



KEM ONE

EXTRACTION DE SAUMURE PAR PUIITS ET DOUBLETS DE PUIITS
CHAMP DE VAUVERT - CONCESSION DE PARRAPON

AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE UNIQUE
AU TITRE DES TRAVAUX MINIERS

PJ. n°83 du CERFA 15964-03
Arrêt des travaux

Commune de Vauvert (Gard)

Rn23.195
Mai 2024



Contacts Mica Environnement :
Siège : Route de Saint-Pons – Ecoparc Phoros – 34600 BEDARIEUX - 04 67 23 33 66 – siege.herault@mica-environnement.com
Agence Lyon : 582, allée de la Sauvegarde – 69009 LYON - 04 78 64 84 75 – agence.lyon@mica-environnement.com
Nouvelle-Calédonie : Bâtiment Cap Horn, Bureau 14, 2A rue Lapérouse - 98800 NOUMEA - (+687) 44 18 20 – contact@mica.nc

PJ. N°83 DU CERFA 15964-03

ARRET DES TRAVAUX

Référence Dossier : Rn°23-195

Pétitionnaire : KEM ONE

Anne DELOUCHE
Responsable Saline VAUVERT
anne.delouche@kemone.com

Coordination :

François-Xavier GLOUX
Responsable Canalisations de Transport / Réglementation
francois-xavier.gloux@kemone.com

Approbations

Rôle	Nom - Fonction	Visa et Date
Rédacteur(s)	A. HAMON, D. LEVENEUR	X
Vérificateur(s)	J. CALESTREME	X
Approbateur	D. LEVENEUR	X

Dernière mise à jour

Indice	Date	Evolution
V1	26/03/2024	Création
V2	21/05/2024	Intégration corrections de KEM ONE
V3	26/09/2024	Relecture et validation suite corrections de KEM ONE

ORGANISATION GENERALE DU DOSSIER

PJ du CERFA 15964-03	Contenu
CERFA 15964-03 : Pièces à joindre pour tous les dossiers	
PJ n°1 Plan de situation	- Plan de situation du projet, à l'échelle 1/25 000 sur lequel est indiqué l'emplacement du projet
PJ n°2 <i>Eléments graphiques, plans</i>	<i>Les éléments graphiques, plans et cartes utiles à la compréhension des pièces du dossier se trouvent dans les parties nécessitant une illustration.</i>
PJ n°3 Maitrise foncière	- Justificatif de la maîtrise foncière du terrain
PJ n°4 Etude d'impact environnemental <i>Réalisée en application des articles R. 122-2 et R. 122-3-1 du code de l'environnement</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Description sommaire du projet - Etat actuel - Incidences brutes du projet et incidences cumulées - Justification et raisons du choix du projet - Compatibilité du projet avec les plans et programmes - Remise en état du site - Mesures d'évitement et de réduction et incidences résiduelles - Mesures de compensation, d'accompagnement et de suivi - Méthodes - Noms et qualités des auteurs
	- Annexes de l'étude d'impact
	- Résumé non technique de l'étude d'impact
PJ n°7 Note de présentation non technique du projet	- Note de présentation non technique
VOLET 3/. AUTORISATION AU TITRE DES TRAVAUX MINIERES	
PJ n°80 La justification que le demandeur a qualité, en application du code minier, pour présenter le dossier	<ul style="list-style-type: none"> - Lettre de demande - Présentation du demandeur et renseignements administratifs - Description des capacités techniques et financières mentionnées à l'article L. 181-27 dont le pétitionnaire dispose - Titre minier - AP 2019 – autorisation minière
PJ n°81 Méthode d'exploitation envisagée et de travaux projetées	- Un exposé relatif aux méthodes de d'exploitation envisagées et, le cas échéant, aux tranches de travaux projetées
PJ n°82 Document unique d'évaluation des risques	- Le document unique d'évaluation des risques prévu à l'article R. 4121-1 du code du travail
PJ n°83 Conditions de l'arrêt des travaux	- Un document indiquant, à titre prévisionnel, en vue de l'application des dispositions des articles L. 162-2 et L.

PJ du CERFA 15964-03	Contenu
	163-1 et suivants du code minier, les conditions de l'arrêt des travaux ainsi que l'estimation de leur coût.
<p>PJ n°86 Garanties financières</p>	Le montant des garanties financières exigées à l'article L. 162-2 du code minier [7° de l'article D. 181-15-3 bis du code de l'environnement]
<p>PJ n°88 Etude de dangers <i>Définie au III de l'article D. 181-15-2 du code de l'environnement</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Description sommaire du projet et son environnement - Moyens généraux concourant à la maîtrise des dangers - Identification et caractérisation des potentiels de dangers - Accidentologie et retour d'expérience - Analyse des risques <hr/> <ul style="list-style-type: none"> - Résumé non technique de l'étude de dangers

SOMMAIRE

1 - RESUME DE LA DEMANDE D'AUTORISATION	6
2 - INTRODUCTION.....	8
3 - CONTEXTE REGLEMENTAIRE	10
4 - CRITERES DE DETERMINATION DE LA FIN D'EXPLOITATION D'UN DOUBLET DE PUIITS	15
4.1 - HAUTEUR DE LA PLANCHE DE SEL AU TOIT D'UNE CAVITE - GENERALITES.....	15
4.2 - HAUTEUR DE PLANCHE REGLEMENTAIRE D'APRES L'AP DE 2019	16
4.3 - RESULTATS DE L'ETUDE GEOSTOCK (09/11/2015)	17
5 - MESURES DE SURVEILLANCE PRISES A L'ARRET DES PUIITS	18
5.1 - SURVEILLANCE ACTUELLE DES CAVITES DE VAUVERT A L'ARRET	18
5.2 - SURVEILLANCE MICRO-SISMIQUE	19
5.2.1 - Objectif et description du réseau de surveillance micro-sismique	19
5.2.2 - Résultats : activité microsismique enregistrée.....	20
5.3 - CONTROLE DES TUBAGES ET DES TOITS DES CAVITES DES PUIITS A L'ARRET.....	22
6 - DELAISSEMENT DES CAVITES A L'ARRET	23
6.1 - CARACTERISATION DES CAVITES DE VAUVERT	23
6.1.1 - Forme des cavités.....	23
6.1.2 - Contenu des cavités en fin d'exploitation	24
6.2 - DONNEES SUR L'EVOLUTION DES CAVITES APRES LA MISE A L'ARRET	25
6.2.1 - Phénomènes qui gouvernent l'évolution d'une cavité à l'arrêt.....	25
6.2.2 - L'effet du réchauffement de la saumure dans la cavité.....	26
6.2.3 - L'effet du fluage	27
6.2.4 - Rôle de la profondeur sur le fluage	28
6.3 - MODELISATION DE L'EVOLUTION A LONG TERME DE LA CAVITE	29
6.3.1 - Données générales.....	29
6.3.2 - Effet de la géométrie sur la thermique	29
6.3.3 - Effet du fluage du sel	30
6.4 - CONCLUSION SUR LE DELAISSEMENT DES CAVITES DES DOUBLETS EN FIN D'EXPLOITATION	30
6.5 - DISPOSITIF DE SURVEILLANCE A COMPTER DE 2023	31
7 - OBTURATION DEFINITIVE DES PUIITS	32
7.1 - OBJECTIF DE L'OBTURATION D'UN PUIITS	32
7.2 - RAPPEL REGLEMENTAIRE.....	33
7.2.1 - Disposition des barrières (bouchons cimentés).....	33
7.2.2 - Longueurs minimales des bouchons à installer.....	33
7.2.3 - Contrôles préalables à la fermeture.....	33
7.2.4 - Contrôle des barrières (bouchons) après pose.....	33
7.3 - ENSEMBLES AQUIFERES A PROTEGER	34

7.4 - MISE EN PLACE DES BARRIERES NECESSAIRES POUR LA FERMETURE DES PUIITS DES TROIS DOUBLETS ET DEUX PUIITS DE RECONNEXION.....	34
7.5 - ETANCHEITE ET VIEILLISSEMENT DES TUBAGES DANS LES PUIITS.....	35
7.6 - DEMONTAGE DES CONDUITES DES PISTES ET DES INSTALLATIONS.....	36
8 - REHABILITATION DES PLATEFORMES DE FORAGE	37
8.1.1 - <i>Audit environnemental</i>	37
8.1.2 - <i>Méthode de prélèvement</i>	37
8.1.3 - <i>Analyses (Normes de Mesures)</i>	38
8.1.4 - <i>Valeurs guides pour les sols</i>	Erreur ! Signet non défini.
8.1.5 - <i>Elimination des terres polluées et matériaux inertes</i>	39
8.1.6 - <i>Réhabilitation des sols</i>	39
9 - ESTIMATION PREVISIONNELLE DU COUT DE L'ARRET DES PUIITS DU PROJET	40
10 - SURVEILLANCE APRES LA FERMETURE.....	41

1 - RESUME DE LA DEMANDE D'AUTORISATION

La Saline de Vauvert a été créée en 1973 et exploite deux champs de puits permettant la dissolution d'un gisement de sel situé à près de 2 000 m de profondeur. Cette exploitation de saumure, qui relève du code Minier s'effectue au sein de la concession de sel de PARRAPON d'une superficie d'environ 14,54 km². La Saline de Vauvert compte en 2023, 43 puits sur le champ de Parrapon situés sur la commune de Vauvert et 6 puits sur le champ de la Galine, situés sur la commune de Beauvoisin. Depuis 2012, la saline de la concession de PARRAPON est exploitée par la société KEM ONE.

