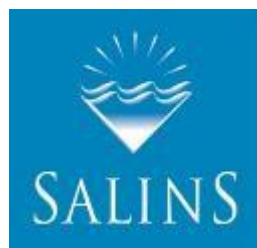


Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est



Demande d'autorisation d'ouverture de travaux miniers

**Sondages S-221et S-321
Concession de SAINT-PANDELON
(Landes).**

C - METHODE D'EXPLOITATION

Décembre 2021

Sommaire

Table des matières

1. CONTEXTE ET CONTRAINTES DU PROJET.....	4
1.1. LES BESOINS EN SAUMURE SATUREE.....	4
1.2. HISTORIQUE DE L'EXPLOITATION DE LA CONCESSION DE SAINT PANDELON.....	4
1.2.1. Inventaire des ouvrages et travaux réalisés.....	4
1.2.2. Description des ouvrages et travaux réalisés	6
1.2.3. Méthodes d'exploitations	9
1.2.4. Production de la concession	11
2. LES DIFFERENTES METHODES D'EXPLOITATION D'UN GISEMENT SALIFERE.....	13
2.1. INTRODUCTION.....	13
2.2. EXPLOITATION PAR DISSOLUTION EN SONDAGE ISOLE.....	13
2.3. EXPLOITATION PAR DISSOLUTION EN RESEAU MAILLE.....	14
2.4. EXPLOITATION PAR DISSOLUTION AVEC EFFONDREMENT AVANÇANT	17
2.5. EXPLOITATION PAR DISSOLUTION EN LIGNES STABLES	19
2.5.1. Connexion des sondages par coalescence	19
2.5.2. Connexion des sondages par forage horizontal (ou dévié).....	22
2.6. METHODE RETENUE PAR CSME.....	24
3. PRESENTATION DE LA METHODE D'EXPLOITATION ENVISAGEE	25
3.1. PRINCIPE DE LA METHODE D'EXPLOITATION	25
3.2. ETUDE GEOMECANIQUE DE DIMENSIONNEMENT	25
3.2.1. Etude géomécanique réalisée	25
3.2.2. Dimensionnement retenu	26
3.3. LA FORMATION DU SONDAGE	27
3.4. LE FONCTIONNEMENT DU SONDAGE	28
3.5. MOYENS DE CONTROLE	28
3.5.1. La télésurveillance	28
3.5.2. Détection des fuites de saumure.....	29
3.5.3. Autres paramètres suivis.....	29
3.5.4. Contrôles périodiques.....	29
3.5.5. Fluides injectés	30
3.6. DESCRIPTION DE LA METHODE DE DISSOLUTION.....	30
3.6.1. La dissolution dans le nouveau sondage isolé	30
3.6.2. Contrôle de la dissolution.....	31
3.7. LE SUIVI DE L'EXPLOITATION	34
3.7.1. Les consignes d'exploitation.....	34
3.7.2. Suivi journalier	35
3.7.3. Suivi mensuel	35
3.7.4. Rapport mensuel	35
3.7.5. Bilan annuel.....	36

Table des illustrations

Figure 1 : <i>Plan de localisation des ouvrages de la concession</i>	5
Figure 2: <i>Plan des travaux d'exploitation par galeries de mines et par dissolution</i>	5
Figure 3 : <i>Coupe schématique d'une exploitation par chambres et piliers</i>	10
Figure 4 : <i>Coupe schématique d'un sondage d'exploitation par dissolution du sel avec injection d'eau douce et formation d'une cavité isolée</i>	11
Figure 5 : <i>Production annuelle et cumulée de la concession de SAINT PANDELON</i>	12
Figure 6 : <i>Schéma de principe du fonctionnement d'un sondage isolé</i>	14
Figure 6 : <i>Sondages en réseau maillé – état initial</i>	15
Figure 7 : <i>Sondages en réseau maillé – mise en communication hydraulique</i>	15
Figure 8 : <i>Sondages en réseau maillé – développement cavité</i>	16
Figure 9 : <i>Sondages en réseau maillé – fin de développement</i>	16
Figure 10 : <i>Sondages avec effondrement avançant – connexion des sondages isolés</i>	17
Figure 11 : <i>Sondages avec effondrement avançant – développement de la cavité</i>	18
Figure 12 : <i>Sondages avec effondrement avançant – premier effondrement</i>	18
Figure 13 : <i>Sondages avec effondrement avançant – fin d'exploitation</i>	19
Figure 14 : <i>Sondages en lignes stables – connexion par coalescence</i>	20
Figure 15 : <i>Sondages en lignes stables – développement de la cavité</i>	21
Figure 16 : <i>Sondages en lignes stables – développement maximal</i>	21
Figure 17 : <i>Forage horizontal – phase de connexion</i>	22
Figure 18 : <i>Forage horizontal – développement horizontal</i>	23
Figure 19 : <i>Forage horizontal – développement horizontal maximum</i>	23
Figure 20 : <i>Forage horizontal – développement vertical maximum</i>	24
Figure 22 : <i>Coupes verticales présentant l'emplacement des deux nouvelles cavités S-221 et S-321 par rapport aux cinq cavités existantes (en haut) et par rapport à l'exploitation ancienne (en bas) – d'après rapport du Centre de Géosciences</i>	27
Figure 23 : <i>Nouveau sondage</i>	31
Figure 24 : <i>Plan du nouveau réseau de nivellement de la zone</i>	33
Figure 25 : <i>Plan des emplacements des piézomètres et des prélèvements des eaux de surfaces</i>	34
Tableau 1 : <i>Inventaire des ouvrages et travaux miniers réalisés dans le périmètre de la concession</i>	4
Tableau 2 : <i>Description des ouvrages miniers réalisés dans le périmètre de la concession</i>	9
Tableau 3 : <i>Production de sel par dissolution des sondages modernes de la concession</i>	12

1. CONTEXTE ET CONTRAINTES DU PROJET

1.1. Les Besoins en saumure saturée

La Saline de Dax exploite le gisement de sel dans la concession de SAINT PANDELON depuis 1882, cette concession lui a été concédée par décret le 4 Novembre 1881. Les travaux d'exploitation ont débuté par puits et galeries. Depuis 1907, la saumure est obtenue par dissolution du sel in situ et est acheminée à la saline par un saumoduc d'une longueur de 5 km environ.

La saumure qui arrive à la saline subit divers traitements, puis une ébullition en vase clos qui permet d'obtenir du sel cristallisé d'une grande pureté.

L'ensemble des opérations de production et d'élaboration du sel occupe 23 personnes en permanence à la Saline.

Ce dossier est destiné à demander l'autorisation de forer et d'exploiter successivement deux nouveaux sondages qui seront forés sur des terrains appartenant à CSME situés dans le périmètre de la concession de SAINT PANDELON, ainsi que six piézomètres de surveillance des eaux souterraines peu profondes (forages de 6 à 18 mètres de profondeur prévue).

Les sondages d'exploitation sont destinés à sécuriser et à pérenniser l'approvisionnement en saumure de la saline de Dax.

En effet, le sondage actuel S-811 a été exploité depuis 1983 et 1 711 0 t de sel en ont été extraites jusqu'à aujourd'hui. Il reste encore une certaine quantité de sel à exploiter, mais pour des raisons de sécurité de l'approvisionnement il faut anticiper la réalisation de nouveaux sondages, avant l'épuisement complet du sondage en cours.

1.2. Historique de l'exploitation de la concession de SAINT PANDELON

Sont considérés comme miniers tous les ouvrages et travaux ayant été réalisés pour la reconnaissance ou l'exploitation du gisement de sel gemme.

1.2.1. Inventaire des ouvrages et travaux réalisés

Le Tableau 1 présente l'inventaire des ouvrages et travaux miniers ayant été réalisés dans la concession de SAINT-PANDELON :

Ouvrages & travaux miniers	9 sondages de reconnaissance	S-1 à S-9
	13 sondage d'exploitation par dissolution	S-Max, S-Vié, S-10 à S-15, S-Nord, S-Sud, S-721, S-791 et S-811
	4 puits d'exploitation	P-III à P-VI
	Travaux souterrains	Chambres parallèles aux étages 70, 105 et 135m

Tableau 1 : Inventaire des ouvrages et travaux miniers réalisés dans le périmètre de la concession

Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est
 Demande Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers
 Sondages S-221 et S-321 de la concession de SAINT-PANDELON

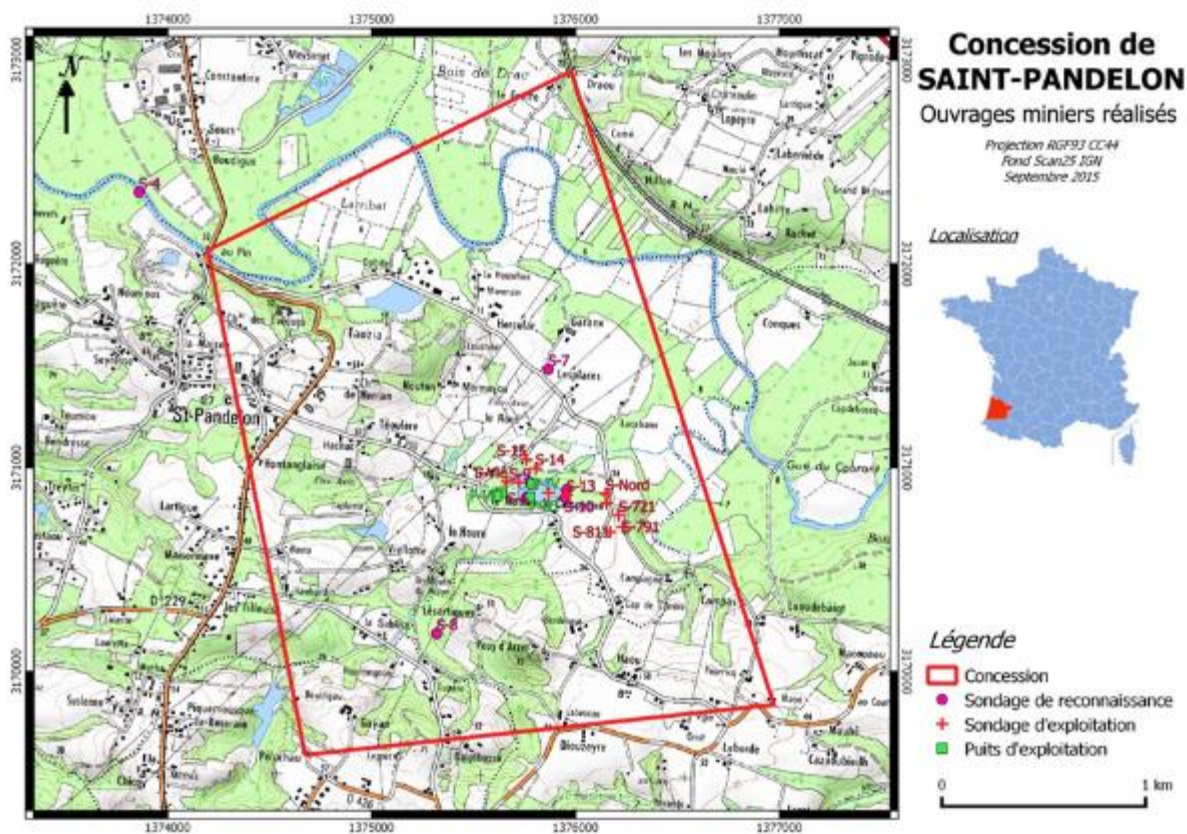


Figure 1 : Plan de localisation des ouvrages de la concession

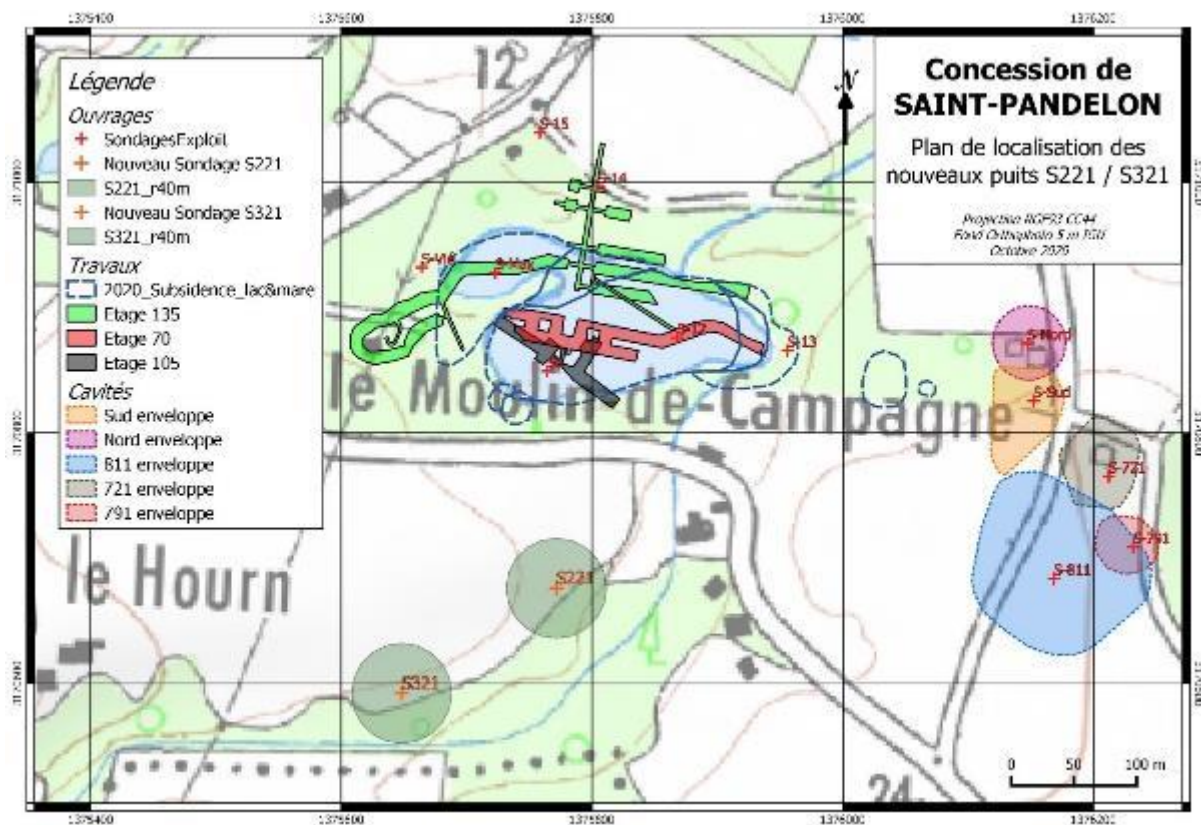


Figure 2: Plan des travaux d'exploitation par galeries de mines et par dissolution.

1.2.2. Description des ouvrages et travaux réalisés

L'idée de rechercher du sel à Saint Pandelon remonte à 1878. Depuis 1870, le sel était extrait dans la concession de DAX par le puits LORRIN. L'exploitation étant difficile faisant craindre pour la stabilité des édifices voisins, un nouveau puits dit PII a été foncé en 1880 le long de la route du Gond mais des venues d'eau importantes qu'il fut impossible de maîtriser conduisirent à l'abandonner.

Parallèlement à ces travaux, les exploitants de la saline de Dax entreprirent de rechercher un nouveau gisement et ouvrir une nouvelle exploitation. Ainsi, en 1878, cinq sondages S-1 à S-5 ont été forés au nord-ouest du massif ophitique de Saint Pandelon, à proximité de sources salées en bordure du Luy. Tous ces sondages ont été arrêtés dans l'ophite entre 20 et 50 mètres de profondeur sans avoir rencontré de sel.

Le sondage S-6 foré en 1879 au lieu-dit Moulin de Campagne à Saint Pandelon atteignit le sel à 86,51 mètres de profondeur le 23 novembre 1879 et fut poursuivi dans le sel jusqu'à 98,54 mètres.

Les sondages S-7 à S-9 forés en 1880 aux abords du sondage S-6 confirmèrent la présence et l'extension importante du gisement en atteignant le sel entre 70 et 100 mètres de profondeur. Ces éléments permirent de solliciter l'attribution de la concession de SAINT PANDELON instituée par décret du 4 novembre 1881.

