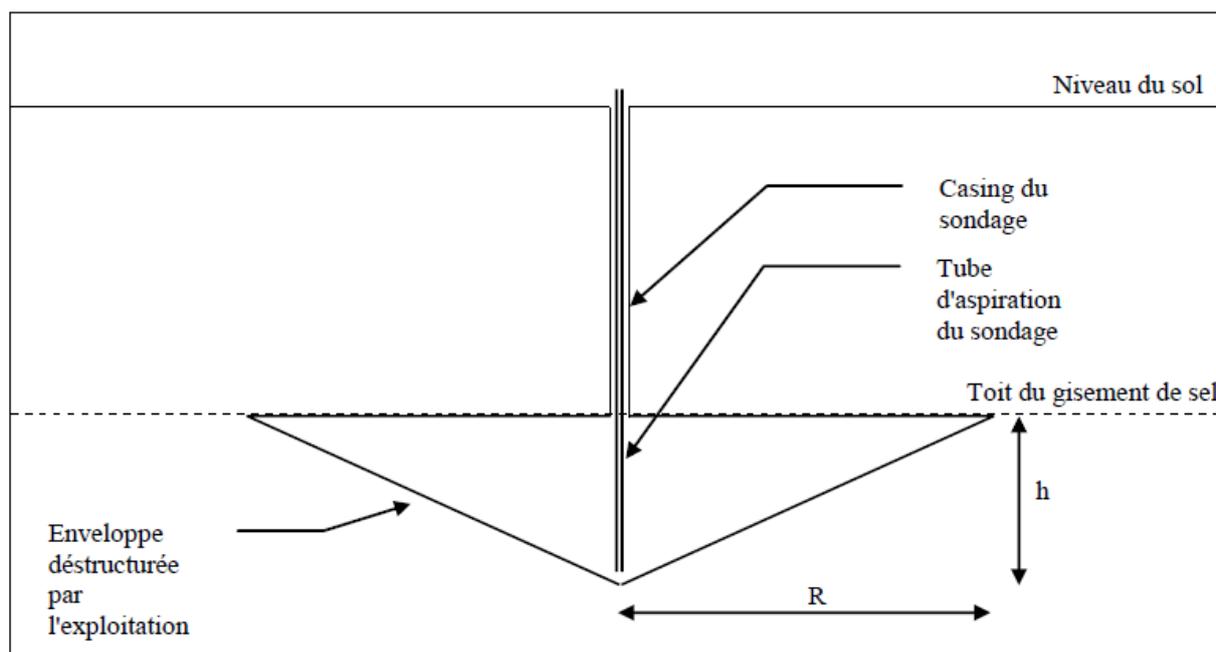


Figure E-1 : Terminologie et éléments de géométrie d'une enveloppe déstructurée liée à l'exploitation du sel

Sondage	Volume de vide créé (m ³)	Espacement entre sondages (m)	Rayon de l'enveloppe de dissolution (m)	Volume d'insolubles (m ³)	Volume de vide restant avant foisonnement du fontis (m ³)	Hauteur de la remontée de voûte (m)	Stot restant (m)
S1+S2	237 756	1	84	185 449	52 306	11,6	16,2
S3+S4	298 719	10	73	233 001	65 718	17,7	23,4
S15 - Puits Prinnet	54 867	1	44	42 796	12 071	9,8	17,2
S5 (V)	115 830	0	63	90 347	25 483	10,2	35,9
S7+S8	509 041	0	85	397 052	111 989	24,8	28,4
S10	100 589	0	41	78 459	22 130	21,4	27,8
S11	76 204	0	40	59 439	16 765	17,1	48,5
Sondage moyen	1 393 004	0	148	1 086 543	306 461	22,1	7,9

Tableau E-3 : Elément de géométrie des vides pour les sondages d'exploitation du sel de la concession de GOUHENANS et des EPOISSES (d'après MINELIS, 2018)

Le Tableau E-3 présente, par le calcul, les possibilités de remontée *de vide* jusqu'à la surface (« remontée de voûte »). Avec les hypothèses prises par le bureau d'étude MINELIS, le calcul

**CONCESSION DE MINES DE SEL GEMME
DE GOUHENANS ET DES EPOISSES (Haute-Saône)
DÉCLARATION D'ARRÊT DEFINITIF DES TRAVAUX MINIERES
ET D'UTILISATION DES INSTALLATIONS ASSOCIEES**

de remontée de voûte montre une absence de remontée de voûte à la surface laissant un épaisseur minimal de recouvrement de 16 à 17 mètres pour les sondages n°1-2 et le Puits Prinnet. Le rayon de dissolution est compris en 40 et 85 mètres.