Le développement des activités chimiques de la société KEM ONE conduit à assurer et augmenter les capacités de production de sel-saumure dans la concession de PARRAPON afin de garantir l'approvisionnement à long terme en chlorure de sodium des usines chimiques de Lavéra et de Fos-sur-Mer.

Le gisement de sel est exploité par dissolution en place du sel à partir de doublets de puits fonctionnant en alternance, un ouvrage comme puits d'injection d'eau de dissolution et un ouvrage comme puits d'extraction de la saumure produite. Un doublet de puits produit environ deux millions de tonnes de sel, puis il est mis à l'arrêt et remplacé par un nouveau doublet. -KEM ONE souhaite poursuivre l'exploitation en réalisant 3 nouveaux doublets de forage et deux autres puits sur le territoire de la commune de Vauvert dans la concession de PARRAPON.

Afin de poursuivre l'exploitation de son gisement de sel, KEM ONE prévoit de déposer une demande d'autorisation environnementale concernant la création de :

- 3 doublets de puits : Projet n°1, n°2 et n°3
- 2 puits dits de « reconnexion » destinés à reprendre l'exploitation de cavités isolées précédemment exploitées. Le Projet n°4 réexploitant une cavité du doublet PA32-33 et le Projet n°5 réexploitant une cavité du doublet PA30-31.

Le dossier de demande d'autorisation environnementale est constitué en application de l'article L.214-3 du Code de l'Environnement et conformément aux dispositions du décret n°2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains. Ces textes sont modifiés par le décret n°2007-910 du 15 mai 2007 ainsi que par les dernières ordonnances du 13 avril 2022 relatives à la loi Climat et Résilience.

Carte 1 : Localisation des projets de doublets et de puits

2 - INTRODUCTION

Quarante-trois puits d'exploitation de sel ont été réalisés dans la concession de PARRAPON, dont trente-sept sur le site de Parrapon et six sur le site de la Galine. Parmi l'ensemble des puits :

- Les puits PA01 à PA23, PA26 à PA27 et LGA1 à LGA6 sont à la charge financière de l'ancien exploitant,
- PA02, PA03, PA05, PA07, PA08, PA09 ont été obturés par un bouchon en béton (obturation partielle),
- PA06 a été cimenté sur toute sa hauteur,
- PA01, PA04, PA10 à PA23, PA24 à PA29, LGA01 à LGA06 sont à l'arrêt et surveillés,
- Les puits PA30 à PA35 sont en fin d'exploitation (début de la phase de surveillance),
- Les puits PA 36 à PA43 sont en exploitation active.

La présente pièce est destinée à présenter les modalités de fermeture envisagées pour les ouvrages qui font l'objet de la demande (Projets n°1 à n°5 : 3 doublets de puits et deux puits de reconnexion).

Conformément à l'article 41 du Décret n° 2016-1303 du 4 octobre 2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substances minières, les modalités de fermeture de ces ouvrages présentées ci-après, seront rappelées dans le programme de fermeture définitive est porté à la connaissance du préfet par l'exploitant, deux mois avant la date du début de réalisation des travaux avec tous les éléments recueillis au cours de l'opération de forage et ceux lui permettant de juger de l'efficacité des dispositions prévues.

Ces modalités pourront être révisées en fonction des retours d'expérience relatifs aux exploitations salifères par puits de grande profondeur.

La fermeture d'un doublet, une fois mis à l'arrêt se déroule en deux phases de durées très inégales :

- Une première phase, au cours de laquelle les cavités créées par la dissolution du sel vont se réajuster pour tenir compte de l'évolution de contraintes physiques : la pression des terrains sur la formation salifère va faire fluer le sel pour réduire progressivement le volume de chaque cavité jusqu'à un point d'équilibre. Une cavité, à la mise à l'arrêt, est remplie de saumure obtenue par dilution de sel avec de l'eau froide. A la profondeur où se trouvent les cavités (entre 2000 et 3000 m), le gradient géothermique terrestre fait que la température de la roche encaissante est d'environ 100 °C. Les eaux de la cavité, qui sont à une température de l'ordre de 60°C à l'arrêt de la production, vont se réchauffer très lentement, compte tenu des volumes à réchauffer. La pression des terrains sur la cavité, et la dilatation de l'eau vont avoir pour effet conjugué de faire augmenter, dans une cavité fermée (par la vanne de tête de puits), la pression du fluide (saumure) de la cavité. Un des enjeux de la fermeture des puits de Vauvert est donc la gestion de cette période de réajustement.

- La deuxième phase débute lorsque la pression dans la cavité n'évolue quasiment plus. L'exploitant peut alors, selon des techniques pétrolières éprouvées, procéder à l'obturation définitive des forages.

3 - CONTEXTE REGLEMENTAIRE

L'arrêt d'exploitation d'un doublet ou puits est réglementé par le décret n°2016-1303, article 41 et 42, du 04/10/2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substances minières et par l'arrêté du 14/10/2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substances minières.

L'article 69 de l'arrêté du 14/10/2016 prévoit que l'exploitant fasse « *parvenir, deux mois avant la date du début de réalisation des travaux, au préfet son programme de fermeture définitive avec l'ensemble des éléments lui permettant de juger de l'efficacité des dispositions prévues. Cependant les travaux de fermeture ne peuvent débuter qu'après l'accord du préfet* »

Par ailleurs, l'exploitant est tenu contrôler l'état de l'ouvrage et notamment son étanchéité afin de prévenir la circulation de divers fluides, tel que défini dans l'article 69 de l'arrêté du 14/10/2016 :

« Avant toute opération de fermeture définitive, un contrôle de l'état des cimentations et des cuvelages ainsi qu'une mesure de la pression dans les annulaires sont réalisés. Avant la mise en place des barrières d'isolation, les produits d'obturation constituant ces barrières font l'objet d'un échantillonnage et d'essais de caractérisation en laboratoire dans les conditions du milieu d'utilisation.

Les produits destinés à réaliser les isolations constituent, une fois mis en place, une barrière solide efficace en vue de s'opposer à la circulation des divers fluides. Ces produits doivent, à l'exception de l'épaisseur des cuvelages et une fois la complétion enlevée, occuper la totalité de la section du puits initialement forée. Ces produits occupent les longueurs minimales suivantes :

- 50 mètres dans un cuvelage ou dans un découvert non affecté par des cavages,
- 100 mètres dans les annulaires, l'espace existant entre le cuvelage et le terrain, les découverts cavés, les puits fortement déviés et les zones à pertes. »

L'isolation du puits, de la surface du sol ou du fond de la mer jusqu'au-dessus du niveau perméable le plus proche du sol ou du fond de la mer, est constituée soit par une barrière pour laquelle les longueurs précisées précédemment sont doublées, soit par deux barrières respectant les règles dimensionnelles des barrières d'isolation des niveaux perméables entre eux. A défaut, la longueur de la barrière sommitale est au minimum de 100 mètres à compter de la surface du sol ou du fond de la mer. Chaque barrière est disposée dans l'ouvrage à une côte telle que la pression qui régnerait à sa base, en cas de mise en défaut de la barrière immédiatement inférieure, soit inférieure à la pression de craquage des terrains à ce niveau. Après leur mise en place, les barrières d'isolation font l'objet de contrôles et d'essais comprenant au minimum :

- la mesure de la position de leur surface supérieure,
- un essai approprié permettant de s'assurer de leur tenue mécanique,
- un essai approprié permettant de s'assurer de leur étanchéité en pression,
- un contrôle par diagraphie pour ce qui concerne les barrières mises en place dans les annulaires.

En cas d'impossibilité technique, dûment justifiée par l'exploitant, d'appliquer les dispositions du présent article, celui-ci propose au préfet, dans son programme de fermeture, les modifications qu'il juge adaptées. Ces modifications sont soumises à l'acceptation du préfet ».

Par ailleurs, l'article 70 de l'arrêté du 14/10/2016 indique également que « Lors du démantèlement des installations à terre, les têtes de puits sont enlevées et les cuvelages retirés jusqu'à 2 mètres au moins au-dessous de la surface du sol. L'ensemble de ces éléments est récupéré. L'exploitant démontre que le site ne présente pas de risques pour les intérêts visés à l'[article 1er du décret n° 2016-1303 du 4 octobre 2016 susvisé](#). En cas de pollution avérée lors des analyses visées à l'article 23, un programme de réhabilitation des sols est établi et fait l'objet d'une information préalable au préfet ».