Dès 1882, un puits circulaire de 2 mètres de diamètre fut foncé à quelques mètres au nord du sondage S-6 qui avait rencontré le sel, dans le but d'ouvrir une exploitation de sel gemme par galerie. Ce puits, dit PIII, atteignit le sel à 39,78 mètres de profondeur et descendit jusqu'à 108 mètres.

A partir de ce puits et de trois autres puits foncés à proximité (PIV en 1885, PV en 1904 et PVI en 1946), le sel gemme fut exploité en galeries de 10 mètres de largeur et 10 à 14 mètres de hauteur successivement à l'étage 105, puis à l'étage 70 et enfin à l'étage 135.

L'étage 105 dut être abandonné le 28 décembre 1885, complètement noyé suite à une venue d'eau qui s'était déclarée le 19 mars 1885. L'exploitation fut reportée à l'étage 70 et un nouvel étage fut ouvert à 135 mètres de profondeur à partir du puits PIV. Une descenderie avait également été établie entre l'étage 70 et l'étage 135 pour servir d'issue de secours.

Lorsque les eaux entrant dans le niveau 105 atteignirent le niveau 70 et que l'exhaure ne fut plus possible par le puits PIII, l'étage 70 fut abandonné en 1899. Des serremments furent construits dans la descenderie mais en vain. L'étanchéité de ces serremments n'ayant pu être assurée, l'étage 135 fut ennoyé à son tour à partir du 24 septembre 1906 et dut être abandonné également.

L'exploitation du sel gemme cessa donc en 1906 et à partir de ce moment, la saumure fut pompée dans la mine par les puits PIV et PV puis par le puits PVI et par des sondages forés en périphérie de la mine.

Entre 1885 et 1906, 180.000 tonnes de sel gemme ont été extraites de la mine.

En 1904 et 1946, les sondages S-12 et S-13 ont été forés aux abords de la mine pour injecter de l'eau douce dans les travaux souterrains lorsque l'eau entrant naturellement dans la mine par les venues d'eau était insuffisante pour assurer l'exploitation.

Il existe peu d'informations relatives à l'exploitation par dissolution entre 1909 et 1930. L'extension des effondrements s'est poursuivie et le puits PIII a disparu en 1910.

Entre 1930 et 1944, l'augmentation de la production de la saline a nécessité une exploitation plus intense. Pour ce faire, le sondage dit S-Max a été foré en 1934 et a atteint une des galeries de l'étage 135. Ce sondage a permis l'injection d'eau douce alors que la saumure était extraite du puits PV au moyen d'une pompe immergée. Après l'injection de 25.000 m³ d'eau douce, le sondage S-Max s'est effondré en 1936. Le sondage S-Vié a été foré en 1939 à 15 mètres au nord de la galerie de l'étage 135 mais n'a été que peu exploité.

En 1946, le sondage S-13 est foré et l'injection d'eau douce permet de le mettre en communication avec la galerie de l'étage 70. Le sondage S-13 rencontra le sel à 115 mètres et est poursuivi jusqu'à 140 mètres de profondeur mais n'atteint pas la galerie de l'étage 135. La communication entre le sondage et la galerie est tentée par fissuration du massif à l'explosif mais le forage s'effondre et ne peut être réparé.

Le sondage S-14 est foré en 1947 et mis en communication avec l'étage 135 par injection d'eau et extraction de saumure au moyen d'une colonne d'aspiration et d'un émulseur. En 1948, le sondage S-15 est foré et exploité en sondage isolé avec protection du toit de la cavité par un matelas d'air comprimé jusqu'en 1952. En 1953, le sondage S-15 rentre en communication avec le sondage S-14 et la mine, l'exploitation est poursuivie sans injection d'eau jusqu'en 1965.

L'exploitation par injection d'eau et pompage de saumure dans les puits de la mine ou par des sondages forés en périphérie conduisit à plusieurs effondrements des terrains de surface à partir de 1907. Ces effondrements ont conduit à la formation du lac de Saint Pandelon.
De 1905 à 1965, près de 600.000 tonnes de sel ont été extraits sous forme de saumure.

En 1961, deux sondages dit Campagne Nord et Campagne Sud ou S-Nord et S-Sud ont été forés à 300 mètres environ à l'est des galeries de l'ancienne mine. Ces sondages profonds de 300 mètres sont isolés de l'ancienne mine et ont été exploités en sondages isolés, par tranches successives de 25 mètres environ, la protection du toit de chaque tranche étant assurée par de l'air comprimé.

Les cavités dont l'exploitation a cessé sont utilisées pour réinjecter les minéraux contenus dans la saumure mais non valorisables dans le processus de cristallisation du sel. Ces minéraux se présentent sous la forme d'une boue blanche.

A ce jour, la cavité S-Nord a été complètement remplie et la cavité S-Sud est en cours de remplissage.

Il est à noter que les sondages S-1, S-2, S-6, S-9, S-10, S-11, S-13 et S-Max, ainsi que les puits P-III et P-IV ont été emportés par les effondrements survenus entre 1907 et 1966 suite au pompage de saumure directement dans la mine.

Les travaux souterrains sont isolés des travaux miniers réalisés dans les concessions voisines de LESCOURRE et MONTPEYROUX (concessions échues au 31 décembre 2018) et dans le permis exclusif de recherche de SALIN-DES-LANDES.

Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est
 Demande Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers
 Sondages S-221 et S-321 de la concession de SAINT-PANDELON

Le Tableau 2 : présente un descriptif sommaire pour chaque ouvrage :

Ouvrage	Type	Date	RGF93 CC44		Z (NGF)	Profondeur	Prof. toit du sel	Réf. BSS	Etat actuel
			X ¹	Y ¹					
S-1	Sondage de reconnaissance	1878	1373252,1	3171919,1	16	50	-	-	Perdu
S-2	Sondage de reconnaissance	1878	1373297,3	3171817,2	19	42.16	-	-	Perdu
S-3	Sondage de reconnaissance	1878	1373164,8	3172083,8	5	30	-	-	Perdu
S-4	Sondage de reconnaissance	1878	1373859	3172351,2	5	50	-	-	Perdu
S-5	Sondage de reconnaissance	1878	1372813,8	3171703,2	5	21.05	-	-	Perdu
S-6	Sondage de reconnaissance	1879	1375768,20	3170848,60	16	86.51	86.5	-	Perdu
S-7	Sondage de reconnaissance	1880	1375866,2	3171481,9	7	132.44	107.4	-	Perdu
S-8	Sondage de reconnaissance	1880	1375318,2	3170185,1	29	52.5	-	-	Perdu
S-9	Sondage de reconnaissance	1889	1375779,90	3170925,80	16	173	73.94	-	Perdu
S-10	Sondage d'exploitation	1889	1375947,80	3170851,40	14	83	80.5	-	Perdu
S-11	Sondage d'exploitation	1889	1375954,60	3170890,70	14	71.03	65.6	-	Perdu
S-12	Sondage d'exploitation	1904	1375867,90	3170876,10	13	100	inconnu	-	Perdu
S-13	Sondage d'exploitation	1946	1375955,90	3170865,90	14	100	78.2	09771X0170	Perdu
S-14	Sondage d'exploitation	1947	1375804,50	3170996,40	12	155.5	116	09771X0166	Arrêt
S-15	Sondage d'exploitation	1948	1375758,30	3171040,00	15	300	119.2	09771X0168	Arrêt
S-Max	Sondage d'exploitation	1934	1375722,70	3170927,80	13	138	75	-	Perdu
S-Vié	Sondage d'exploitation	1939	1375664,10	3170932,10	17	75.85	75.6	-	Arrêt
S-Nord	Sondage d'exploitation	1961	1376147,4	3170871,6	17	300.32	105	-	Arrêt (cavité comblée)
S-Sud	Sondage d'exploitation	1961	1376152,2	3170825,7	18	300.2	101	-	En exploitation (injection des stériles)
S-721	Sondage d'exploitation	1973	1376212,2	3170765,5	26.4	296	106	09771X0100	Arrêt
S-791	Sondage d'exploitation	1979	1376231,6	3170708,9	26	363.9	114	09771X0121	En exploitation (préparation pour injection des stériles)
S-811	Sondage d'exploitation	1982	1376168,4	3170683,8	20	559.5	95.7	-	En exploitation (production de saumure)

Ouvrage	Type	Date	RGF93 CC44		Z (NGF)	Profondeur	Prof. toit du sel	Réf. BSS	Etat actuel
			X ¹	Y ¹					
P-III	Puits d'exploitation	1882	1375774,40	3170855,50	16	108	39.38	-	Perdu
P-IV	Puits d'exploitation	1885	1375789,00	3170921,50	16	173	79.4	-	Perdu
P-V	Puits d'exploitation	1905	1375635,80	3170875,70	19	100	96	-	Arrêt
P-VI	Puits d'exploitation	1946	1375611,70	3170862,10	20	140	115	09771X0169	Arrêt

Tableau 2 : Description des ouvrages miniers réalisés dans le périmètre de la concession

¹ Coordonnées provenant de la Banque de Données du Sous-Sol (BRGM)

* Coordonnées provenant d'un relevé géomètre (CSME)

1.2.3. Méthodes d'exploitations

Les méthodes d'exploitations du sel dans la concession peuvent être regroupées en quatre ensembles :

- Par mine souterraine en galeries parallèles de 1884 au 24 septembre 1906 ;
- Par injection d'eau douce et pompage de saumure saturée dans la mine après l'ennoyage des différents niveaux de galeries à partir de 1907 ;
- Par dissolution au toit du sel entre 1876 et 1968 ;
- Par dissolution contrôlée en cavités isolées depuis 1964.

Exploitation par mine souterraine en galeries parallèles

Dans les mines de sel gemme, l'exploitation est généralement conduite selon la méthode des chambres et piliers. Elle consiste à creuser un réseau de galeries dans la couche de sel (chambres), en laissant en place une quantité de sel suffisante sous forme de piliers pour soutenir les terrains de recouvrement. Le ratio entre la surface des chambres et la surface totale est appelé taux de défrètement.

Cette méthode est plus particulièrement employée dans les zones d'exploitation où l'on doit garantir la stabilité des terrains de recouvrement pour protéger les infrastructures de surface.

Le réseau des galeries peut être conduit soit suivant un réseau de galeries perpendiculaires ménageant entre elles des piliers carrés ou rectangulaires, soit en galeries isolées. La première méthode est mise en œuvre dans les gisements réguliers et homogènes, la seconde dans les gisements hétérogènes (les galeries contournent les amas impurs).

La forme et l'alignement des piliers sont en général d'autant plus réguliers que les exploitations sont étendues et récentes.

Des puits verticaux donnent accès aux galeries.

Le sel gemme est remonté en surface par un puits équipé d'une machine d'extraction.

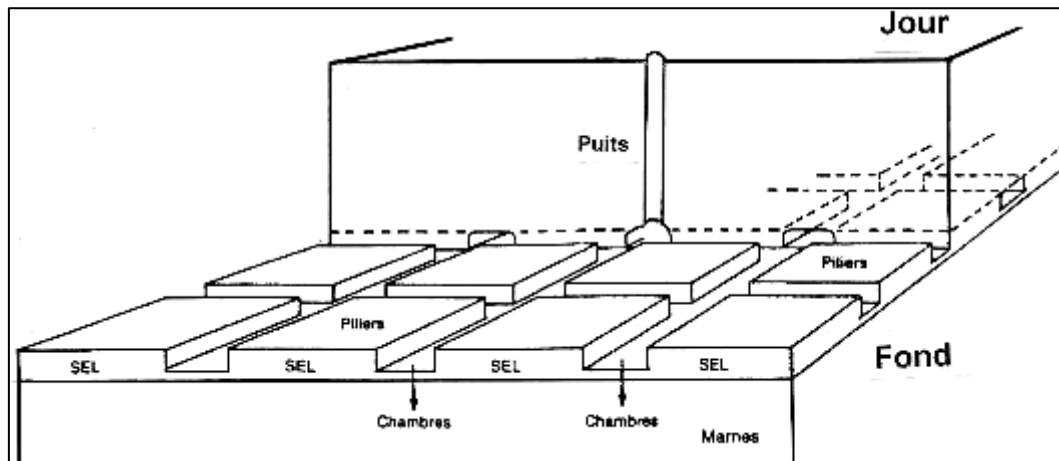


Figure 3 : Coupe schématique d'une exploitation par chambres et piliers

Dans le cas de la mine de la concession de SAINT PANDELON, le gisement étant épais et sans hétérogénéités importantes, l'exploitation a été conduite sur trois niveaux superposés en galeries pratiquement parallèles.

Cette exploitation dura jusqu'à l'envoyage accidentel de la mine en septembre 1906.

Exploitation par pompage de saumure dans la mine et dans les puits périphériques

Suite à l'envoyage successif des différents niveaux de la mine, l'exploitation par galeries a été abandonnée le 24 septembre 1906. A partir de cette date, l'exploitation du sel dans la concession ne fut plus conduite que par pompage de saumure dans les puits de la mine ou dans des sondages forés à proximité et mis en communication avec les galeries envoyées. Cette exploitation était conduite avec ou sans injection d'eau dans la mine, suivant que le débit de saumure pompée était suffisant ou pas. Les effondrements qui se sont produits à partir du 16 décembre 1907 (premier effondrement) ont contribué à l'introduction naturelle d'eau douce depuis la surface, un petit lac s'étant formé dans l'effondrement.

Il est à noter que la saline était partiellement alimentée par les saumures pompées dans la mine depuis les premières venues d'eau en avril 1885.

Cette exploitation dura jusqu'en 1967 lorsque les sondages isolés furent capables d'approvisionner seuls la saline.

Exploitation par dissolution en sondages isolés

Cette méthode de production de saumure, consiste à réaliser un forage vertical étanche jusqu'au gisement de sel. L'injection d'eau et l'extraction de saumure sont effectuées grâce à deux tubes concentriques. Un troisième tube concentrique permet l'utilisation d'un fluide inerte appelé fluide de garde (air, azote, fioul, huile) pour contrôler la dissolution vers le haut et le diamètre de la cavité (voir Figure 4).

Dans le cas de la concession de SAINT PANDELON, depuis l'origine, seul l'air a été utilisé comme fluide de garde pour la production de saumure.

Cette méthode est également largement utilisée pour la création de cavités salines dédiées au stockage de gaz ou d'hydrocarbures liquides.

Pour obtenir une saumure parfaitement saturée à débit important, cette méthode doit être développée dans des gisements de forte épaisseur, comme le sont certains diapirs. CSME maîtrise cette méthode qu'elle met en œuvre à Saint Pandelon depuis 1964 mais également à Varangéville et à Einville-au-Jard dans l'Est de la France depuis 2004 et à Pinoso en Espagne depuis 1973.