Ces résultats corroborent les observations de terrain montrant l'absence d'impact en surface.

Compte tenu de l'absence d'information sur la répartition exacte de la production de sel sur chaque sondage, le bureau d'étude MINELIS a calculé un cas hypothétique très pessimiste pour lequel la totalité de la production était associée à un seul sondage pour évaluer l'enveloppe maximale de dissolution si elle était portée sur un seul sondage ; le résultat est donné dans le Tableau E-3 sous l'appellation « sondage moyen ». L'épaisseur minimal de recouvrement attendu est dans ce cas de 7,9 m montrant que même dans cette hypothèse, le fontis ne remonte pas en surface.

A propos de l'influence de la teneur du gisement, ce paramètre a été choisi arbitrairement par le bureau d'étude MINELIS et de manière conservatoire à 40 %. Si cette dernière était abaissée à la valeur de 30 % par exemple, il en résulterait une augmentation du rayon de dissolution concomitante d'une augmentation de l'épaisseur du recouvrement. La plus faible teneur engendre moins de vides à combler par unité de surface (voir Tableau E-4).

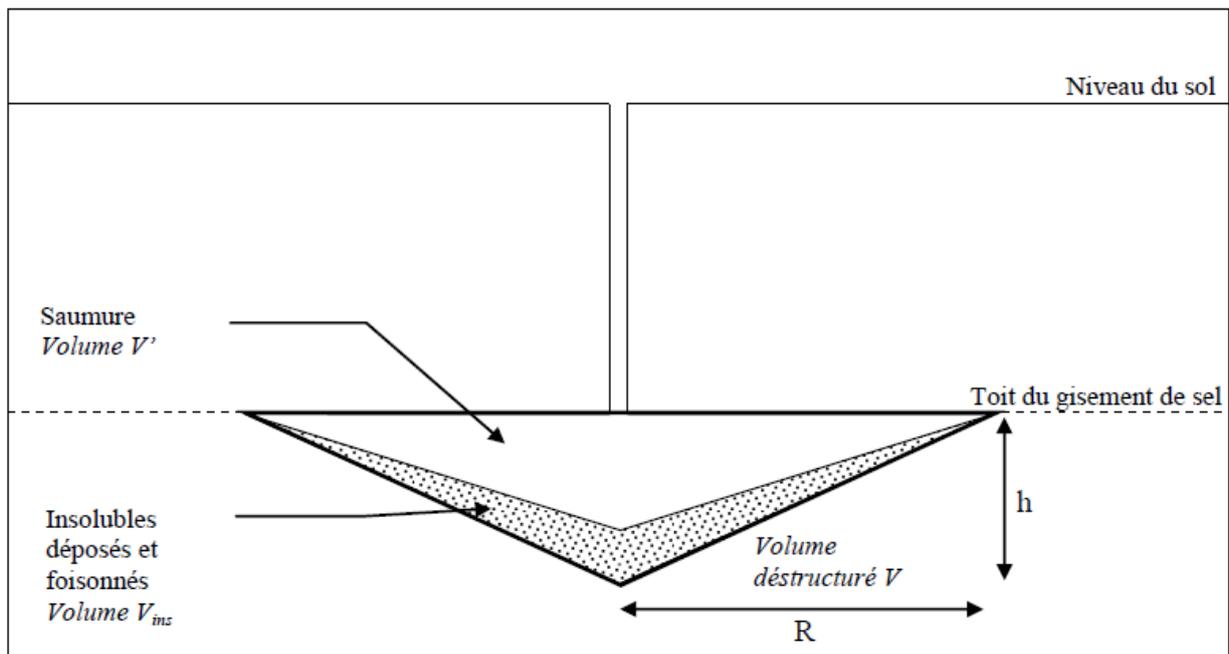


Figure E-2 : Schéma montrant le « foisonnement des insolubles » au fur et à mesure de l'exploitation du gisement salifère