4 - MESURES PRISES PAR L'EXPLOITANT POUR LA PRESERVATION DES INTERETS MENTIONNES A L'ARTICLE L161-1

Intérêts à préserver	Risques du projet vis-à-vis de ces intérêts	Mesures prévues par l'exploitant pour faire cesser de façon générale les désordres et nuisances de toute nature engendrés par ses activités, pour prévenir les risques de survenance de tels désordres et pour ménager, le cas échéant, les possibilités de reprise de l'exploitation.
Préservation de la sécurité	Pas de risque sur la sécurité publique. Les voies d'accès et bâtiments dans la zone d'influence du projet ne subissent aucun dommage. Le projet ne présente pas de risques vis-à-vis des riverains et promeneurs.	L'accès aux têtes de puits sur les plateformes bétonnées est clôturé et interdit au public
Préservation de la santé	Le projet ne présente pas de pas de risques pour la santé, les effets sont jugés nuls (cf. PJ04)	/
Préservation de la salubrité publiques (les périmètres de protection)	Pas d'incidence sur les périmètres de protection éloignée et la protection des captages AEP (cf. PJ04)	La conception des ouvrages et la réalisation des travaux prennent toutes les mesures pour garantir l'intégrité des puits (cf. PJ04).
Préservation de la solidité des édifices publics et privés	Le projet ne présente aucun risque sur la solidité des édifices publics et privés	Respect des conditions et prescriptions d'exploitation

Conservation des voies de communication, de la mine et des autres mines	Les voies de communications jusqu'à la saline et aux différentes plateformes seront préservées. Aucun accès ne sera fermé durant la réalisation du projet. Seule une légère augmentation du trafic routier (engins de chantier) est attendue durant la phase de travaux qui reste très ponctuelle.	Information et sensibilisation des chauffeurs et personnels durant la phase travaux Rappels réguliers des bonnes conduites et du code de la route Plan de circulation sur le site
Préservation des caractéristiques essentielles du milieu environnant, terrestre, littoral ou maritime, et plus généralement à la protection des espaces naturels et des paysages, de la faune et de la flore, des équilibres biologiques et des ressources naturelles particulièrement des intérêts mentionnés aux articles L. 211-1, L. 219-7, L. 331-1, L. 332-1 et L. 341-1 du code de l'environnement	<p>Le projet possède un impact limité sur les habitats à proximité immédiate (suppression partielle d'un habitat de « Chênaies et haies de Chêne vert et de Chêne Pubescent ») du fait de la bande d'Obligation Légale de Débroussaillage (50 m autour du projet).</p> <p>Le projet présente un impact modéré sur les populations d'insectes dû à la destruction d'habitats et d'individus lors de la réalisation des OLD. Il en est de même pour les amphibiens et reptiles dont la destruction d'individus pourrait également être due aux engins de roulage.</p> <p>Le projet a également un impact faible à modéré sur les oiseaux avec un impact sur les habitats lors de la réalisation des travaux.</p>	
Conservation de l'intégrité des câbles, des réseaux ou des canalisations enfouis ou posés,	Le projet n'induit pas d'incidences sur les réseaux de distribution situés à proximité	/

<p>Conservation des intérêts de l'archéologie, à la conservation des monuments historiques classés ou inscrits, des abords de monuments historiques et des sites patrimoniaux remarquables mentionnés au livre VI du code du patrimoine,</p>	<p>Le projet sera réalisé sur des plateformes existantes. La probabilité d'impacter des vestiges archéologiques semble négligeable.</p> <p>Le site d'étude ne présente pas d'enjeu particulier en termes de patrimoine touristique ou culturel. L'activité salifère sur ce site s'intègre dans une histoire locale. Il s'agit d'une activité identitaire dans le secteur qui fait partie du patrimoine culturel.</p> <p>Les établissements ou activités de loisir de Vauvert sont pour la plupart éloignés du projet qui n'aura aucune incidence sur leur fréquentation.</p>	/
<p>Conservation des intérêts agricoles et halieutiques des sites et des lieux affectés par les travaux et les installations afférents à l'exploitation</p>	<p>Pendant les travaux de forage du projet n°3, l'incidence sur les espaces agricoles sera liée à une confiscation temporaire de 0,6 ha de parcelle agricole. A l'issue des travaux la parcelle retrouvera sa vocation actuelle.</p>	
<p>Assurer la bonne utilisation du gisement et la conservation de la mine.</p>	<p>Le présent projet vise justement à assurer la pérennité de l'exploitation du gisement de sel de Vauvert.</p>	

5 - CRITERES DE DETERMINATION DE LA FIN D'EXPLOITATION D'UN DOUBLET DE PUIT

La décision d'arrêter l'exploitation d'un doublet est dictée par l'épaisseur de la planche de sel à conserver au toit de la cavité. La résistance de cette planche de sel permet d'exclure la possibilité d'un effondrement des couches sus-jacentes au toit de la cavité.

5.1 - HAUTEUR DE LA PLANCHE DE SEL AU TOIT D'UNE CAVITE - GENERALITES

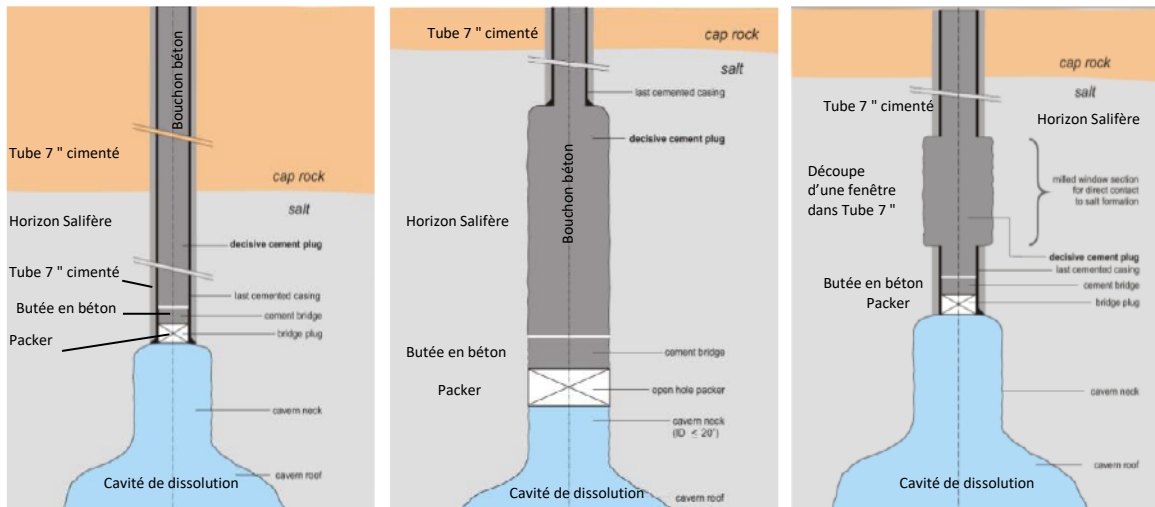
La planche ou poutre ou encore voûte correspond à la distance comprise entre le toit de la cavité au moment où on l'inspecte et le toit de la Série Salifère.

La Série Salifère des structures de Parrapon et de La Galine se termine en général par un *cap-rock* constitué de résidus de dissolution des sels par les eaux d'infiltration au moment du dépôt tels que la dolomie, l'anhydrite et des marnes. Il peut arriver que l'épaisseur du *cap-rock* soit réduite par faille et exceptionnellement que les niveaux d'halite soient directement en contact avec les argiles et calcaires de l'Aquitainien (comme pour le PA26). Etant donnée la profondeur du gisement (le toit du sel est à une profondeur toujours supérieure à 1500 m), tout effondrement pouvant se propager jusqu'en surface est exclu en raison du foisonnement des terrains qui conduisent à l'auto comblement rapide des cavités.

En France, le code minier ne mentionne pas l'épaisseur de la planche de sel à respecter au toit d'une cavité de dissolution de sel (Note INERIS DRS-09-103911-09771A). La hauteur de la planche minimale en fin d'exploitation doit permettre :

- d'exclure un effritement des formations sus-jacentes à la Série Salifère,
- l'installation d'un obturateur (packer) au-dessus de la cavité permettant la pose d'un bouchon de ciment, étape essentielle de la procédure de délaissement.

Dans leur rapport « Cavern Well Delaisement Techniques – Guideline Manual » publié en septembre 2006, sous la direction du Solution Mining Research Institute (SMRI) les auteurs F. Crotagino et J. Keplinger proposent 3 options pour placer la butée.



5.2 - HAUTEUR DE PLANCHE REGLEMENTAIRE D'APRES L'AP DE 2019

Les caractéristiques de la hauteur de la planche de sel est réglementée par l'AP de 2019 :

« L'exploitant est tenu de conserver une planche de sel laissée au toit de la cavité d'une épaisseur minimale de 20mètres, avec un diamètre au toit inférieur à 60 mètres. Pour un diamètre (D) au toit de la cavité supérieur à 60 mètres, la règle du $D/3$ s'applique pour définir la hauteur de planche minimale. »

Ainsi pour l'exploitation des Projets n°1 à 5, une planche de sel au toit de chaque cavité, d'une épaisseur d'au moins 20 mètres, sera respectée en tenant compte du critère du diamètre de la cavité.

5.3 - RESULTATS DE L'ETUDE GEOSTOCK (09/11/2015)

Constatant que les puits PA15, PA16, PA23 et PA29 montraient des planches de sel réduites, l'administration a demandé au cours de l'année 2015, que lui soit présentée une étude définissant la hauteur de planche à respecter au toit des cavités pour les doublets encore en exploitation et pour les doublets à créer.