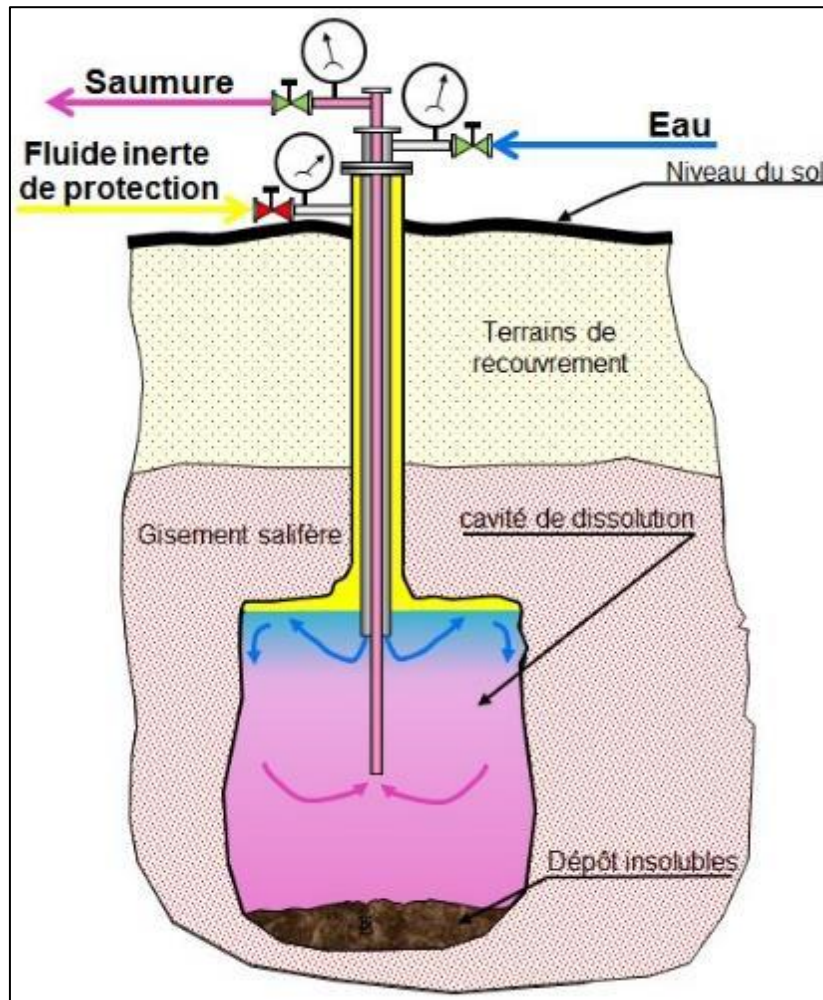


Figure 4 : Coupe schématique d'un sondage d'exploitation par dissolution du sel avec injection d'eau douce et formation d'une cavité isolée

1.2.4. Production de la concession

La production totale de la concession de SAINT PANDELON de 1884 à 2020 est de l'ordre de 2.815.258 tonnes de sel.

La quasi-totalité du sel gemme extrait de la mine a été dissout sur le site de Saint Pandelon et la saumure envoyée à la saline de Dax par le saumoduc mis en service au début de l'année 1882.

La production de la concession de SAINT-PANDELON a été reconstituée à partir des données recueillies dans les archives. Les données retrouvées ont été complétées en estimant la production lorsqu'elle n'était pas disponible.

Les courbes de production annuelle et cumulée sont présentées sur la Figure 5.

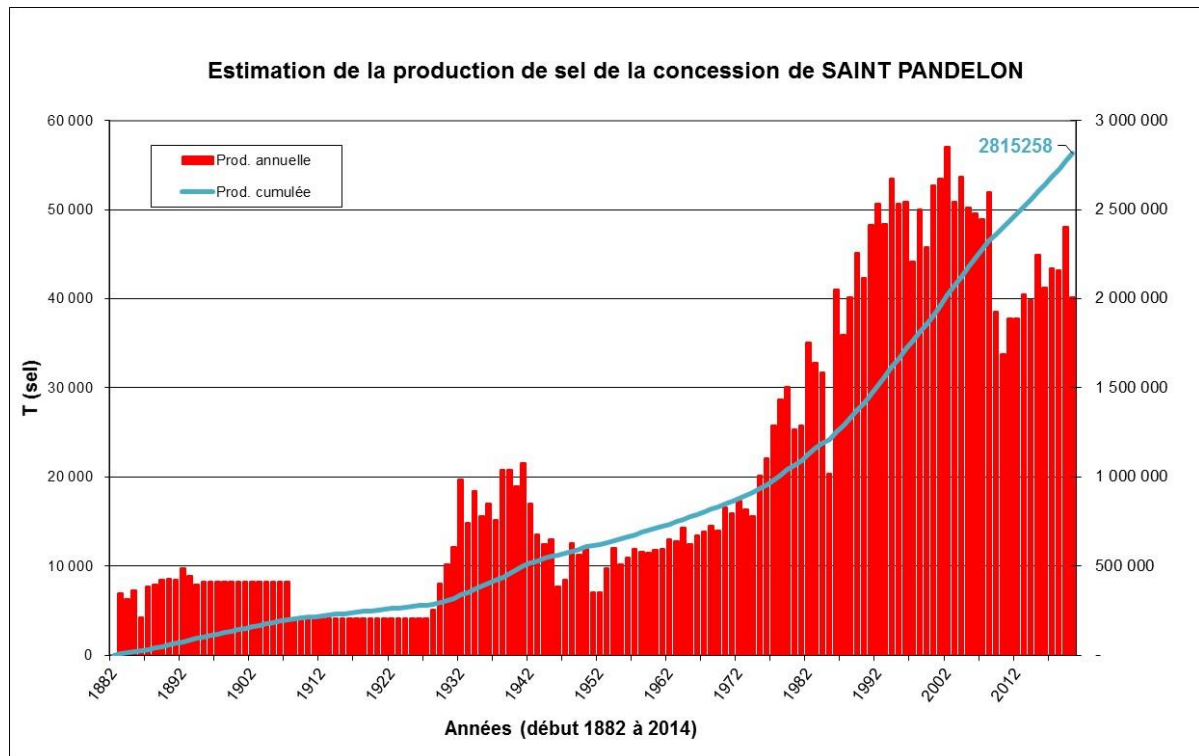


Figure 5 : Production annuelle et cumulée de la concession de SAINT PANDELON

Entre 1883 et 1906, ce sont près de 180.000 tonnes de sel gemme qui ont été extraites de la mine. Durant cette période, les eaux d'exhaure pompées dans la mine et envoyées vers la saline devaient contenir 10.000 à 20.000 tonnes de sel en solution puisque la saline a produit près de 191.000 tonnes de sel.

De 1907 à 1967, ce sont plus de 610.000 tonnes de sel qui ont été extraites sous forme de saumure pompée dans la mine ou dans les sondages en communication avec la mine.

La mise en exploitation des cinq sondages isolés à partir de 1964 a quand-à elle permis d'extraire du sous-sol près de 2.140.570 tonnes de sel. Cette extraction est répartie comme suit :

Sondage	Extraction au 31/12/2020 (T)
S-SUD	168.807
S-NORD	68.465
S-721	136.277
S-791	55.944
S-811	1.711.077 (en exploitation)

Tableau 3 : Production de sel par dissolution des sondages modernes de la concession

2. LES DIFFERENTES METHODES D'EXPLOITATION D'UN GISEMENT SALIFERE

2.1.Introduction

Nous pouvons classer les méthodes d'exploitation d'un gisement salifère en deux classes suivant l'état sous lequel le sel est extrait :

- Sel solide ou sel gemme,
- Sel dissous ou saumure.

Les différentes méthodes sont adaptées suivant les principales caractéristiques du gisement :

- Profondeur,
- Epaisseur,
- Pureté,
- Environnement.

Pour la production de sel cristallisé, CSME utilise un procédé d'évapo-cristallisation qui doit être alimenté en saumure saturée.

Cette technique requiert un sel dissout ce qui exclut les différentes méthodes d'extraction du sel gemme. Par conséquent, nous ne passerons pas en revue les différentes méthodes d'extraction du sel gemme.

En définitive, nous proposons de détailler les différentes méthodes d'exploitation par dissolution. Pour ces méthodes, il existe deux grandes familles :

- Dissolution verticale pour les gisements de forte épaisseur,
- Dissolution horizontale pour les gisements de faible épaisseur.

Pour le principe de dissolution verticale, on retrouve principalement la méthode d'extraction par sondage isolé, décrite dans le paragraphe 2.6

Par contre, pour le principe de dissolution horizontale, on retrouve différentes techniques de création de réseau horizontaux souterrains, décrites dans les paragraphes **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** à 2.5 ci-après.

2.2.Exploitation par dissolution en sondage isolé

Cette méthode de production de saumure, consiste à réaliser un puits vertical étanche jusqu'au gisement de sel. L'injection d'eau² et l'extraction de saumure sont effectuées grâce à deux tubes concentriques. Un troisième tube concentrique permet l'utilisation d'un fluide inerte (*air, azote, fioul, huile*) pour contrôler la dissolution vers le haut et le diamètre de la cavité (*voir Figure 6*).

Cette méthode est largement utilisée pour la création de cavités salines dédiées au stockage de gaz ou d'hydrocarbures liquides.

² Le terme « eau » s'entend au sens large pour la dissolution. Il peut s'agir d'eau douce ou de toute saumure non saturée.

Pour obtenir une saumure parfaitement saturée à débit important, cette méthode doit être développée dans des gisements de forte épaisseur, comme le sont certains diapirs. CSME maîtrise cette méthode qu'elle met en œuvre à Dax dans le sud-ouest de la France et à Pinoso en Espagne.

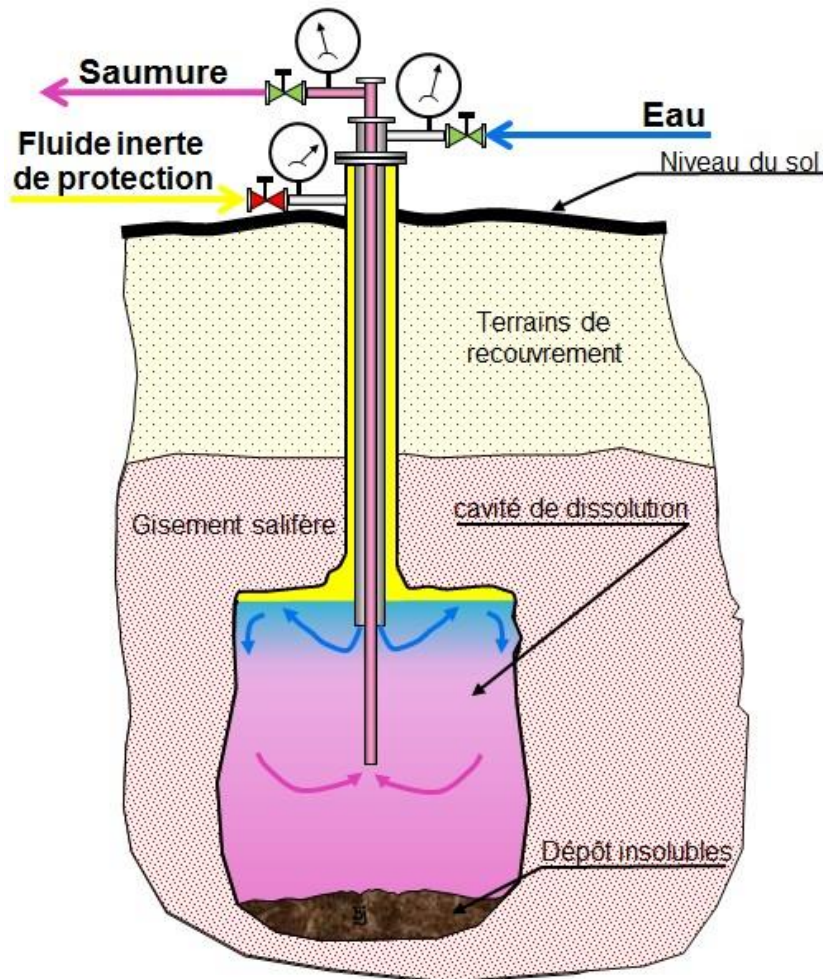


Figure 6 : Schéma de principe du fonctionnement d'un sondage isolé

2.3. Exploitation par dissolution en réseau maillé

Cette méthode consiste à dissoudre le sel gemme par circulation souterraine entre des sondages préalablement mis en liaison au niveau de la formation salifère. Certains de ces sondages sont spécialisés dans l'injection de l'eau de dissolution et d'autres, dans l'extraction de la saumure. Ces sondages sont disposés aux nœuds d'un réseau maillé.

La connexion des différents sondages entre eux est obtenue par mise en communication hydraulique (voir Figure 7 à Figure 10).

La mise en communication hydraulique consiste à injecter de l'eau sous très forte pression à la base de la couche de sel à exploiter afin de décoller légèrement les terrains sus-jacents et initialiser une surface de liaison avec le ou les sondages visés. La dissolution du sel se fait ensuite par injection d'eau sur un ou plusieurs des puits reliés, et soutirage de saumure sur un ou plusieurs autres puits. Cette technique est l'une des plus anciennes. Elle a été utilisée dans

de nombreux pays. L'extrême difficulté de contrôler parfaitement le cheminement de l'eau, la quasi impossibilité de maîtriser la dissolution vers le haut par fluide inerte, et la difficulté de mesurer entièrement le volume creusé conduisent la plupart des utilisateurs de cette technique à évoluer vers d'autres moyens de mise en liaison de cavités.

La difficulté de maîtriser le processus de dissolution et les chemins de circulation de la saumure qui en découlent ne permettent ni d'optimiser la récupération du sel contenu dans le gisement ni de garantir la maîtrise du développement des dimensions des cavités.