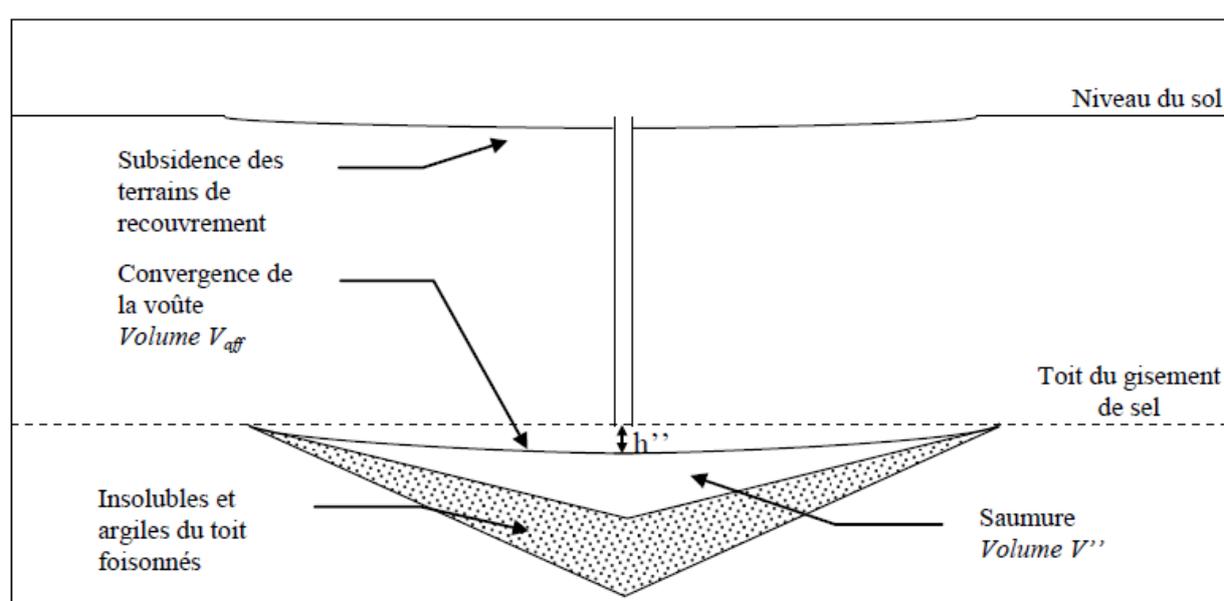


Figure E-3 : Schéma montrant la convergence de la voûte pour un sondage d'exploitation du sel

Sondage	Volume de vide créé (m ³)	Espacement entre sondages (m)	Rayon de l'enveloppe de dissolution (m)	Volume d'insolubles (m ³)	Volume de vide restant avant remontée de voûte (m ³)	Hauteur de la remontée de voûte (m)	Stot restant (m)
S1+S2	317 008	1	98	288 477	28 531	4,7	23,0
S3+S4	398 291	10	85	362 445	35 846	7,3	33,9
S5 (V)	154 440	0	73	140 540	13 900	4,2	41,9
S7+S8	678 721	0	98	617 636	61 085	10,2	43,1
S10	134 119	0	47	122 048	12 071	8,7	40,5
S11	101 605	0	46	92 461	9 144	7,0	58,5
S15 - Puits Prinnet	73 156	1	51	66 572	6 584	4,0	23,0
Sondage moyen	1 857 339	0	171	1 690 178	167 160	9,1	20,9

Tableau E-4 : Hypothèse de calcul pour les sondages d'exploitation du sel de la concession de GOUHENANS et des EPOISSES avec une teneur à 30% (d'après MINELIS, 2018)

Le plan présenté ci-après (Figure E-4) présente les zones maximales de dissolution des sondages d'exploitation dans les deux scénarii de calcul :

- Répartition de la production homogène entre les différents sondages (en bleu foncé)
- Imputation de la production totale sur chaque sondage (en bleu clair).

La teneur du gisement est de 40 % pour ces deux scénarii.

**CONCESSION DE MINES DE SEL GEMME
DE GOUHENANS ET DES EPOISSES (Haute-Saône)
DÉCLARATION D'ARRÊT DEFINITIF DES TRAVAUX MINIERES
ET D'UTILISATION DES INSTALLATIONS ASSOCIEES**