Cette étude a été réalisée par la société GEOSTOCK et les conclusions sont les suivantes :

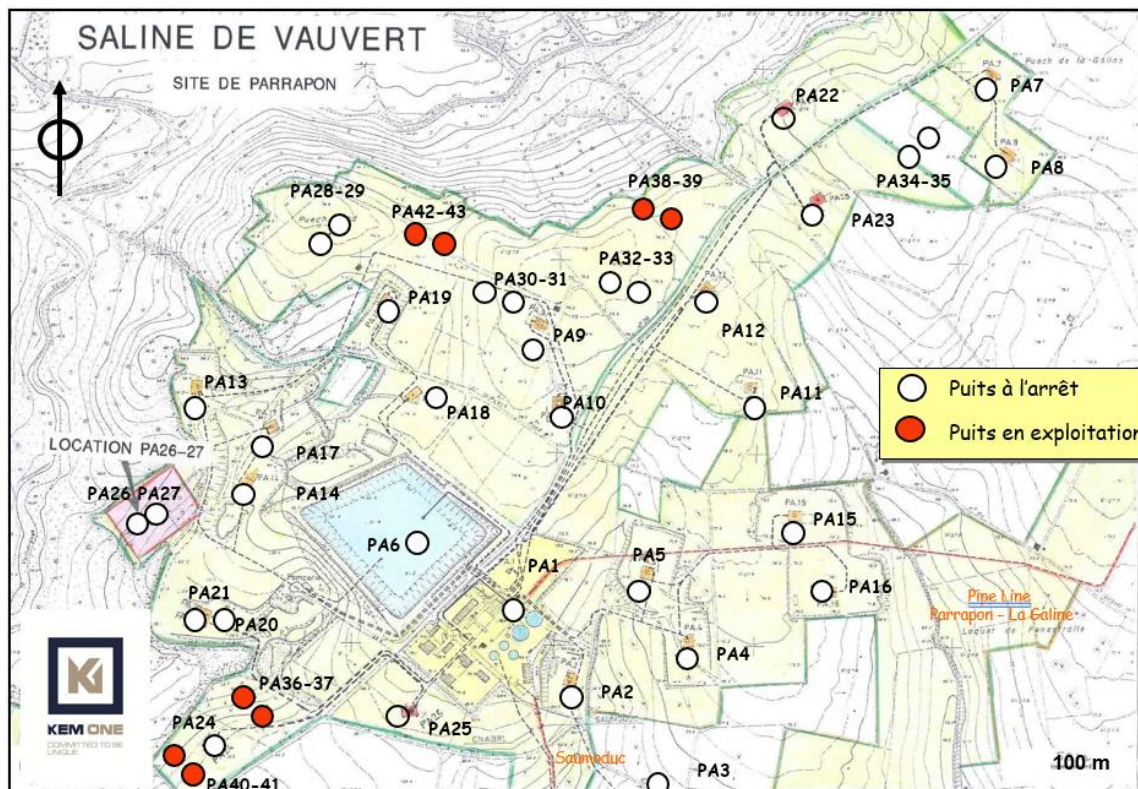
- Il est constaté que les planches de quatre puits (PA15, PA16, PA23 et PA29) ne satisfont pas le critère INERIS de 25 mètres de hauteur minimale de la planche de sel au toit des cavités (repris d'une réglementation de l'état du Kansas-USA). Par ailleurs, les planches des puits PA30 et PA32 ne satisfont pas non plus le critère de 25 m de planche minimale.
- Le risque d'effondrement généralisé est considéré comme négligeable car le taux de défrusement (rapport volume exploité/volume du gisement) du gisement est très faible (5,6% pour un taux critique de 20%).
- Selon une étude considérant des critères de traction, la société GEOSTOCK préconise d'appliquer la règle $E_{\text{planche}} > 2/3 R$ (avec E = épaisseur de la planche de sel et R = rayon de la cavité de dissolution au toit), pour éviter la chute de blocs et des instabilités du toit. Avec cette règle, seul le puits PA29 n'est pas conforme à la règle.
- En considérant le critère dilataance/endommagement, la planche de la cavité PA29 serait située en zone dilatante avec un risque de chute de blocs.
- En considérant un scénario pessimiste où les cavités PA28 et PA29 (composant le même doublet) se rejoignent, la remontée d'une cloche au toit de cette grande cavité serait limitée à 275 m au-dessus du toit du sel. La connexion de la cavité ainsi remontée, avec l'aquifère du Burdigalien situé 1500 m au-dessus, est très peu probable.

Bilan : Les conclusions de l'étude GEOSTOCK relative à la hauteur de planche de sel au toit de la cavité, préconisent une hauteur à respecter d'au moins 20 m, en l'absence de risque d'effondrement localisé. Ce standard est valable uniquement pour un toit de cavité inférieur à 60 m de diamètre ; au-delà, la hauteur de planche minimum sera le diamètre du toit divisé par trois. Après analyse de cette étude, la DREAL a demandé à KEM ONE la prise en compte de cette consigne d'exploitation.

6 - MESURES DE SURVEILLANCE PRISES A L'ARRÊT DES PUIITS

6.1 - SURVEILLANCE ACTUELLE DES CAVITES DE VAUVERT A L'ARRÊT

Depuis 1986, 35 ont été mis à l'arrêt sur la structure de Parrapon et 6 sur la structure de La Galine.



Plan de position des têtes de puits sur la zone de Parrapon

A l'exception des puits cimentés, tous les puits sont équipés, à la tête de puits, d'un capteur qui enregistre en continu la pression du puits à l'arrêt. Cette pression est retransmise en salle de contrôle de la saline et archivée.

Un contrôle des tubages et de la cote des toits des cavités des puits à l'arrêt sont également réalisés à l'initiative de l'exploitant.

Toutes les pressions journalières en tête des puits à l'arrêt sont enregistrées. Les graphiques des valeurs des pressions en fonction du temps donnent un important éclairage sur l'inter connectivité entre 2 puits d'un même doublet et parfois entre les puits de doublets différents.

- Des pompages HP sont parfois réalisés pour restaurer la connexion entre deux puits d'un même doublet. Certains ont révélé des interconnexions avec des puits ou doublets voisins.
- Des groupes de doublets situés dans le même secteur montrent des variations de pression similaires entre eux, attestant de leur interconnectivité.

- Des doublets sont isolés et réagissent indépendamment de leurs voisins.
- Le suivi des pressions des puits à l'arrêt montre des connexions moyenne pression entre cavités au cours du temps.

6.2 - SURVEILLANCE MICRO-SISMIQUE

6.2.1 - Objectif et description du réseau de surveillance micro-sismique

La surveillance micro-sismique du site de Vauvert a débuté par une phase d'expérimentation qui s'est déroulée de 1993 à 1996. La micro-sismicité était alors détectée par deux sondes de fond – installées dans les puits bouchés PA7, e PA9 et PA5. La surveillance sismique à long terme, a permis d'enregistrer une très importante base de données d'évènements sismiques, et d'avoir un retour d'expérience représentatif sur l'évolution de cette sismicité en rapport avec l'exploitation du site.

Le réseau actuel de surveillance microsismique de la saline de Vauvert est constitué de :

- 5 antennes de subsurface (SBA) installées à 50 m et 70 m de profondeur, mises en service le 11/12/2018 :
 - 3 SBA au niveau dans les puits PA3, PA13 et PA22 (Parrapon)
 - 2 SBA dans les puits LGA2 et LGA3 (La Galine)
- Une antenne sismique de fond dans le puits PA9 avec ses capteurs installés à 1000 m et 1100 m de profondeur, mises en place le 27/03/2019,
- Un élargisseur numérique de bande de fréquences sur les capteurs SBA permet d'obtenir une plus grande sensibilité aux basses fréquences, ce qui conduit à mieux estimer les magnitudes des événements sismiques de forte énergie.
- Le réseau de surveillance sismique complet est opérationnel depuis le 27/03/2019. Il fonctionne de manière nominale et a vocation à fournir un outil de surveillance sismique 24h/24 pour localiser des événements sismiques situés dans la zone de dissolution du sel entre 1800 m et 3000 m de profondeur.



Configuration générale des capteurs de subsurface et de fond du site de Vauvert (triangles jaunes). Les points bleus représentent la position des puits.