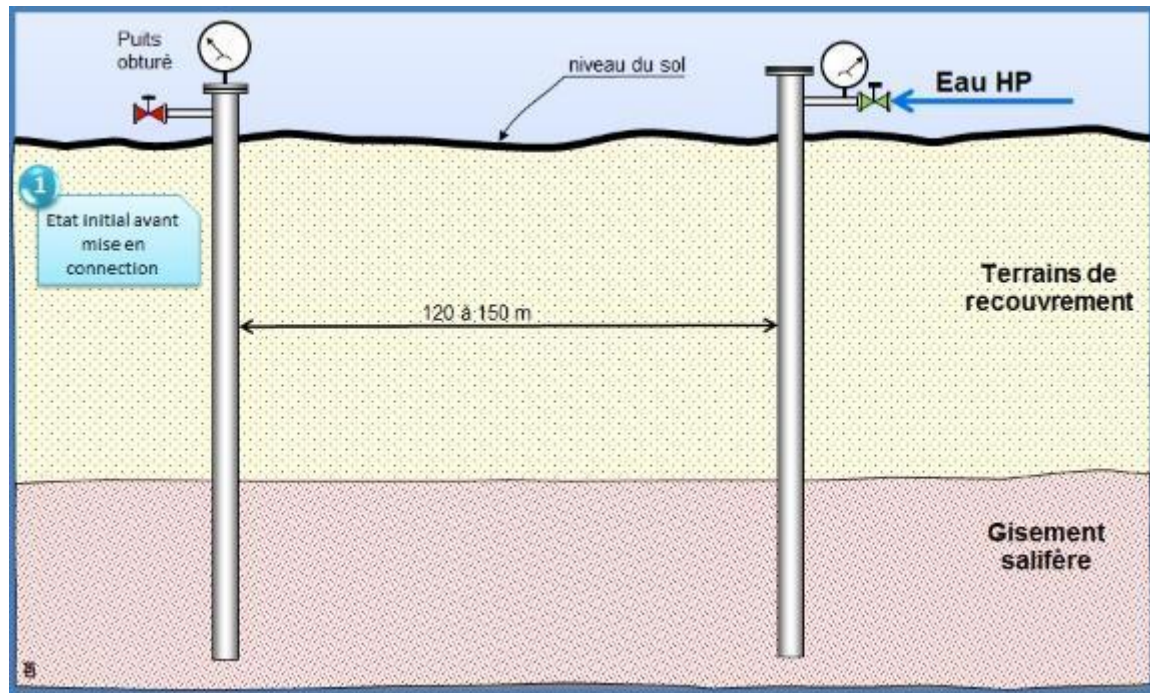


Figure 7 : Sondages en réseau maillé – état initial

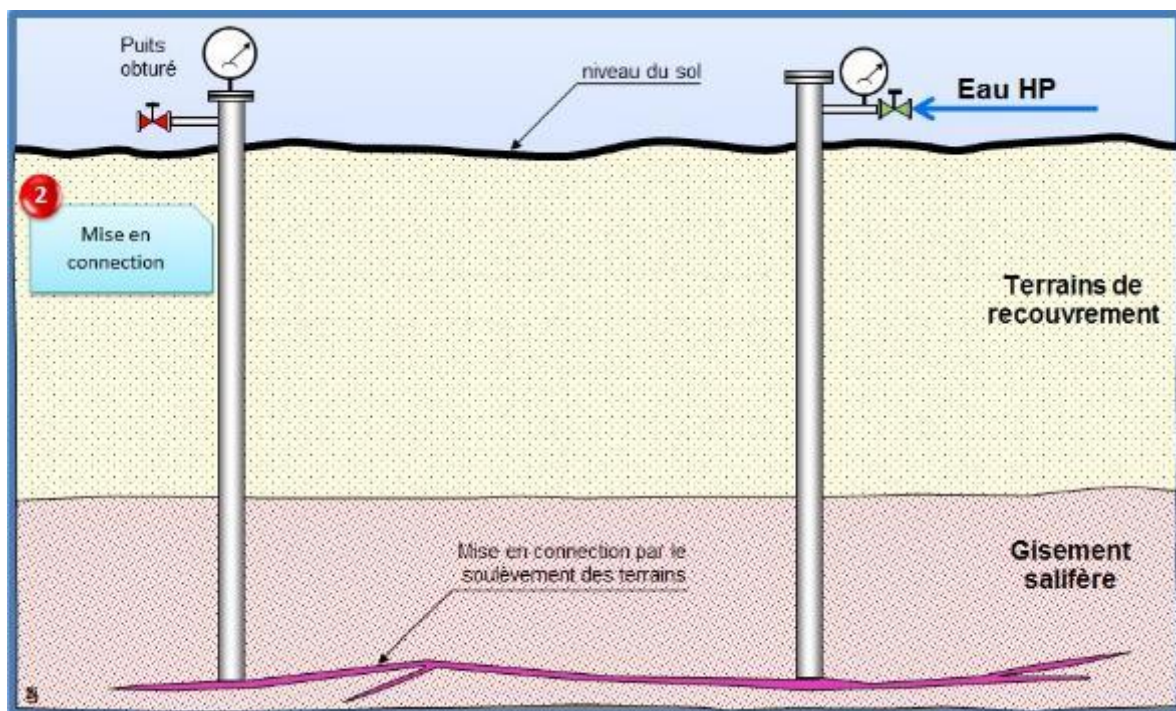


Figure 8 : Sondages en réseau maillé – mise en communication hydraulique

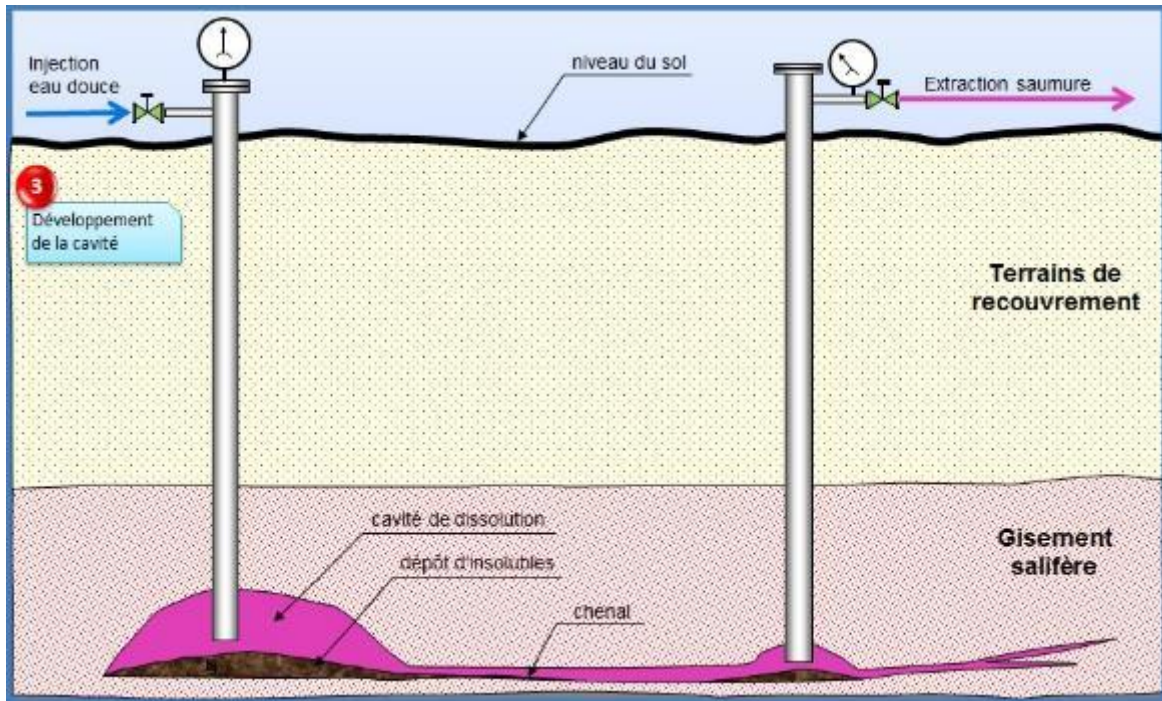


Figure 9 : Sondages en réseau maillé – développement cavité

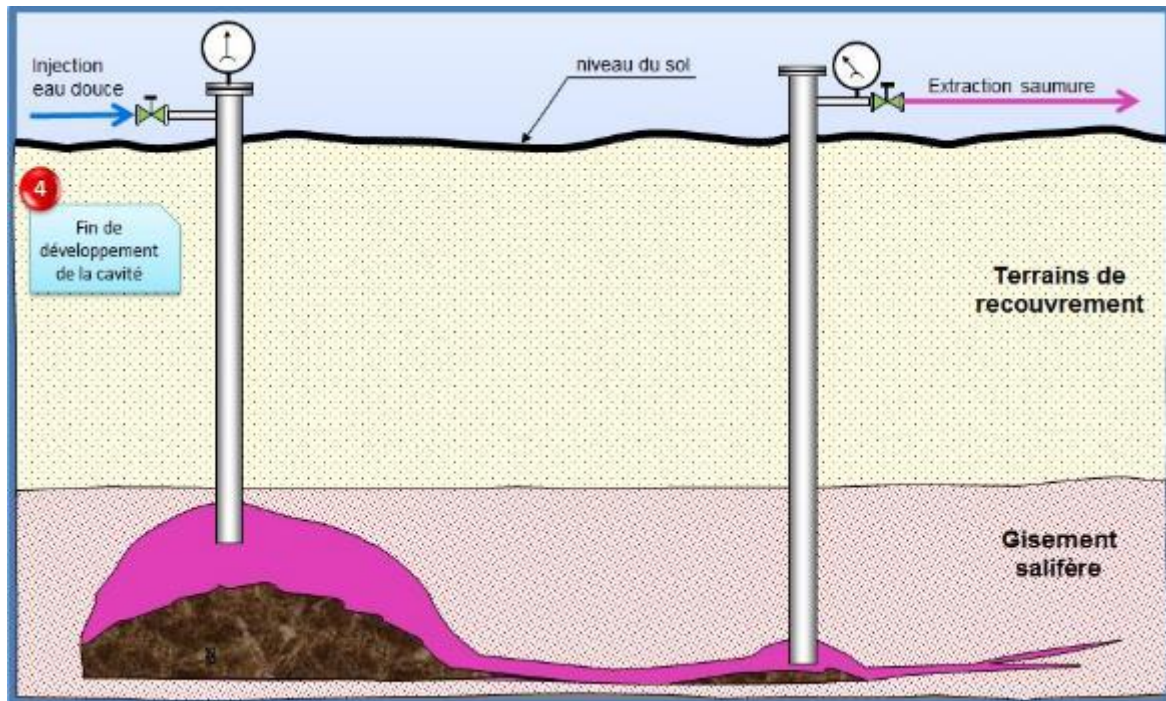


Figure 10 : Sondages en réseau maillé – fin de développement

2.4. Exploitation par dissolution avec effondrement avançant

(voir schémas de principe, Figure 11 à Figure 14)

Cette méthode d'exploitation du sel par dissolution consiste à créer des sondages sur des lignes rapprochées avec une forte densité de sondages mis en communication par coalescence. Les sondages étant suffisamment proches les uns des autres, ils seront exploités tout d'abord comme des sondages isolés jusqu'à ce que se créent à leurs bases des cavités suffisamment développées latéralement pour se rejoindre.

L'exploitation est ensuite conduite de manière à extraire l'intégralité du sel jusqu'au sommet du gisement, méthodiquement et progressivement, à partir d'une extrémité de la piste, ce qui a pour conséquence d'entraîner l'effondrement des terrains de surface.