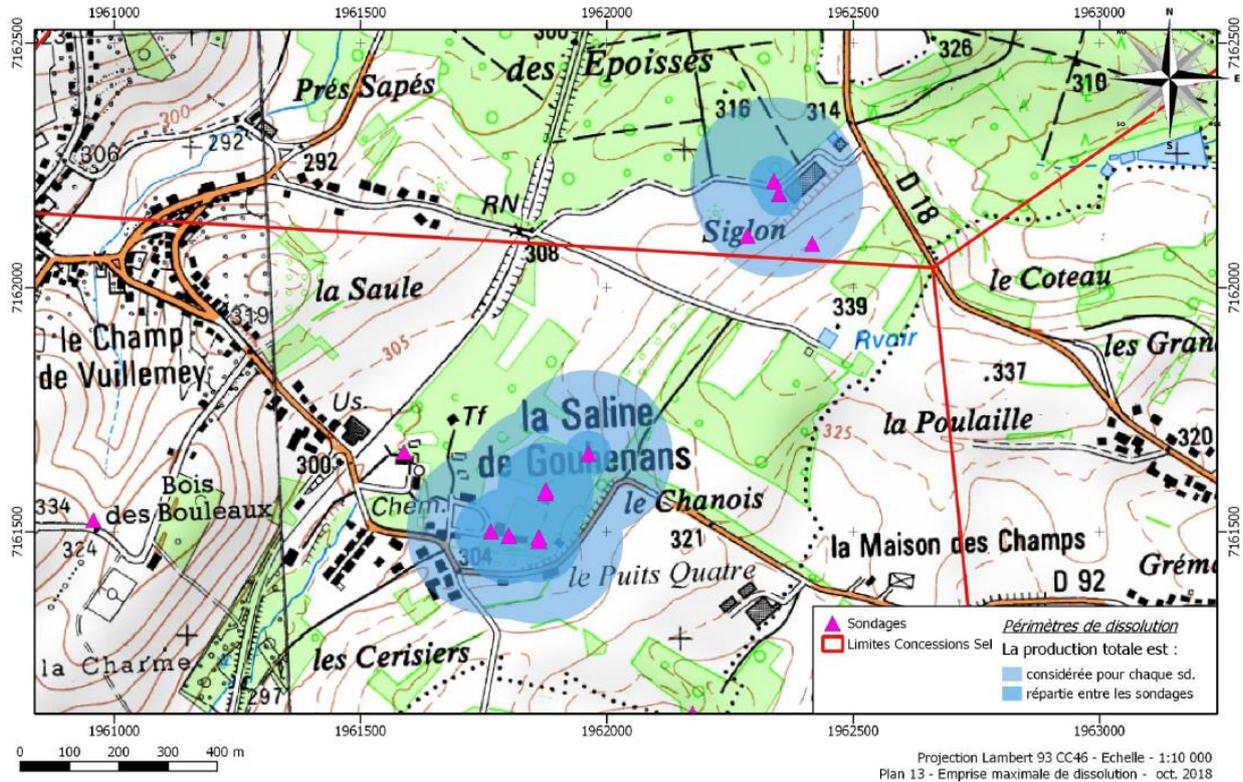


Figure E-4 : Zones maximales de dissolution des sondages d'exploitation pour les sondages d'exploitation du sel de la concession de GOUHENANS et des EPOISSES avec une teneur à 40% (d'après MINELIS, 2018).

4.3. Conclusions

L'étude de stabilité a montré que l'exploitation du sel dans la concession de GOUHENANS et des EPOISSES n'a pas induit la formation de très grandes cavités dans le sous-sol.

Les calculs qui ont été présentés montrent que le rayon de l'enveloppe déstructurée au niveau des sondages d'exploitation varie entre 46 et 98 m et que le rayon maximum (par calcul) pourrait être de 171 m.

Deux mécanismes régissent l'évolution de la géométrie de la cavité durant et après l'exploitation :

- les insolubles se déposent gravitairement au fond de la cavité au fur et à mesure de la dissolution et en remplissent une partie,
- par la suite, après avoir atteint le toit du sel et lorsque la cavité s'élargit (extension horizontale de la dissolution), les terrains marneux et argileux se délitent. Ils viennent alors combler le vide résiduel. Le toit de la cavité remonte alors dans les terrains supérieurs jusqu'à ce que le vide soit complètement rempli. Cette remontée du toit n'a pas excédé 10,5 m.

5. DESCRIPTION DES MOUVEMENTS DE TERRAIN RESIDUELS ENVISAGEABLES

En l'absence de vides résiduels résultant de l'exploitation passée dans le sous-sol, aucun mouvement résultant de la fermeture des cavités n'est à envisager.

En l'absence de toute circulation pouvant entraîner la dissolution du sel, aucun mouvement de terrain de surface n'est envisagé pour l'avenir.