6.2.2 - Résultats : activité microsismique enregistrée

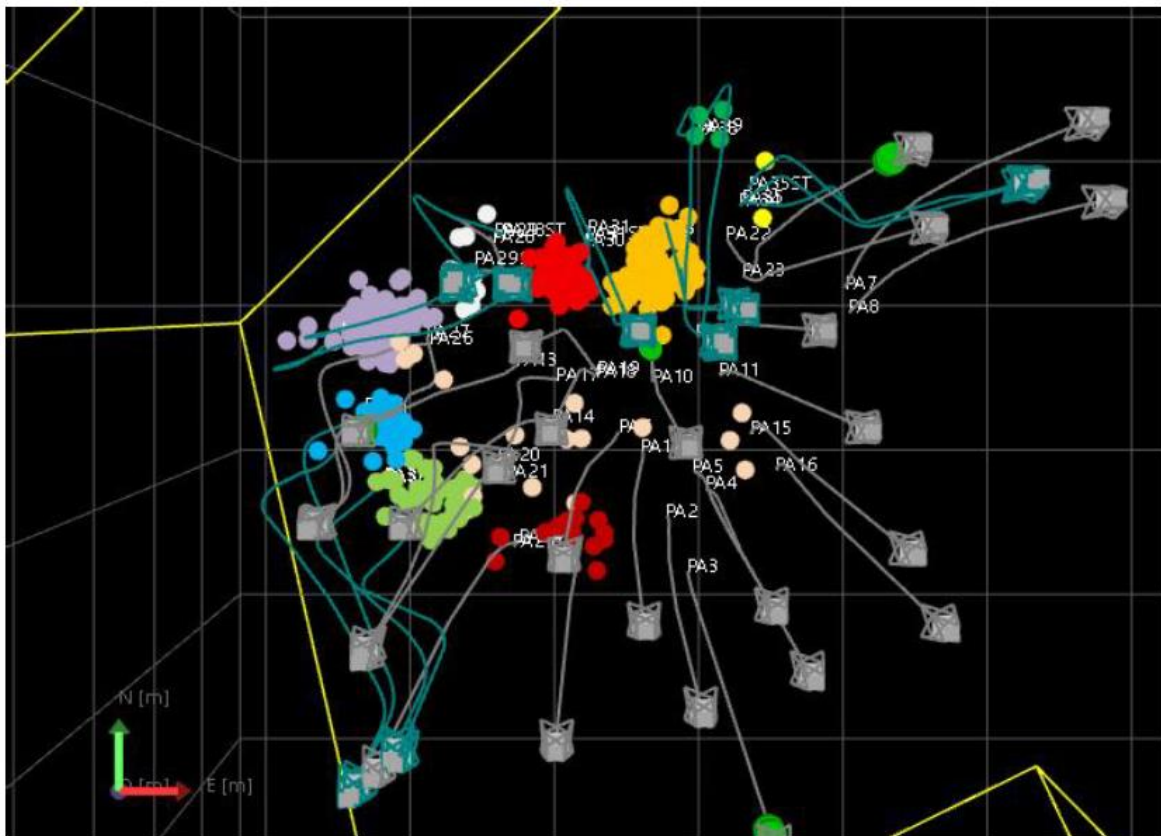
Jusqu'en 1998, l'activité sismique se limitait aux doublets en exploitation. Cette sismicité était associée aux connexions hydromécaniques entre deux puits, avec un impact des failles listriques.

A partir de 1999, cette micro-sismicité s'est étendue progressivement vers les doublets à l'arrêt et a souligné une connexion inter-doublets. En arrière-plan de cette extension, le système enregistre une importante micro-sismicité induite, continue et régulière.

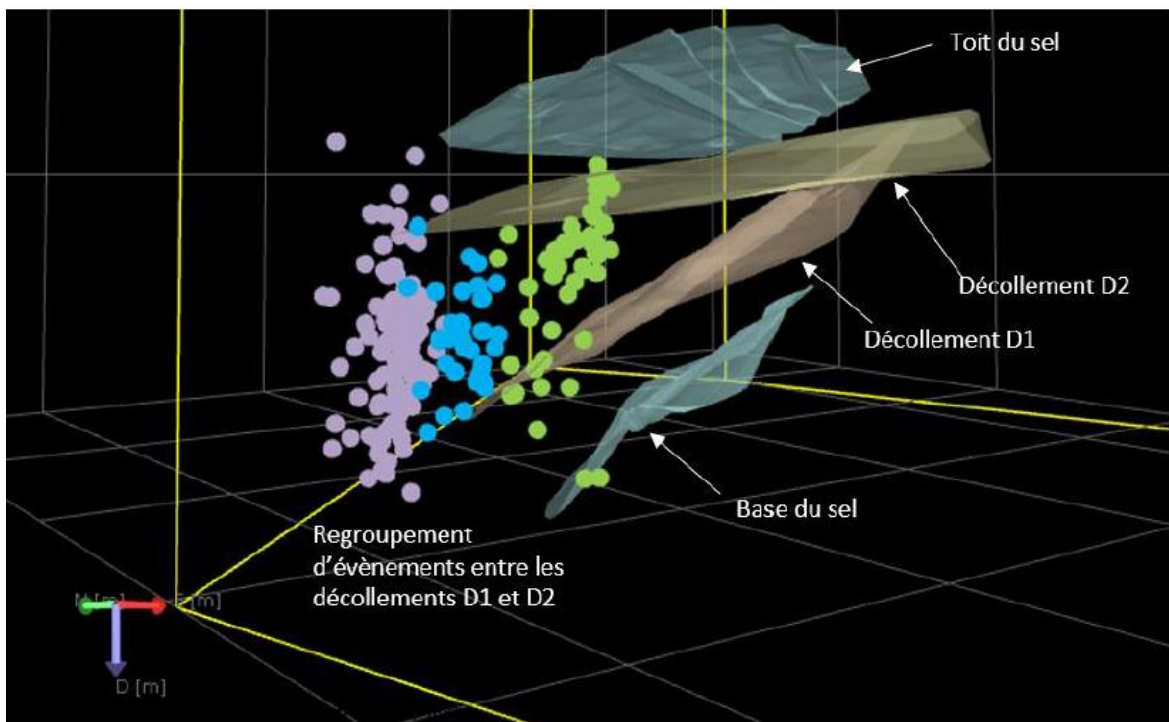
Actuellement, le dispositif enregistre les événements suivants, exemple pris avec les chiffres de l'année 2023 :

- Activité micro-sismique interne liée à l'exploitation dans la zone de Parrapon :
 - 97 % de la sismicité (446 événements) enregistrée dans les doublets en production (PA36-37, PA38-39, PA40-41 et PA42-43) et les doublets en purge (PA24-25, PA30-31) de la zone de Parrapon,
 - Le reste de l'activité sismique de la zone de Parrapon se répartit sur l'ensemble de la zone centrale interconnectée (9% des événements),
 - Magnitude maximum enregistrée : 0,4
- Zone La Galine (0,8 % de la sismicité totale interne détectée sur site) : activité faible qui se localise au niveau des 3 doublets LGA1-2, LGA3-4 et LGA5-6, en lien avec les purges.

L'activité micro-sismique au niveau des doublets en production se fait essentiellement au moment des inversions de sens de circulation (inversion puits injecteur et puits de soutirage). Le doublet PA28-29 à l'arrêt regroupe 2,5 % des événements localisés (11 événements). 4% de la sismicité localisée restante (18 événements) se répartit sur le reste de la zone de Parrapon.



Localisation des événements micro-sismiques de la zone de Parrapon en 2023 (vue de dessus)



Localisation du groupement d'événements entre les décollements D1 et D2

Une activité sismique externe, indépendante de l'exploitation est aussi enregistrée :

- Des séismes naturels : 417 événements détectés en 2023 avec deux crises sismiques :
 - Sur la faille listrique de Nîmes : 25 événements entre le 21/01 et 08/02/2023 (magnitudes de -0,7 à 1,6),
 - A 5 km au sud-est de la saline : 317 événements entre le 04/10 et le 17/10/2023 (magnitudes de -1,4 à 2,4)
- Des événements externes d'origine induite (ex : tirs de carrières) :
 - 32 événements externes détectés, magnitude entre 1,3 et 2,1.

6.3 - CONTROLE DES TUBAGES ET DES TOITS DES CAVITES DES PUITA A L'ARRET

L'instabilité des cavités à l'arrêt se manifeste par :

- Une montée en pression des cavités due au fluage et à la dilatation thermique de la saumure principalement ;
- Une remontée du toit des cavités due aux phénomènes de convection ou des interconnexions.

L'exploitant met les puits en eau pour éviter tout risque de cristallisation dans les puits à l'arrêt.

Les mises en eau de puits sont réalisées à la suite de chaque opération de purge discontinue, une fois que l'opération a permis de faire baisser de manière significative la pression de la cavité.

7 - DELAISSEMENT DES CAVITES A L'ARRET

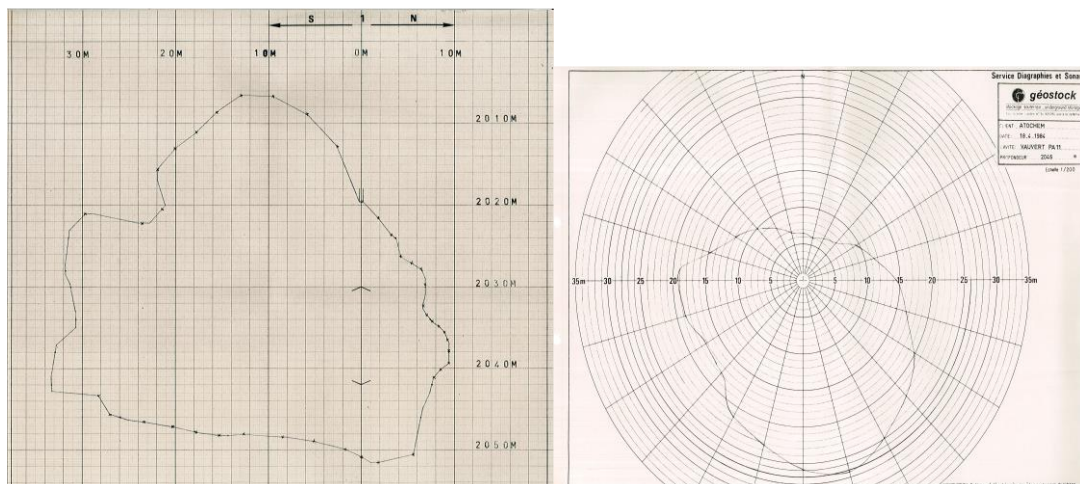
7.1 - CARACTERISATION DES CAVITES DE VAUVERT

7.1.1 - Forme des cavités

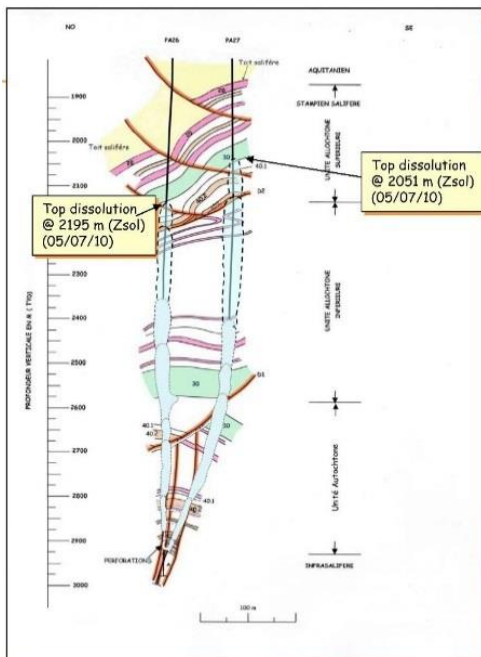
Un doublet est composé de deux forages qui rentrent verticalement dans le massif de sel. Un forage reste vertical, tandis que le second est progressivement dévié pour converger vers le premier forage au point bas de la cavité à créer.