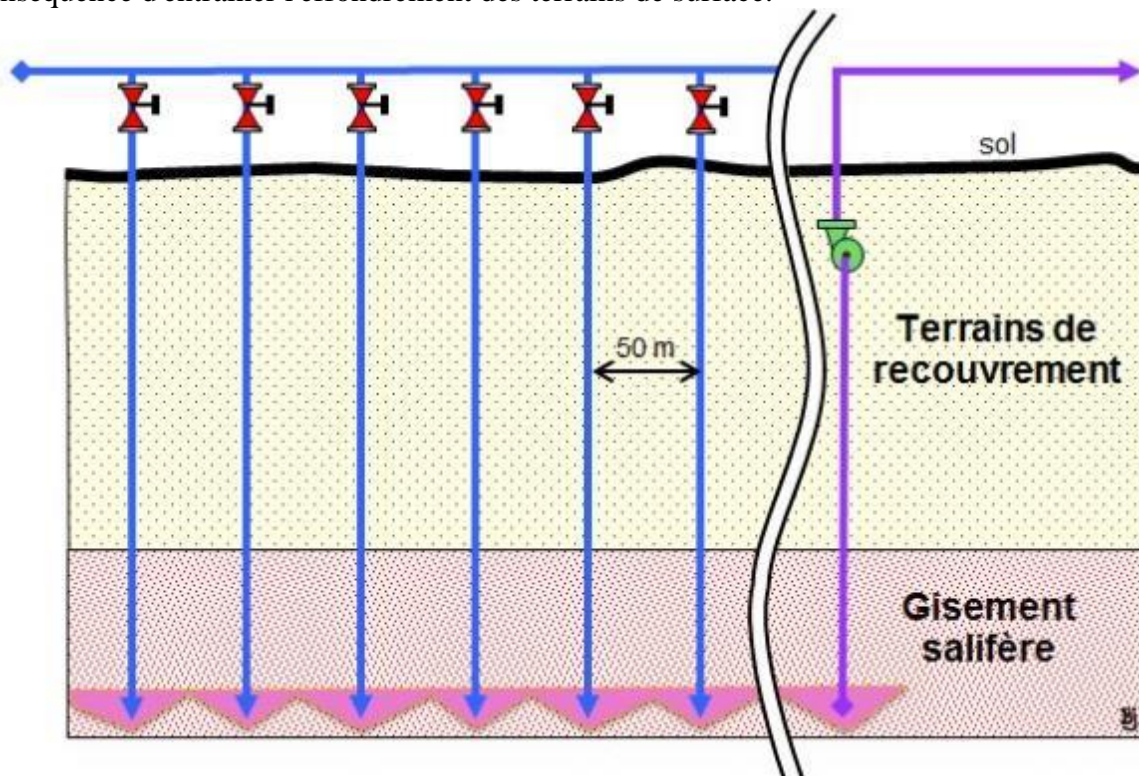


Figure 11 : Sondages avec effondrement avançant – connexion des sondages isolés

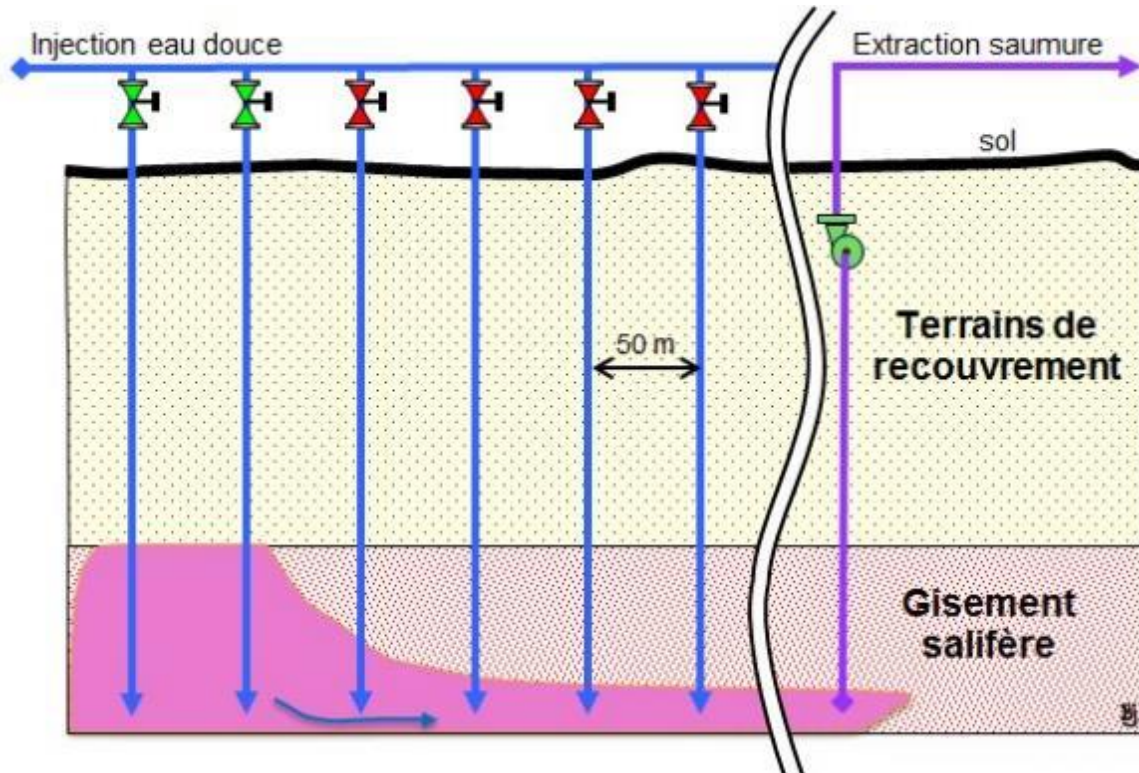


Figure 12 : Sondages avec effondrement avançant – développement de la cavité

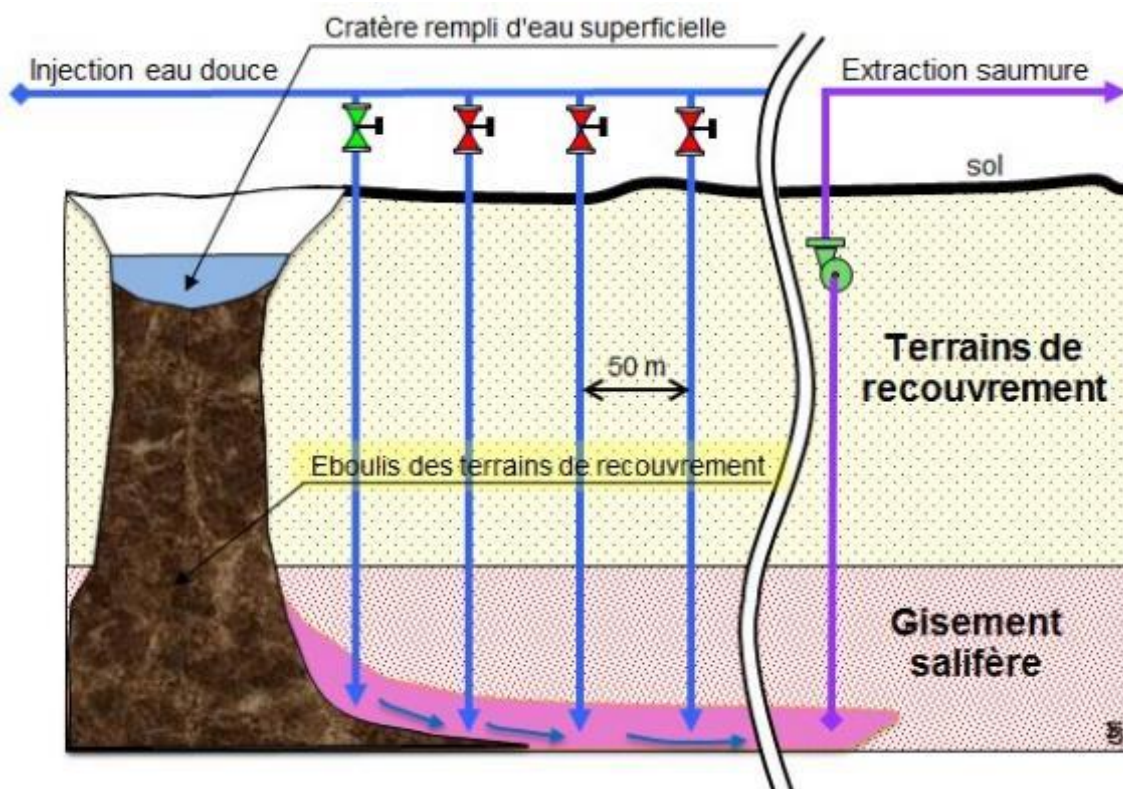


Figure 13 : Sondages avec effondrement avançant – premier effondrement

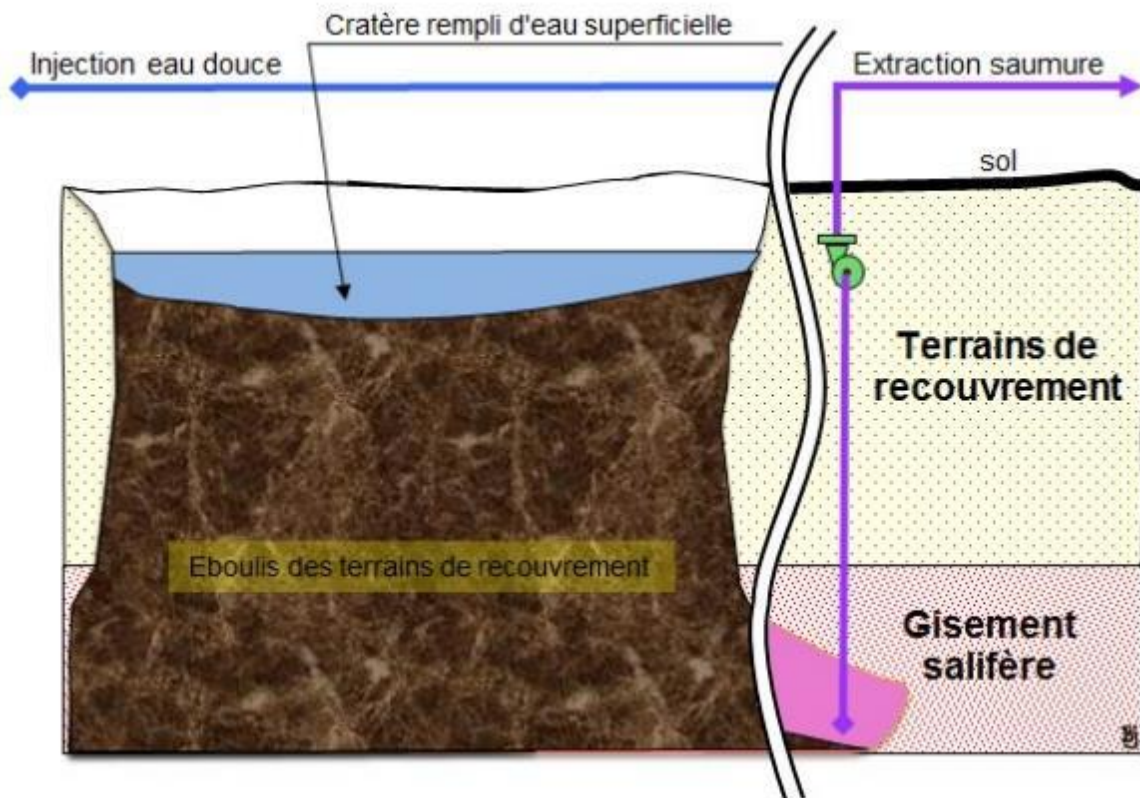


Figure 14 : Sondages avec effondrement avançant – fin d'exploitation

2.5. Exploitation par dissolution en lignes stables

Cette méthode d'exploitation par dissolution a pour objet de créer des lignes de puits parallèles entre elles et exploitées de manière isolée. Les dimensions de chaque ligne sont calculées pour assurer la stabilité de celle-ci. De même, l'influence mécanique des lignes entre elles est prise en compte et donne lieu au maintien du pilier de sel entre chaque ligne. La création des lignes peut être réalisée suivant deux variantes.

2.5.1. Connexion des sondages par coalescence

Dans cette variante, les sondages, peu distants les uns des autres, sont connectés par coalescence (voir Figure 15).

La composante verticale de la dissolution du sel est maîtrisée par la mise en place au toit de la cavité d'un matelas de fluide inerte de densité inférieure à celle de la saumure (air, azote, fioul, huile).

Lorsque la liaison est établie entre tous les puits composant la ligne, il se constitue ainsi une galerie à la base du gisement exploité. L'eau est injectée à une extrémité de la piste, se concentre en sel par circulation dans la galerie et est extraite, fortement salée, à l'autre extrémité. La galerie qui est constituée de l'ensemble des cavités individuelles, a la forme d'un tunnel. Les circulations d'eau de dissolution et de saumure plus ou moins saturée sont régulièrement inversées pour obtenir la forme et les dimensions géométriques de galerie souhaitées.

Une poutre de sel massif est maintenue au toit du gisement exploité, afin de garantir l'étanchéité de la galerie pleine de saumure vis-à-vis des terrains sus-jacents marneux, et participer à la stabilité de la galerie.

Cette méthode permet un bon contrôle du lessivage, mais nécessite un grand nombre de sondages qui ne sont utilisés que le temps de développement de la cavité. Par ailleurs, le développement de la cavité est beaucoup plus rapide du côté du puits injecteur que du côté du puits extracteur.

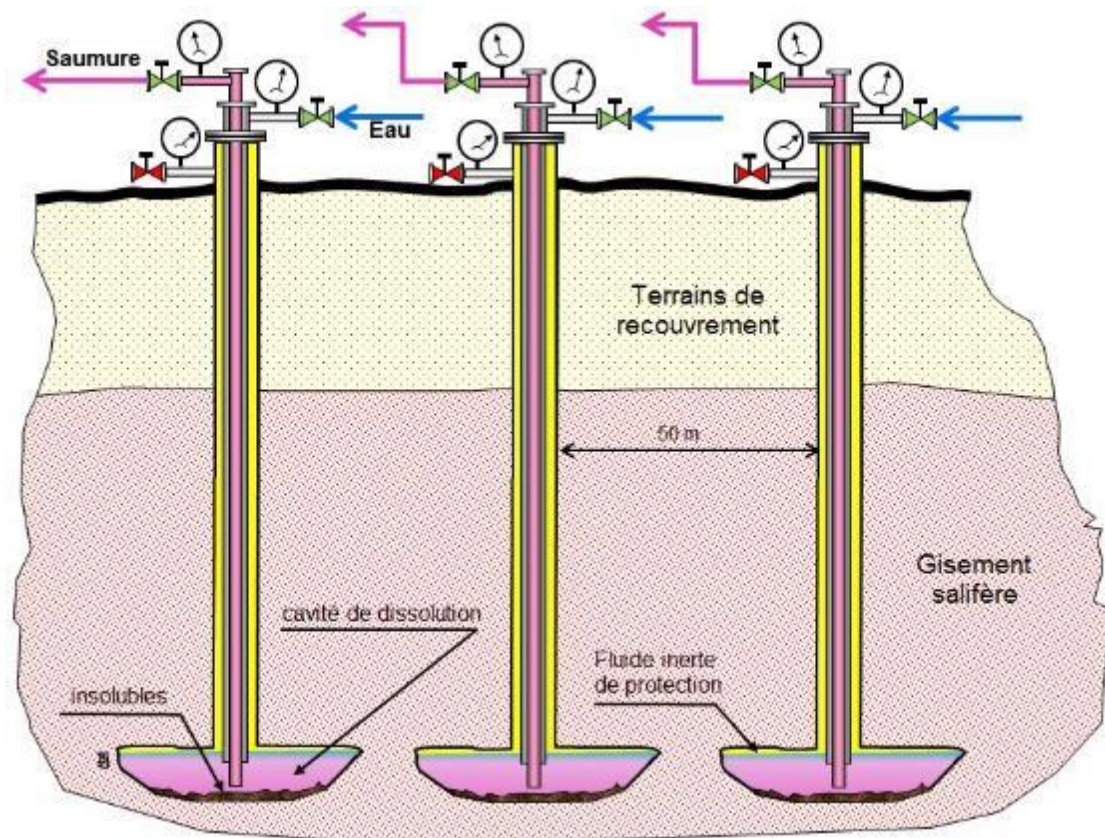


Figure 15 : Sondages en lignes stables – connexion par coalescence

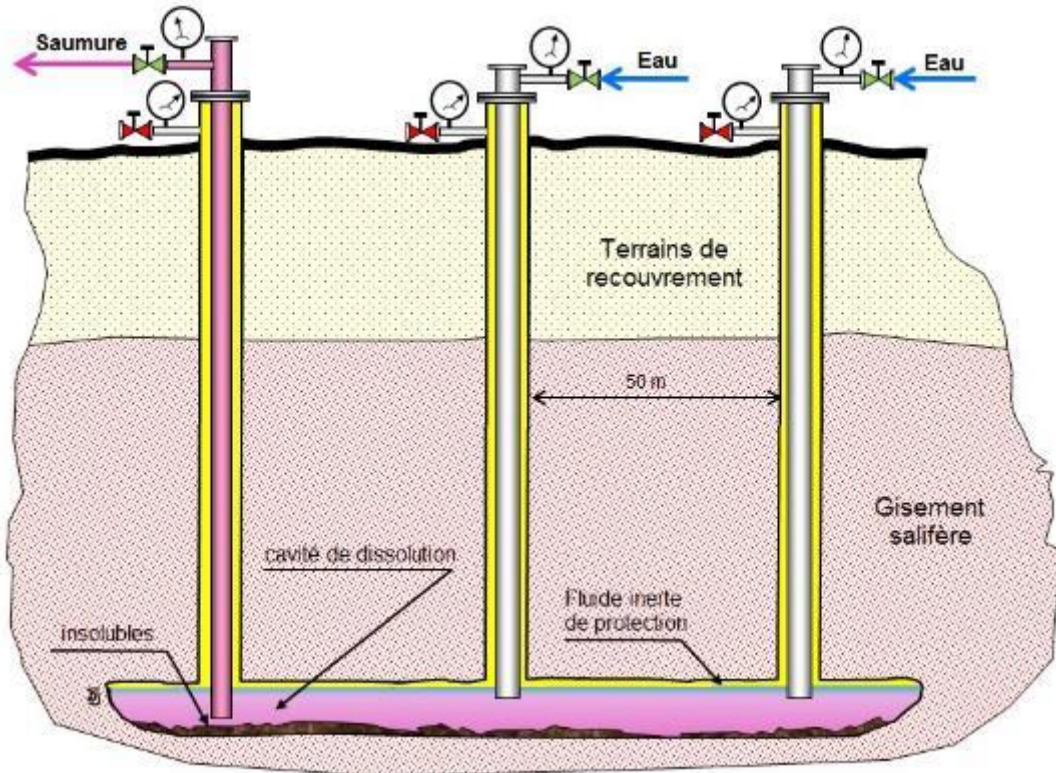


Figure 16 : Sondages en lignes stables – développement de la cavité

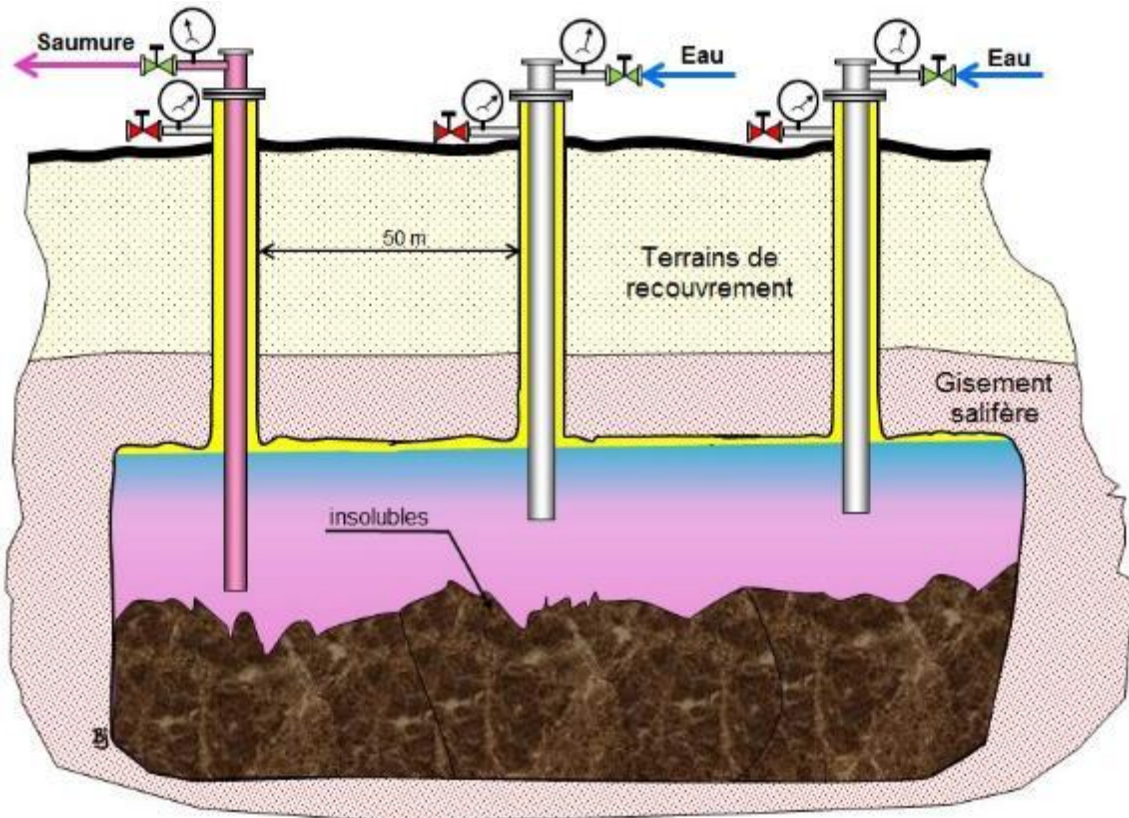


Figure 17 : Sondages en lignes stables – développement maximal

2.5.2. Connexion des sondages par forage horizontal (ou dévié)

Les techniques de forages ont beaucoup évolué ces dernières années sous la poussée des compagnies pétrolières. Les forages déviés et fortement déviés qui étaient marginaux et extrêmement onéreux il y a 30 ans deviennent accessibles aux activités minières.

La méthode consiste à implanter des puits verticaux à l'aplomb d'un drain horizontal au mur du gisement de sel à exploiter et obtenu par forage dévié. Après développement de chaque cavité et/ou du drain jusqu'à ce que la liaison entre cavités et drain soit obtenue, l'exploitation industrielle est réalisée en injectant l'eau par les sondages verticaux et en récupérant la saumure par le sondage dévié, la dissolution étant contrôlée à l'aide d'un matelas de fluide inerte au toit de chaque cavité.

Le forage horizontal permet de lessiver une cavité se rapprochant un peu de la forme générale issue de la méthode des cavités coalescentes, mais avec moins de puits. Par ailleurs, le forage horizontal garantit un développement plus homogène de la cavité, ce qui permet d'arrêter la dissolution à un stade de développement garantissant la stabilité à long terme de la cavité, tout en ayant exploité le massif salifère de façon optimale.