Lors du lessivage, on développe d'abord une cavité unique qui se sépare, en remontant en deux cavités grossièrement cylindriques, axées chacune sur un puits. Les insolubles et les bancs rocheux intercalés dans les niveaux de sel s'effondrent et constituent un amas de blocs d'anhydrite et d'argile qui remplit la partie inférieure de la cavité.

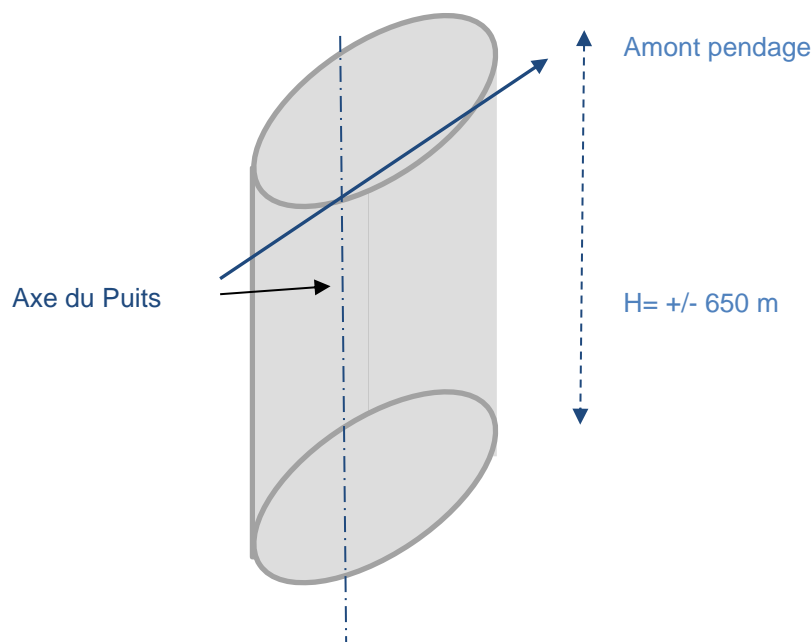
Les premiers essais de mesures au sonar ont montré que les cavités sont excentrées par rapport à l'axe du puits, vers l'amont pendage des couches géologiques.



Coupe verticale et horizontale du toit du puits PA11 (Géostock, 1984)



On peut assimiler les cavités à des cylindres tronqués désaxés par rapport à l'axe du puits.



Représentation d'une cavité assimilée à un cylindre tronqué et désaxé du puits

La hauteur de ces « cylindres » est déterminée par la distance séparant le niveau où l'on a relié les deux forages, vers le bas de la cavité, du toit de la cavité. La hauteur moyenne des cavités varie de 400 m à 650 m pour un diamètre de 10 à 40 m.

7.1.2 - Contenu des cavités en fin d'exploitation

Le contenu des cavités est formé de bas en haut des éléments suivants :

- La partie inférieure qui représente environ 2/3 de la hauteur de la cavité est constituée de blocs d'anhydrite et d'argile (50-55% d'insolubles) tombés lors de la dissolution, ainsi que de la ferraille correspondant aux tubes constituant la colonne de production tombés au fond des cavités. Les interstices entre les blocs sont remplis de saumure. Ces blocs, pris dans le fluage du sel, vont former un soutènement tendant à contenir la convergence des parois. La porosité intra-blocs diminue et la circulation entre « pores » devient de plus en plus difficile avec la profondeur : c'est le volume mort.
- La partie située au-dessus du volume mort est caractérisée par une porosité, c'est-à-dire que la saumure peut circuler entre les blocs et où ceux-ci ne forment pas de soutènement : c'est le volume poreux.
- Au-dessus, le volume ne comprenant que de la saumure est le volume libre.

Le passage du volume poreux au volume mort n'est pas aussi net, les difficultés de circulation de la saumure et le comblement par la chute de blocs apparaissant de façon progressive. On utilisera le terme de volume circulant pour la saumure du volume libre + celle du volume poreux.

Le volume convergent correspond au volume pouvant se déformer sous l'effet du fluage, soit la somme des volumes actifs et poreux.

7.2 - DONNEES SUR L'EVOLUTION DES CAVITES APRES LA MISE A L'ARRET

Lorsque le toit de dissolution d'une cavité a atteint le niveau de la planche (ou poutre) on arrête l'exploitation du doublet. Les deux puits sont alors mis en eau douce entre la surface et la cote du toit du sel, en prenant soin de ne pas introduire d'eau douce dans les cavités pour éviter toute poursuite de la dissolution. Cette mise en eau douce est essentiellement destinée à limiter la cristallisation de sel dans le tubage.

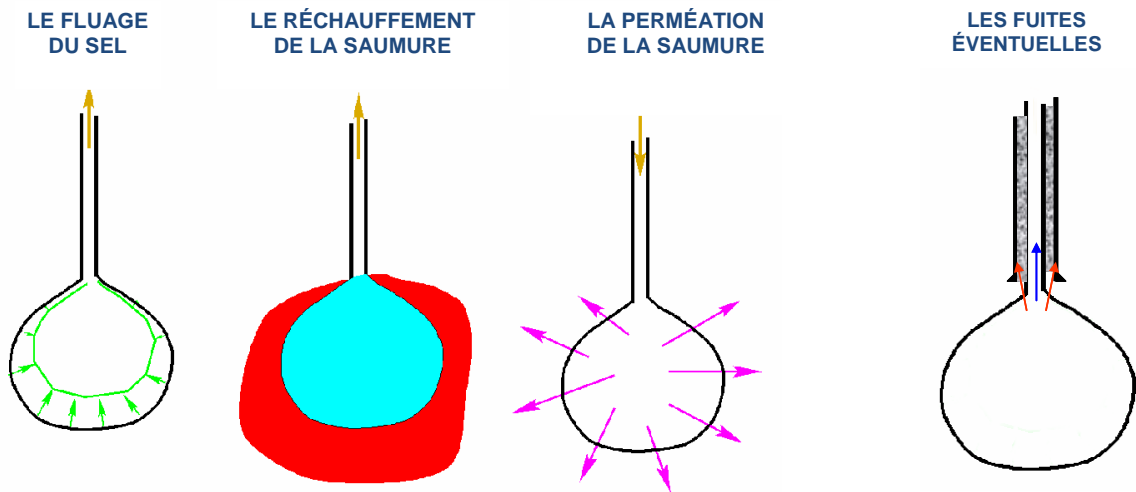
Les cavités sont remplies de saumure, dont le niveau remonte dans le puits jusqu'à la cote du toit du sel. Cette disposition limite le risque de dissolution incontrôlée par l'eau douce.

7.2.1 - Phénomènes qui gouvernent l'évolution d'une cavité à l'arrêt

L'évolution d'une cavité délaissée dans le sel est gouvernée principalement par cinq phénomènes :

1. Le réchauffement de la saumure : l'eau injectée dans la cavité est généralement à la température de la surface (autour de 12°C en moyenne annuelle). Pendant l'exploitation l'eau froide va créer une cavité dans laquelle la saumure va atteindre entre 45 et 60°C. La mise en contact de cette bulle de saumure avec le massif de sel beaucoup plus chaud (+/- 100°C selon la profondeur de la cavité) va donc générer un phénomène de dilatation thermique qui va se traduire, selon que la cavité est ouverte ou fermée, par un débit de saumure sortant du puits (dans le premier cas) ou par une augmentation de la pression dans la cavité (dans le deuxième cas).
2. La convergence de la cavité par fluage du sel : le sel gemme est une roche viscoplastique à seuil de contrainte déviatorique nul : soumis à la moindre contrainte déviatorique, le sel se déforme (« il flue » ou « il s'écoule »). Ainsi, la moindre différence de pression entre la cavité et le massif environnant va entraîner une déformation de la cavité par fluage du sel, qui va prendre la forme d'une convergence (la pression interne étant en principe inférieure à la pression des terrains).
3. La perméation de la saumure à travers le massif de sel : bien que très faible (typiquement entre 10^{-19} et 10^{-22} m² soit entre 10^{-4} et 10^{-7} milli-Darcy), la perméabilité du massif de sel de Vauvert n'est pas nulle, ce qui permet une migration très lente de la saumure vers l'extérieur de la cavité, dans la roche encaissante (sel, anhydrite, marnes...). Cette perméation tend à contrecarrer l'augmentation de pression liée au fluage du sel et au réchauffement de la saumure.
4. La fuite de saumure par l'intermédiaire du puits : un bouchon de ciment, quelle que soit sa qualité, ne peut garantir une étanchéité parfaite. Par ailleurs, à très long terme, le vieillissement du ciment peut mener à ce que des fuites de saumure apparaissent à l'interface entre le tube et le ciment, le ciment et le terrain ou à travers le ciment lui-même. Ces fuites vont contribuer, comme la perméation à travers le sel, à réduire la pression en cavité, mais aussi à laisser migrer vers le haut, et de manière canalisée, de la saumure.
5. La dissolution complémentaire du sel par l'eau : il se peut que l'eau introduite dans la cavité poursuive la dissolution du sel dans la cavité après la fermeture de la cavité. D'autre part,

la saturation de la saumure augmentant avec la pression et la température, l'évolution de ces deux paramètres après fermeture de la cavité va entraîner une dissolution complémentaire du sel.



Principaux phénomènes intervenant sur une cavité délaissée

Les deux premiers phénomènes sont ceux qui ont le plus d'importance. La perméation et la dissolution complémentaire peuvent être considérées de deuxième ordre comparé au réchauffement de la saumure et du fluage du sel.

L'évolution de la cavité sera donc gouvernée par deux processus :

1. Un processus thermique (équilibre entre la saumure et le massif),
2. Un processus mécanique (fluage de la paroi de la cavité).

Chaque phénomène étant caractérisé par une durée caractéristique, l'évolution globale sera régie par la concurrence entre ces différentes constantes de temps.

7.2.2 - L'effet du réchauffement de la saumure dans la cavité

La saumure dans la cavité peut présenter un écart de température important avec le massif de sel. Dans le cas de Vauvert, l'écart varie entre 45 et 60°C.

L'évolution de la température de la saumure au sein d'une cavité délaissée résulte, d'une part, de la conduction thermique de la chaleur du massif vers la cavité et d'autre part, du brassage de la saumure au sein de la cavité par thermoconvection. Si cette augmentation de pression n'est pas maîtrisée, on peut craindre un dépassement de la pression lithostatique et de ce fait, une rupture de la cavité ou des cimentations du puits par fracturation.

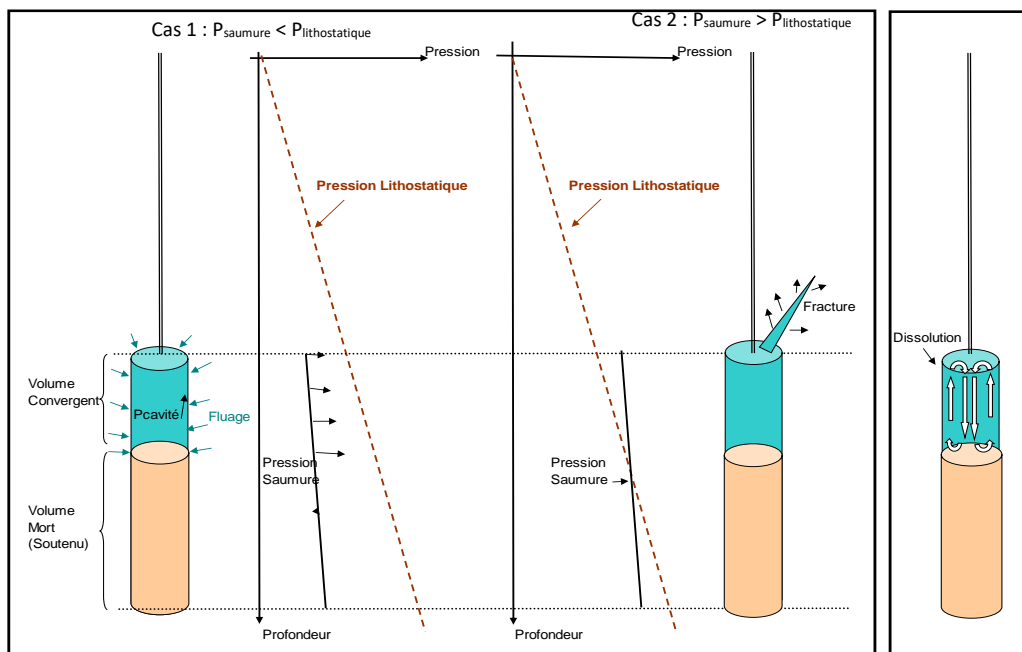
7.2.3 - L'effet du fluage

Le sel est un matériau qui a la particularité de fluer sous très faible contrainte déviatorique. Sa vitesse de déformation :

- est proportionnelle à la différence entre la pression de saumure en cavité et la pression lithostatique ;
- est fortement influencée par la température ; elle s'accroît d'environ 2 ordres de grandeur quand la température augmente au-dessus de 100°C.

Ces deux effets ont pour conséquence que les cavités situées à grande profondeur (> 2000m) tendent à se refermer beaucoup plus rapidement que les cavités à faible profondeur qui constituent le cas général des exploitations de sel par dissolution.

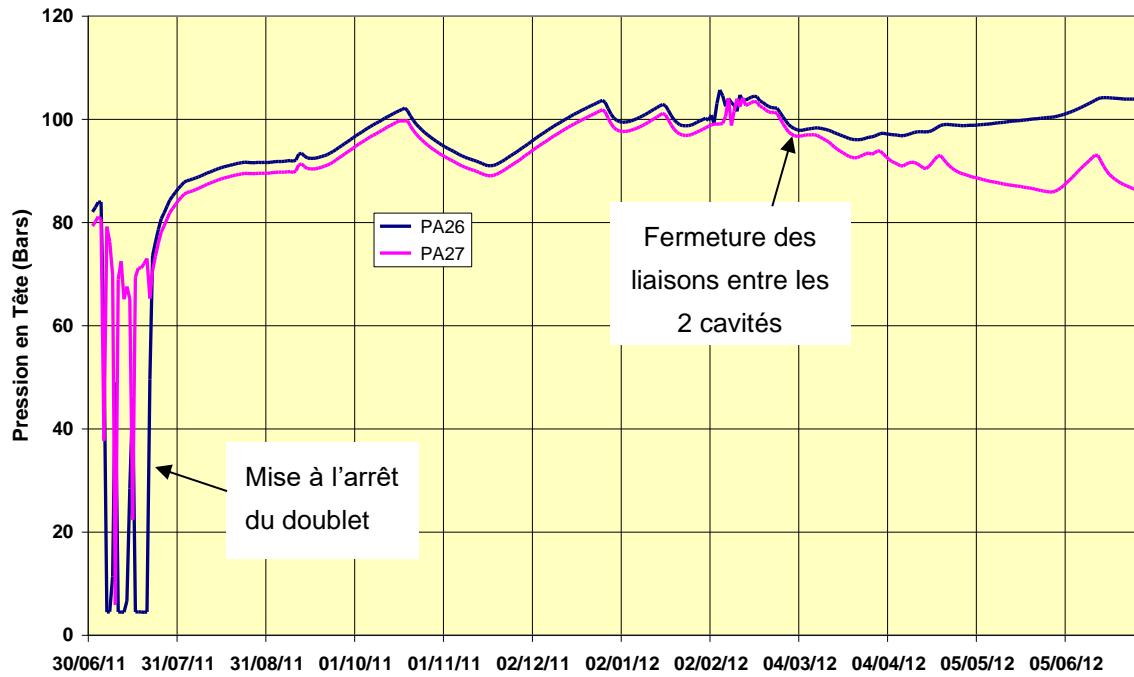
Ce phénomène de fluage va avoir pour conséquence une convergence des parois de la cavité qui, dès lors que la cavité est fermée, va se traduire par une augmentation de pression de la saumure.



Scénario de la fracturation provoquée par une surpression dans la cavité (convergence et réchauffement) et schématisation du phénomène de convection naturelle du au réchauffement

7.2.4 - Rôle de la profondeur sur le fluage

Lors de la mise à l'arrêt des cavités, la pente des courbes représentatives de la montée en pression en fonction du temps est très raide; ceci est caractéristique des cavités profondes immédiatement après la fermeture de la tête de puits.



Evolution de la montée en pression en fonction du temps pour les puits PA26 & PA27

Ce phénomène signifie que le fluage de la cavité est beaucoup plus important que la dilatation thermique, et ceci reste vrai à peu près jusqu'au moment où la différence entre la pression lithostatique et la pression de la saumure dans la cavité devient inférieure à 70 bars, alors le fluage devient peu efficace ; la dilatation thermique devient alors le facteur explicatif essentiel de la montée en pression.

La fracturation de la roche (et sans doute, d'abord, la réouverture des chenaux qui relient entre elles les 2 cavités) ménage un volume supplémentaire pour la saumure et empêche une augmentation ultérieure de la pression (*in* B. Brouard, 1998). Ces phénomènes ont été vérifiés par les écoutes sismiques.

7.3 - MODELISATION DE L'EVOLUTION A LONG TERME DE LA CAVITE

7.3.1 - Données générales

La société GEOSTOCK a réalisé sur le site de Vauvert, une étude ayant pour objectif :

- D'étudier le comportement à long terme des cavités en quantifiant l'effet des différents phénomènes (fluage, augmentation de la température et perméation de la saumure dans le sel) sur la pression et le volume de la cavité.
- D'évaluer le temps d'attente nécessaire avant fermeture et estimer les volumes de saumure entrés dans le massif.