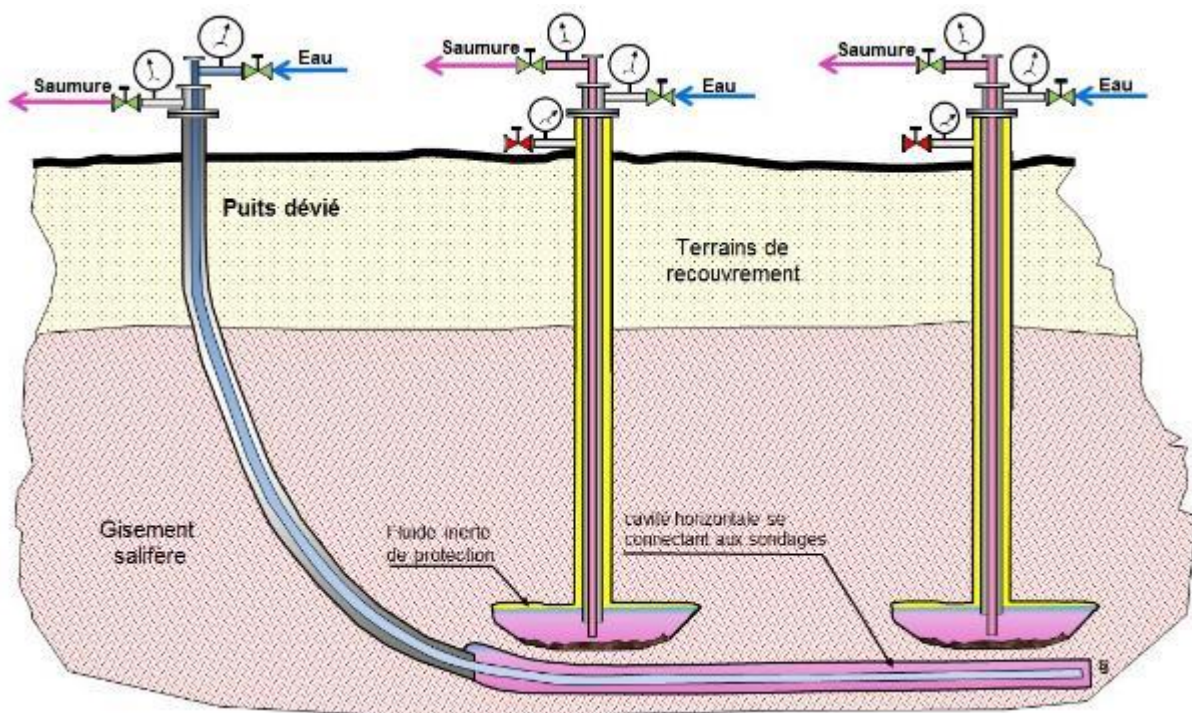


Figure 18 : *Forage horizontal – phase de connexion*

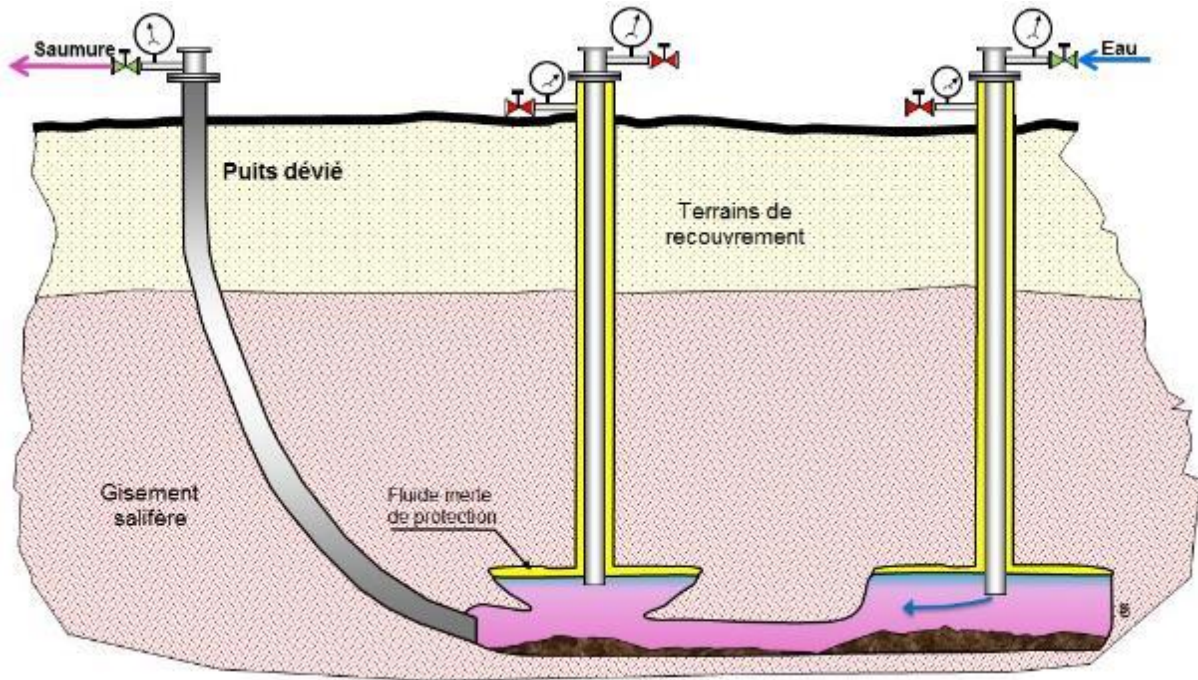


Figure 19 : Forage horizontal – développement horizontal

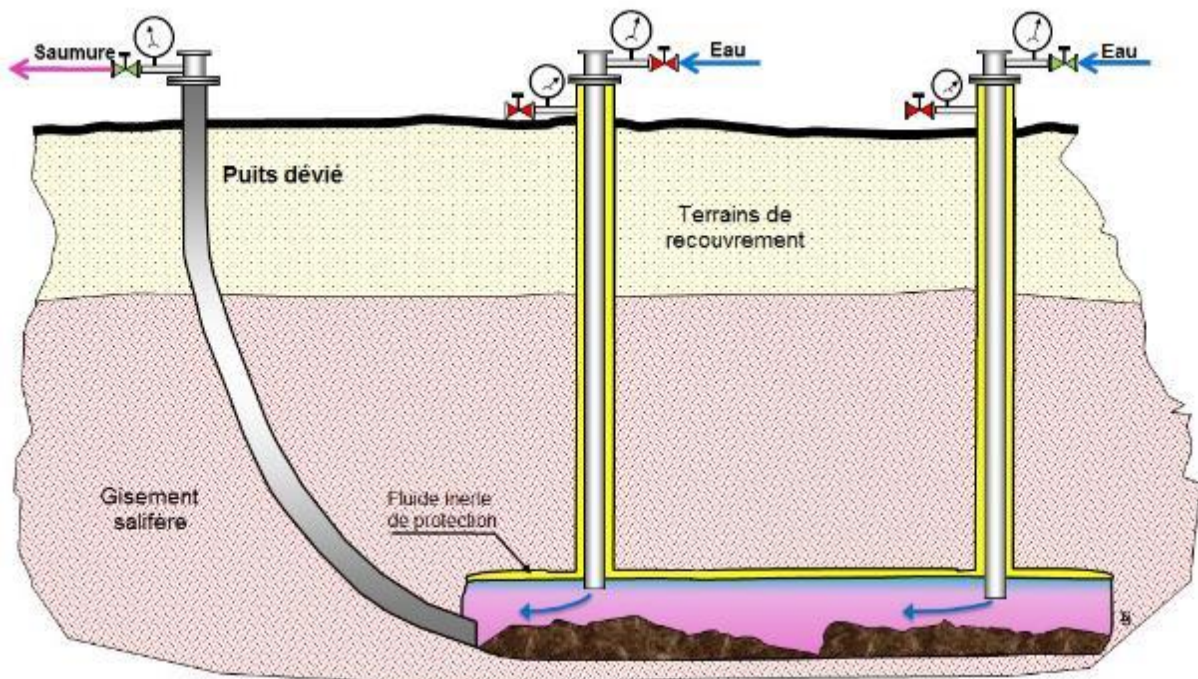


Figure 20 : Forage horizontal – développement horizontal maximum

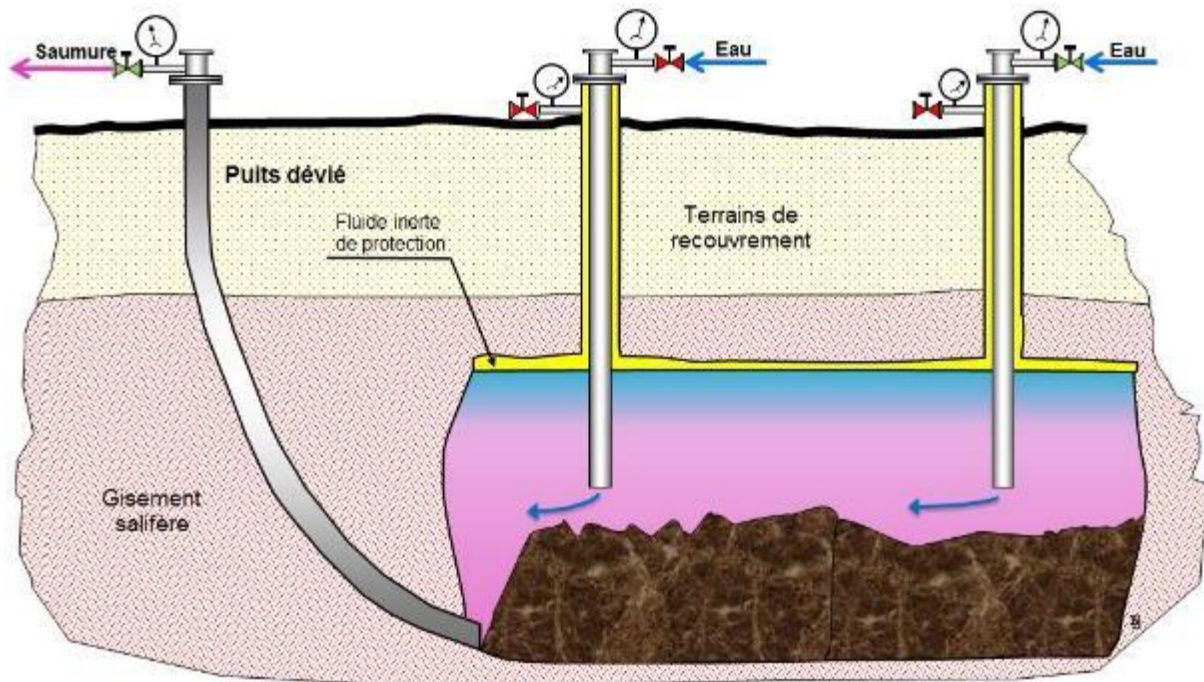


Figure 21 : Forage horizontal – développement vertical maximum

2.6.Méthode retenue par CSME

CSME a choisi d'utiliser la méthode d'exploitation par cavités isolées stables. Dans le contexte spécifique du projet, seul ce choix permet de concilier les exigences en matière d'exploitation et les exigences en matière de protection des différents intérêts avec l'objectif de mise en valeur optimale du gisement imposée par le Code Minier.

La demande d'autorisation d'exploitation des sondages S-221 et S-321 en cavités isolées stables présentée par CSME a été conçue pour concilier les impératifs publics et privés résultant des lois, règlements, usages et nécessités des différentes activités présentes dans le secteur retenu pour implanter les sondage S-221 et S-321.

Ces différentes contraintes sont caractérisées par autant d'objectifs auxquels le projet apporte la réponse la mieux adaptée.

Le projet a pour objectif d'assurer l'alimentation de la saline de Dax en saumure saturée pour garantir la pérennité de son activité au delà de 2023, dans des conditions économiques compatibles avec le marché des produits élaborés à partir du sel cristallisé ;

La mise en exploitation de ces nouveaux sondages en cavité isolée stable permettra d'assurer une alimentation autonome et fiable de la saline pour une durée d'une quarantaine d'années.

Avec la méthode retenue, CSME veillera à :

- assurer la sécurité des personnes et des biens pendant l'exploitation par la création et la gestion de périmètres de sécurité,
- préserver l'intérêt paysager par le réaménagement du site,
- conserver les intérêts économiques par la réutilisation des sondages et infrastructures existants,
- prévenir la contamination de la ressource en eau souterraine par la saumure en évitant les remontées de saumure pendant et après l'exploitation.

3. PRESENTATION DE LA METHODE D'EXPLOITATION ENVISAGEE

3.1.Principe de la méthode d'exploitation

La méthode d'exploitation projetée est adaptée au contexte géologique caractérisé par un gisement salifère exploitable peu profond, très épais et globalement homogène. Cette méthode intègre la nécessaire protection des nappes aquifères et prend en compte l'existence de travaux d'exploitations antérieurs.

Elle est conçue dans le respect des intérêts protégés du code minier et le maintien des terrains de couverture, elle intègre les récentes dispositions réglementaires prévues dans le décret n°2016-1303 du 4 octobre 2016 et son arrêté d'application du 14 octobre 2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substances minières.

La prise en compte de ces divers éléments passe par :

- une évaluation des différentes méthodes d'exploitation dont la détermination des réserves de saumure disponible,
- une méthode de dissolution,
- une vérification par des modélisations,
- une implantation et une architecture du système de dissolution compatibles avec les installations déjà existantes sur ces concessions et les impératifs liés à la méthode de dissolution,
- une surveillance pertinente assurant la maîtrise de l'ensemble par rapport aux objectifs ci-dessus.

3.2.Etude géomécanique de dimensionnement

L'application des différentes méthodes décrites dans le chapitre précédent à la zone des travaux, délimitée par son périmètre de protection, avec son contexte géologique, et compte tenu de la volonté de CSME de maintenir les terrains de couverture, conduit à des résultats en matière de réserves de saumure tels que, seule, la méthode d'exploitation à partir de sondages isolés est la juste réponse à l'ensemble des objectifs précités.

Afin de déterminer un dimensionnement optimal des cavités vis à vis de la stabilité des terrains, CSME a fait réaliser une étude géomécanique par l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris pour définir la faisabilité d'une exploitation par cavités isolées. Ce dimensionnement devra garantir la stabilité des piliers séparant les cavités, une subsidence limitée et un bon comportement des terrains situés au-dessus du gisement de sel. Les paramètres à optimiser ont été les suivants :

- le diamètre des cavités ;
- la largeur du pilier entre deux cavités voisines ;
- la garde au toit du gisement.

3.2.1. Etude géomécanique réalisée

Les développements ci-après sont tirés du document intitulé "Développement de deux nouvelles cavités d'exploitation par dissolution dans le champ de Saint Pandelon" réalisé par le Centre de Géosciences de l'Ecole Nationale supérieure des Mines de Paris (Faouzi HADJ-HASSEN -

Octobre 2020 - Référence R201006FHAD). Cette étude est jointe en annexe.

L'étude a consisté à vérifier que le dimensionnement prédéfini des cavités en garantissait les conditions de stabilité :

- Diamètre de 80 mètres ;
- Toit sphérique situé entre 120 et 160 mètres de profondeur et de rayon 40 mètres ;
- Le maintien d'une poutre de sel au toit de 20 mètres d'épaisseur ;
- Le fond de la cavité à 320 mètres de profondeur.

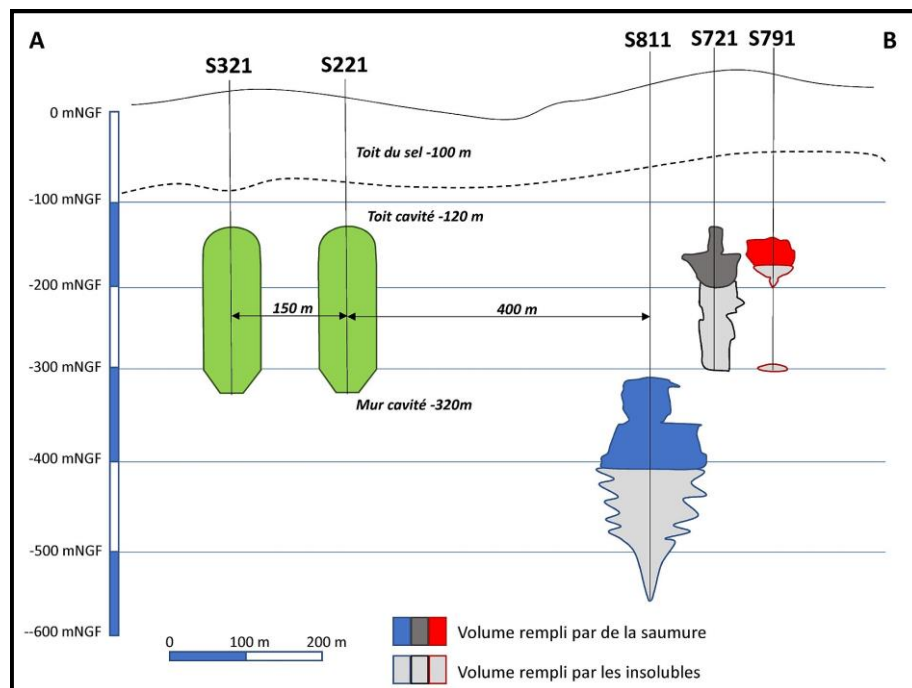
L'étude a montré que la subsidence liée à l'exploitation d'une telle cavité était de l'ordre de 17 millimètres au bout de 100 ans, ce qui n'est pas perceptible à l'échelle de l'exploitation.

L'étude a également conclu que la largeur du pilier de sel séparant les deux cavités doit être de 50 mètres et que l'éloignement des cavités existantes doit être de l'ordre de 100 mètres.

3.2.2. Dimensionnement retenu

Sur la base des recommandations du Centre de Géosciences, CSME a retenu le dimensionnement suivant pour les cavités S-221 et S-321 :

- Diamètre de 80 mètres ;
- Toit hémisphérique situé entre 120 et 160 mètres de profondeur et de rayon 40 mètres ;
- Le maintien d'une poutre de sel au toit de 20 mètres d'épaisseur ;
- Le fond de la cavité à 320 mètres de profondeur ;
- Pilier de 70 mètres de largeur entre les deux cavités, soit 150 mètres entre les axes des puits ;
- Pilier de 110 mètres entre la cavité S-221 et les galeries de l'ancienne mine (en outre situées au dessus de la cavité), soit 150 mètres entre la mine et l'axe du puits) ;
- Pilier de 300 mètres avec les cavités existantes, soit 400 mètres entre les axes des puits.



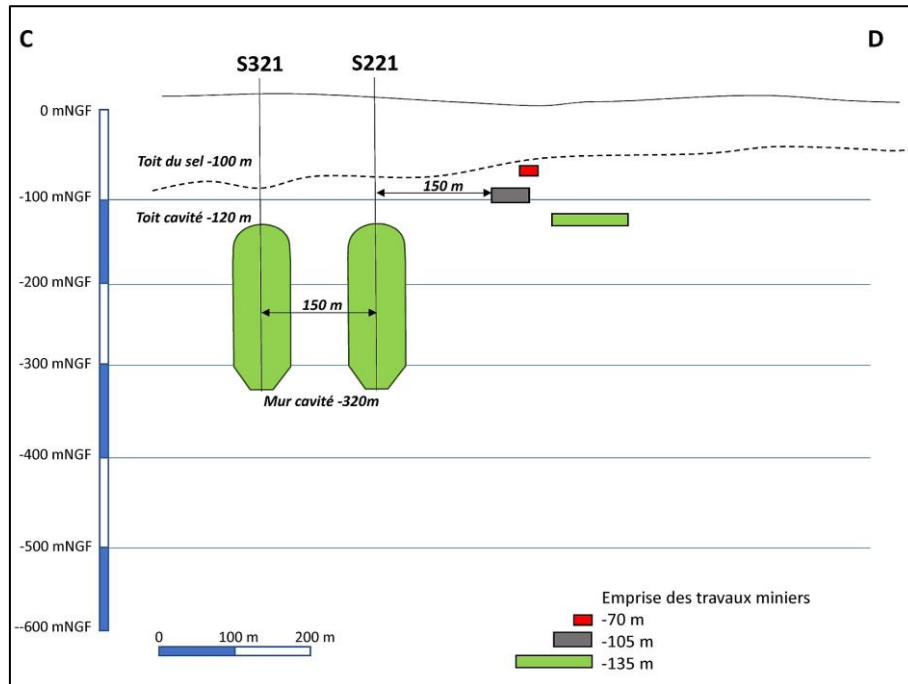


Figure 22 : Coupes verticales présentant l'emplacement des deux nouvelles cavités S-221 et S-321 par rapport aux cinq cavités existantes (en haut) et par rapport à l'exploitation ancienne (en bas) – d'après rapport du Centre de Géosciences

3.3. La formation du sondage

Une fois le sondage foré, cimenté et équipé, il sera mis en exploitation mais la saumure produite ne sera pas saturée dans les premiers temps.

En effet, comme la surface de sel en contact avec l'eau d'injection sera très faible il faudra alimenter à un débit très faible, pour avoir une saumure saturée, ce qui ne présente pas d'intérêt. De plus, comme les insolubles présents dans la formation ont, une fois délités par la dissolution, un coefficient de foisonnement de l'ordre de 2, et qu'il n'y aura pas encore de chambre de décantation, le plan des insolubles remontera rapidement. Il obstruera le pied de la colonne centrale de telle sorte qu'il faudra remonter les colonnes avant d'avoir une chambre de diamètre significatif. En continuant de cette façon, le toit de sel serait atteint sans pratiquement avoir extrait de sel.

Il sera donc nécessaire de procéder à une opération dite de formation, qui consistera à créer, à la base du sondage, une chambre de hauteur réduite pour ne pas perdre de sel, mais de diamètre assez important pour disposer d'un volume suffisant pour stocker les insolubles décantés.

Un fluide inerte non miscible à l'eau et d'une densité inférieure à celle de l'eau est utilisé pour contrôler le développement de la cavité vers le haut. En effet, ce fluide injecté dans la cavité empêche la dissolution du sel vers le haut et permet de contrôler la remontée du toit de la cavité. Le fluide inerte peut être de l'air, un autre gaz inerte ou un liquide non miscible à l'eau, ne dissolvant pas le sel et d'une densité inférieure à celle de l'eau. Dans la suite du document, il sera considéré que le fluide de garde est de l'air, la substitution par un autre gaz restant possible mais n'induisant aucune modification substantielle à la méthode d'exploitation.

Dans cette première phase, la position du plan d'air permet le développement latéral de la cavité.

3.4. Le fonctionnement du sondage

L'air introduit par l'espace annulaire extérieur créée, au niveau de la partie supérieure de la tranche en exploitation, un «matelas» inerte ne dissolvant pas le sel (voir schéma annexe 10).

Les mesures qui ont pu être effectuées ont montré que, dans une formation homogène, un matelas de quelques centimètres d'épaisseur était suffisant pour protéger le toit. L'eau injectée dans l'espace annulaire intermédiaire pénètre dans la cavité en exploitation par le pied de cette colonne intermédiaire.

Dans la couche (tranche d'exploitation) située entre le bas de la colonne intermédiaire et le toit de la cavité, l'eau d'injection se mélange avec la saumure de la cavité et la concentration y est relativement homogène. Aussi, la vitesse de dissolution est la même de bas en haut de la tranche, et de ce fait la cavité se développe bien latéralement. Au contact du sel, la saumure se sature et sa densité augmente, elle descend alors au fond de la cavité le long des parois. Comme le tube central de reprise de saumure plonge le plus bas possible dans la cavité, la saturation de la saumure se termine dans la cavité constituée par les tranches déjà exploitées.

Il est bien évident que le développement cylindrique de la cavité ne peut se produire que dans un gisement parfaitement homogène et isotrope, ce qui est rarement le cas en pratique.

Les anomalies de dissolution possibles pouvant entraîner une hétérogénéité de la cavité sont :

- La présence de couches ou de blocs intercalaires insolubles, qui avant de se déliter, se comportent comme un matelas d'air parasite, et provoque des encoissements ;
- L'existence de zones de dissolution préférentielles liées soit par la présence de sels plus solubles, KCL par exemple, soit par du sel de seconde cristallisation, en général moins compact, donc plus facilement soluble. Dans ce cas, le toit reste protégé par l'air et demeure horizontal, mais la cavité prend une forme dissymétrique en se développant plus rapidement vers la zone de meilleure dissolution.

Lorsque, soit par le calcul, soit par une mesure de la géométrie de la cavité, il est constaté qu'il a été dissous dans la tranche la quantité du sel qui était fixée, la pression d'air est diminuée pour remonter le niveau du matelas d'air, la colonne d'injection est remontée et l'exploitation de la tranche supérieure est reprise, et ainsi de suite par étapes successives jusqu'à la cote finale du toit de la cavité. Périodiquement, le casing cimenté est coupé et le tronçon libéré tombe dans la cavité.

3.5. Moyens de contrôle

Des différents moyens de contrôles des sondages, il faut distinguer la surveillance en continu par des paramètres clés (télé-surveillance) et les contrôles périodiques qui viennent compléter, ou confirmer, les résultats des mesures précédentes.

3.5.1. La télé-surveillance

Le champ des sondages est éloigné d'environ 4 Km de l'usine qui fonctionne à feu continu (24 heures sur 24).

Les principaux paramètres clés, concernant le fonctionnement des sondages, sont envoyés, en permanence, par télétransmission sur l'écran de contrôle de la raffinerie.

Le personnel de la raffinerie peut interroger à tout moment, avec son écran, la situation des sondages. Ces données sont rafraîchies toutes les heures, mais en cas d'anomalie une alarme s'affiche instantanément sur l'écran et le conducteur peut réagir en fonction de la situation.

En cas de nécessité, un responsable peut se rendre sur place très rapidement pour prendre les mesures de protection nécessaires.

3.5.2. Détection des fuites de saumure

Un suivi des débits de saumure est mesuré à l'entrée et à la sortie des collectes et du saumoduc. Ces informations sont transmises au poste de supervision de la salle de contrôle de la raffinerie en temps réel.

Le système de contrôle des quantités de saumure transitant dans chaque tronçon permet d'alerter l'opérateur dès que la différence de débit entre l'entrée et la sortie du tronçon dépasse 1 m³/h pendant 15 minutes. Si cette différence de débit se confirme pendant 1 heure, le système de transport est arrêté, le responsable de production est alerté et une visite de contrôle est effectuée.

3.5.3. Autres paramètres suivis

En plus de la pression de fluide inerte, un suivi des débits d'eau douce injectée et de saumure extraite est effectué toutes les heures et donne lieu à un rapport journalier.

Des analyses de la saumure, en provenance des sondages, sont effectuées tous les mois par le laboratoire. Des mesures de densité de la saumure peuvent être réalisées à la demande en fonction des nécessités de la production.

3.5.4. Contrôles périodiques

En plus de la surveillance en continu effectuée sur les sondages par télétransmission, ou des visites journalières (jours ouvrés) aux sondages réalisées par le responsable de la production, des contrôles approfondis sont effectués à intervalles réguliers en arrêtant le sondage.

La profondeur du plan d'air est calculée par mesure de la pression suivant le protocole suivant :

1. Le sondage est arrêté au moins une fois par mois.
2. La vanne d'injection d'eau est fermée. Le matelas d'air se détend légèrement et s'équilibre avec la saumure, expulsant une faible quantité de saumure qui est canalisée. Quand la saumure s'arrête de couler, la pression du manomètre d'inerte est lue.

La profondeur du matelas d'air est alors calculée.

Cette méthode est simple. Elle permet de vérifier que la profondeur du matelas d'inerte reste constante.

Si une baisse de la pression d'air est constatée, la pression initiale est rétablie par injection d'air au moyen du compresseur.

La géométrie de la cavité est mesurée par ultrasons. C'est la seule mesure qui permet d'avoir une idée précise de la forme réelle de la cavité. Le principe de la mesure est celui du SONAR : une onde ultrason est émise par la sonde et le temps que met l'onde pour se réfléchir sur la paroi et revenir à l'émetteur est mesuré. Connaissant la vitesse du son dans la saumure, la position de

la paroi en distance, site et azimuth en est déduite.

Classiquement les coupes horizontales sont réalisées tous les 2 mètres, et les coupes verticales tous les 15 degrés. Ces mesures sont effectuées par des sociétés spécialisées.

Cette opération, coûteuse et longue, nécessite :

- le dégonflage complet du matelas d'inerte,
- le remplissage de la cavité à mesurer en saumure,
- le démontage de la colonne centrale et d'une partie de la colonne intermédiaire.

Elle est effectuée tous les deux ans, en fonction de l'évolution de l'exploitation.

Un réseau de points de repères est disposé en surface (bornes de nivellement) et leur altitude est mesurée avec précision périodiquement. Ces mesures de nivellement permettent de mesurer annuellement l'amplitude des éventuels mouvements de terrain s'il y en a ou de vérifier l'absence de mouvements.

3.5.5. Fluides injectés

Eau d'injection

L'exploitation nécessite le pompage annuel de 110 à 200 000 m³ d'eau maximum dans le lac de Saint Pandelon, avec un débit moyen de 30 m³/h. Ce lac, résultant de l'accumulation d'eau dans l'effondrement de l'ancienne mine de sel, est alimenté essentiellement par le ruissellement des eaux superficielles et par le ruisseau du Hourn.

Cette eau est pompée et injectée dans le réseau d'eau industrielle qui alimente les sondages, La pression fournie par la pompe est comprise entre 12 et 15 bars.

Le projet n'apporte pas de changement par rapport à la situation actuelle, quant aux prélèvements d'eau et aux équipements en place. Il s'inscrit dans le cadre strict de la concession de sel gemme de SAINT PANDELON, conformément aux prescriptions du décret du 2006-649 relatif à l'ouverture des travaux miniers et à la police des mines.

La production de saumure pour alimenter la raffinerie reste inchangée, donc le débit et la quantité prélevée dans le lac restent les mêmes.

L'eau d'injection circule avec un débit moyen de l'ordre de 30m³/h (*maxi = 40m³/h - mini = 15m³/h*). La température de cette eau d'injection est de 15-16°C en période hivernale et peut atteindre un maximum de 30°C en période estivale.

Re-injection de saumure non saturée

Les saumures non saturées issues du développement de la cavité S-221 seront ré-injectées dans le sondage S-811 pour atteindre la saturation complète de la saumure. Ce même processus sera mis en œuvre lors du développement de la cavité S-321 dont la saumure non saturée sera réinjectée dans la cavité S-221.

Gaz comprimé inerte : matelas d'air

Le matelas d'air est mis en place et maintenu dans la cavité au moyen d'un compresseur mobile insonorisé qui pourra être déplacé sur les puits en exploitation en fonction des besoins.

3.6. Description de la méthode de dissolution

3.6.1. La dissolution dans le nouveau sondage isolé

Nous devons développer la cavité avec la méthode du sondage isolé, c'est-à-dire qu'on ajustera

le niveau de la garde d'air et on continuera la dissolution pour que la cavité s'élargisse jusqu'à 80 mètres de diamètre. Une fois cette étape atteinte, et avant de poursuivre le développement de la cavité, un contrôle SONAR sera réalisé pour déterminer les dimensions de cette dernière. En fonction des cas, on continuera le développement.

Durant l'étape de développement de la cavité, l'eau est injectée par le tube central situé au fond de la cavité et la saumure extraite par l'espace annulaire situé plus haut, pour éviter que les insolubles qui tombent au fond de la cavité ne soient aspirés et bouchent les tubes. Ce fonctionnement est appelé mode direct ou injection directe.

Une fois que la cavité est développée, les tubes sont remontés et l'eau douce est injectée par l'espace annulaire, la saumure étant extraite par le tube central. Ce fonctionnement est appelé mode indirect ou injection indirecte.

Si l'exploitation ne permet pas d'extraire une saumure saturée, la saumure non saturée produite sera ré-injectée dans les cavités voisines.

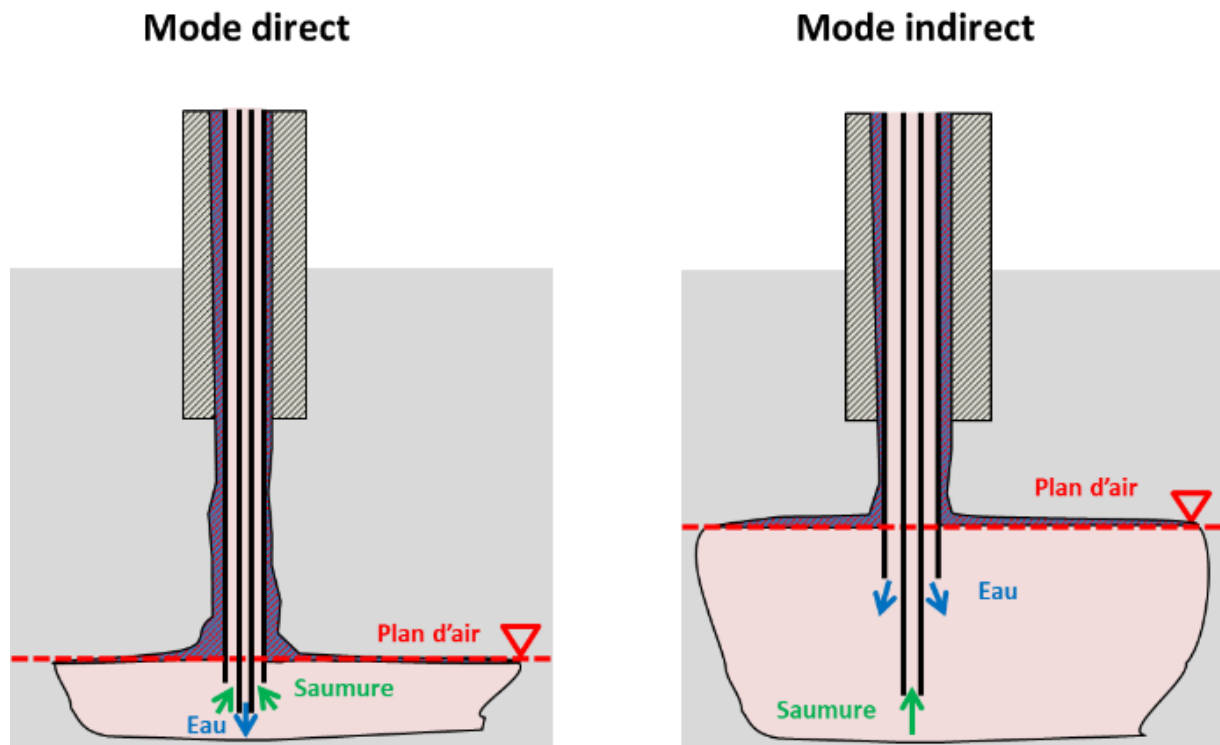


Figure 23 : Nouveau sondage

3.6.2. Contrôle de la dissolution

La dissolution et le développement de la cavité peuvent être prévus par la modélisation numérique. Un plan de dissolution sera donc établi pour chaque tranche d'exploitation, en fonction du retour d'expérience des tranches antérieures et de la mesure SONAR précédente.

La maîtrise du plan de dissolution sera garantie par la mise en place et le suivi des contrôles définis ci-dessous.

Les mesures par SONAR permettront de contrôler la réalité de la dissolution par rapport à la simulation, afin de réajuster si nécessaire les consignes et les hypothèses de calcul.

3.6.2.1. Les mesures de débits

Des équipements de mesure en continu des débits d'injection et d'extraction seront installés sur chaque sondage afin d'avoir en continu le bilan entre quantité injectée et quantité soutirée. Les mesures de débit seront raccordées au système de supervision qui permettra d'effectuer une régulation individualisée du sondage et d'enregistrer ces données.

3.6.2.2. Les mesures de pression

Des capteurs de pression en continu équiperont la tête de puits sur chacun des flux du sondage et du processus de dissolution mis en œuvre (1, 2 ou 3 flux : *eau d'injection, extraction de saumure, air comprimé*) afin de suivre le bon fonctionnement de ces opérations.

Ces relevés de pression permettront par calcul de déterminer le niveau de l'interface du matelas d'air.

Les mesures de pression seront réalisées manuellement une fois par mois sondage à l'arrêt, lors de l'arrêt de la raffinerie, et enregistrées dans une base de données. Ces mesures sont faites avec un capteur de précision.

3.6.2.3. Les mesures de densité

La densité des liquides sera contrôlée quotidiennement par prélèvement pour l'eau d'injection et d'extraction du sondage isolé. Ces relevés sont nécessaires pour modéliser l'évolution de la dissolution dans la cavité.

3.6.2.4. Les mesures par SONAR

Les mesures de la cavité par sonde SONAR permettront de déterminer la forme et les dimensions de la cavité, avec la vérification du diamètre maximal et de la garde au toit.

La mesure SONAR aide à la détermination des débits d'injection adaptés pour l'optimisation du développement de la cavité.

La géométrie des cavités en dissolution sera mesurée par SONAR pendant l'exploitation une fois tous les 2 ans. Pendant les phases précoces de développement de la cavité, cette fréquence pourra être augmentée en tant que de besoin.

3.6.2.5. Relevés de nivellement de surface

Le suivi de l'altitude de certains points particuliers en surface permet de mesurer la subsidence des terrains. Le réseau des points de repère est constitué de repères disposées selon un maillage couvrant l'ensemble du périmètre d'exploitation. La carte ci-après (*Voir Figure 24*) montre un plan du réseau de nivellement envisagé. Ce relevé topographique sera réalisé au moins une fois par an.

Les bornes de nivellement qui n'existent pas encore à l'heure actuelle seront installées préalablement au début de l'exploitation du sondage S-221. 36 bornes supplémentaires complètent les 35 bornes existantes.

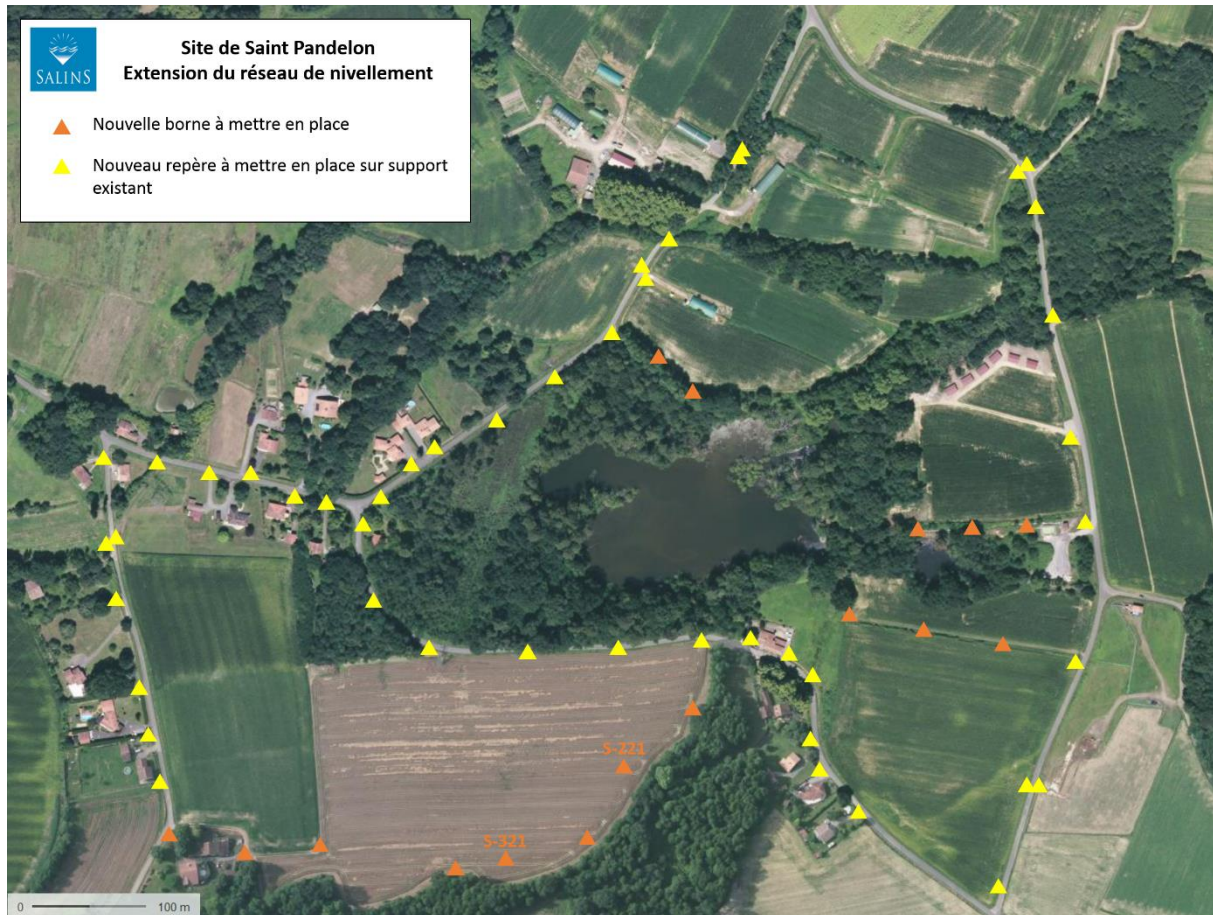


Figure 24 : Plan du nouveau réseau de nivellement de la zone

3.6.2.6. Surveillance des eaux souterraines et des eaux de surface

Dans le secteur des sondages de SAINT PANDELON, les terrains sont peu perméables. Les masses d'eau présentes sont les ruisseaux du réseau hydrographique de surface et l'aquifère des alluvions récentes.

De façon à mesurer l'incidence éventuelle de l'exploitation passée et actuelle des sondages de SAINT PANDELON sur le régime et la qualité de ces eaux (fuites d'eau salée), un réseau de points de mesures doit être mis en place et des prélèvements réguliers effectués et analysés.

Il est ainsi proposé de référencer 12 points de prélèvements des eaux de surface (A à L) facilement accessibles et de forer 6 piézomètres (SP1 à SP6) de 6 à 18 mètres de profondeur pour effectuer des prélèvements des eaux souterraines.

L'emplacement des 6 piézomètres (terrains appartenant à CSME) et des 12 points de prélèvement est présenté sur le plan figure 25.

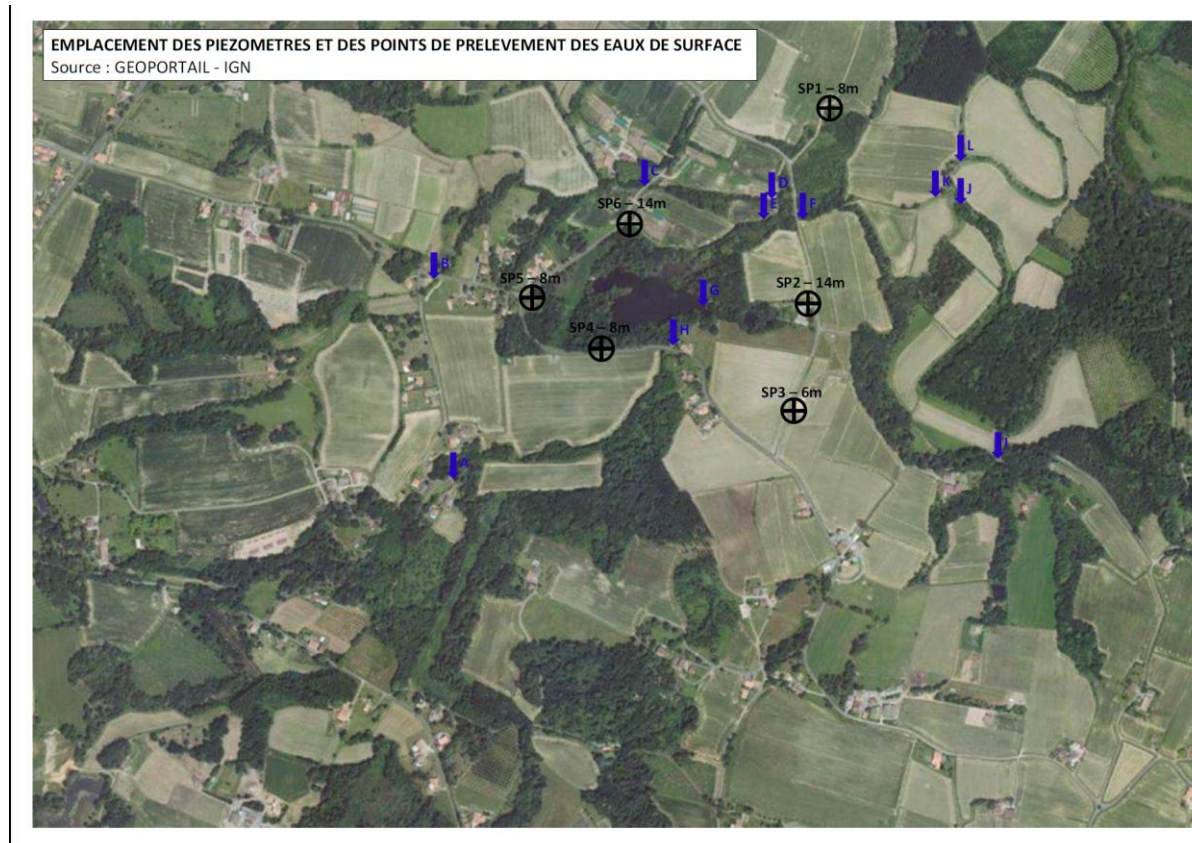


Figure 25 : Plan des emplacements des piézomètres et des prélèvements des eaux de surfaces

3.7. Le suivi de l'exploitation

3.7.1. Les consignes d'exploitation

Les consignes d'exploitation définiront pour chaque mesure des plages de fonctionnement et des seuils d'alerte :

- Plage normale, mesure caractérisant un fonctionnement normal, conforme aux prévisions.
- Plage alarme, mesure dépassant le premier seuil : à suivre, poursuivre exploitation mais trouver et noter la cause sur le rapport.
- Plage défaut, mesure dépassant le second seuil : défaut majeur sur un sondage ou sur un secteur de dissolution, suivant le cas arrêt automatique du sondage ou du secteur.
- Pour chaque plage, de chaque mesure, une procédure prescrira les actions nécessaires et adaptées à la situation.

Les procédures pourront être modifiées à tout moment pour pallier aux aléas d'exploitation. Les consignes seront systématiquement revues au moins une fois par an après la campagne SONAR.

3.7.2. Suivi journalier

Un suivi journalier sera réalisé avec les points de surveillance suivants :

- Pressions d'eau d'injection, pression d'air,
- Débit départ et arrivée de la saumure au bac de transfert, (arrêt de la production si l'écart de débit entrée/sortie est supérieur à 1 m³/h)
- Débit eau injectée et débit de saumure ;
- Volume eau injectée et volume de saumure
- Densité de saumure (jours ouvrés).

3.7.3. Suivi mensuel

Un suivi mensuel sera réalisé.

Dans le suivi mensuel seront consignées les valeurs moyennes, minimum et maximum des paramètres clef de contrôle de la dissolution, à savoir :

- Quantité d'eau injectée,
- Quantité de saumure extraite,
- Pressions d'eau d'injection et d'air,
- Densités de la saumure extraite,
- Calcul du niveau de l'interface Eau/Saumure,
- Listes des défauts et événements avec les commentaires expliquant les causes et actions engagées.

3.7.4. Rapport mensuel

Un rapport mensuel sera établi.

Le rapport cumulera les données journalières de production pour calculer par sondage :

- La quantité de sel extraite,
- Le volume dissous, avec une estimation du diamètre atteint pour chaque cavité,
- Mesure du niveau de l'interface air saumure,

Le rapport comprendra une partie générale où l'on retrouvera la liste commentée des événements majeurs mensuels.

3.7.5. Bilan annuel

Un rapport annuel d'exploitation est adressé au plus tard le 1^{er} mars de chaque année à la Préfecture.

Il comprend notamment :

- les productions réalisées ;
- la liste des puits ;
- le déroulement et les résultats du programme de surveillance et de maintenance ;
- un bilan des exercices de mise en oeuvre du plan de surveillance et d'intervention qui ont été réalisés et des enseignements qui en ont été tirés ;
- les accidents et incidents constatés en précisant leurs caractéristiques, et notamment ceux qui ont entraîné une fuite, ainsi que les mesures prises pour empêcher leur renouvellement ;
- les travaux notables et les réparations réalisés sur le saumoduc ou sur le réseau de collectes ;
- les travaux de tiers effectués à proximité du saumoduc ou du réseau de collecte ;
- les principaux travaux réalisés durant l'année écoulée et les principaux travaux prévus durant l'année à venir sur les installations de surface, ouvrages et collectes.

ANNEXE : ETUDE DE STABILITE