Cette étude a pris en compte :

- trois géométries différentes de cavités,
- quatre températures différentes de cavités au moment de la fermeture définitive de la cavité, en considérant que la température de la cavité en fin de lessivage est de 35°C et que la température d'équilibre thermique est de 100°C,
- deux lois de fluage pour effectuer les calculs (Lemaitre et Norton),
- quatre perméabilités pour le sel,
- la pression de pore initiale dans le massif est la pression halmostatique,
- l'historique de la cavité dans le cas type est :
 - ✓ Exploitation : 10 ans,
 - ✓ Purge à pression halmostatique : 18 ans (temps nécessaire pour atteindre un écart de 15°C entre cavité et massif),
 - ✓ Fermeture de puits.
- Calcul par éléments finis, avec hypothèses telles que milieu homogène et modèle en petite déformation.

7.3.2 - Effet de la géométrie sur la thermique

- Le facteur de forme de la cavité (ratio volume sur surface) joue sur l'évolution de la température en cavité.
- Une cavité moins élancée prendra plus de temps pour atteindre l'équilibre thermique.
- Environ 10 ans après la fin de l'exploitation, l'écart entre la température en cavité et le massif diminue jusqu'à 20 – 30°C en fonction de la forme.
- La vitesse d'augmentation de la température en cavité diminue avec le temps.
- Une fermeture de cavité sans attendre peut conduire à la sur-pressurisation de la cavité et à l'apparition d'une fracturation hydraulique.
- Le temps minimal d'attente avant de fermer une cavité après son arrêt est de 6,5 ans pour les trois géométries.

7.3.3 - Effet du fluage du sel

- L'effet du fluage est étudié dans le cas d'une mise en purge continue d'un doublet à l'arrêt de celui-ci. Le puits est donc ouvert et le fluage de la cavité provoque l'expulsion de saumure à la manière d'une outre que l'on presserait.
- A la pression halmostatique, correspondant à la pression de la colonne de saumure entre la surface et la base de la cavité (puits ouvert), une cavité perd au moins 6% de son volume par an.
- Pour une cavité de 500 000 m³ le débit de purge devient quasi-nul au bout de 13 à 16 années. Le débit moyen de purge est à l'origine aux environs de 720 m³ par jour (cas de LGA1 en Novembre 2016).
- Longtemps après la fermeture définitive, selon la perméabilité du sel, la pression d'équilibre se situe entre 37 et 45 MPa (370 à 450 bars) ; le débit de perméation de la saumure dans le massif est inférieur à 1m³/jour.
- En cas de fuite le long d'une faille où d'un puits mal cimenté, le débit de fuite pourrait être comparé à celui d'un puits laissé ouvert en fin d'opération de purge, soit quelques mètres cubes par jour. Ce débit de fuite sera décroissant avec le temps, le volume de la cavité continuant à diminuer pour devenir à terme insignifiant.

7.4 - CONCLUSION SUR LE DELAISSEMENT DES CAVITES DES DOUBLETS EN FIN D'EXPLOITATION

A l'heure actuelle, aucun puits de la concession de PARRAPON n'a fait l'objet d'une procédure d'abandon définitif :

- Le puits PA6 a été délaissé et est entièrement cimenté sur toute la hauteur.
- PA3 n'a pas été exploité ; il est délaissé avec bouchon en béton (sur quelques centaines de mètres).
- PA2, 3, 5, 7, 9 sont délaissés avec bouchon en béton.
- PA8 est délaissé avec bouchon de béton ; le bouchon de ce puits montre un suintement d'eau (douce) et le puits nécessite d'être purgé.
- Les puits PA1, 4, 10, 11, 12 sont délaissés avec capteur de pression.
- Les puits PA13 à PA23, PA26 à PA29, LGA1 à LGA6 sont en position d'arrêt avec capteur de pression.
- PA24-25 et LGA1 sont en purge ; LGA1 expérimente le procédé de purge continue avec dilution de la saumure.

Les trois projets de doublets (n°1 à 3), et les deux projets de puits de reconnexion (puits n°4 et n°5), objet de la présente demande, seront forés au cours d'une période de 5 à 10 années environ qui

suivra l'autorisation d'exploiter. Leur exploitation sera poursuivie pendant environ 10 ans avant qu'ils ne soient mis à l'arrêt.

Le scénario actuel proposé pour la mise en sécurité des cavités s'appuie sur les différentes zones interconnectées qui ont été mises en évidence, et privilégie la purge la plus complète possible des saumures résiduelles des cavités en laissant le fluage du sel refermer les cavités.

L'étude à long terme du comportement géomécanique d'une cavité permet d'entrevoir une fermeture des cavités par fluage sur une période évaluée entre 15 et 20 ans. Ce scénario est possible en raison de la grande profondeur du gisement qui permet d'envisager la fermeture complète des cavités sans provoquer de dommage en surface autre qu'une subsidence accrue du sol qui restera dans les limites actuelles (2 à 2,5 cm/an).

Le scénario standard d'abandon des trois doublets de puits et des deux puits de reconnexion, est précisé dans l'article 7 de l'AP N°30-2019 du 20 mai 2019 :

« Le scénario standard de fermeture est la purge lente continue d'un puits du doublet considéré pendant plusieurs années.

Pendant cette phase, l'exploitant est tenu de :

- **contrôler régulièrement la hauteur de planche,**
- **la température,**
- **la pression en tête de puits sur l'autre puits du doublet,**
- **contrôler l'évolution de la subsidence dans le respect des dispositions de l'article 1.8 du présent arrêté,**
- **mettre en œuvre les écoutes sismiques,**
- **mettre en purge le deuxième puits si perte de la connexion hydraulique, dans un délai qui fera l'objet d'une validation par le service en charge de la police des mines.**

La fermeture définitive des puits doit respecter les prescriptions du décret 2016-1303 du 04/10/2016 et l'arrêté du 14/10/2016.

Cette opération fait l'objet d'un programme de fermeture spécifique devant préalablement être soumis à la validation du service en charge de la police des mines. »

7.5 - DISPOSITIF DE SURVEILLANCE A COMPTER DE 2023

Le dispositif de surveillance des doublets à l'arrêt est poursuivi et ajusté suivant les besoins et la réglementation en vigueur.

Le nombre de points altimétriques a été significativement augmenté suivant les recommandations d'une étude INERIS de 2020.

Un suivi des pressions et validation de l'évolution des cavités dans le temps, et mise en purge régulières est réalisé.

8 - OBTURATION DEFINITIVE DES PUIITS

8.1 - OBJECTIF DE L'OBTURATION D'UN PUIITS

La période de surveillance permet de contrôler que les conditions de pressions et températures de la cavité sont conformes et donc de ne plus craindre une fracturation de l'encaissant liée à la dilatation de la saumure. Après cette période, l'obturation du puits peut être réalisée.

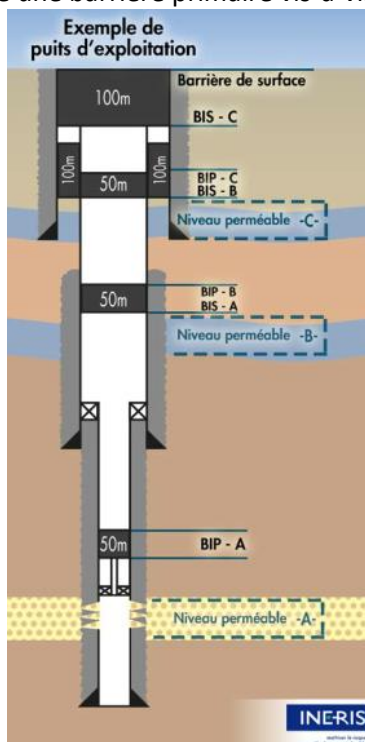
L'obturation définitive d'un puits a trois objectifs :

- Isoler la saumure encore contenue dans les cavités au moment de la fermeture des niveaux aquifères de la couverture,
- Assurer la séparation des différents aquifères entre eux,
- Isoler les aquifères supérieurs de la surface

Ainsi, chaque niveau (ou série de niveaux) perméable doit être isolé :

- D'un autre niveau perméable par au moins 1 barrière ;
- De la surface du sol (ou du fond de la mer) par au moins 2 barrières : une barrière d'isolation primaire (BIP) et une barrière d'isolation secondaire (BIS).

Une barrière secondaire peut être une barrière primaire vis-à-vis d'un autre niveau perméable.



Principe de fermeture
définitive d'un puits
(source : Rapport d'étude
DRS-15-149641-01420A du
06/05/2015 INERIS)

Si un niveau perméable est trop proche de la surface, de façon à ce qu'il est physiquement impossible de placer 2 barrières distinctes de longueur suffisante, alors une barrière unique remontant jusqu'à la surface sera mis en place.

8.2 - RAPPEL REGLEMENTAIRE

L'obturation des puits d'exploitation de sel doit répondre aux prescriptions du Décret 2016-1303 du 04/10/2016 et en particulier l'arrêté du 14/10/2016 relatifs aux travaux de recherche par forage et d'exploitation par puits de substances minières.

8.2.1 - Disposition des barrières (bouchons cimentés)

- Une barrière obture toute la section du forage,
- Les barrières doivent isoler les ensembles de niveaux perméables potentiellement aquifères, entre eux ou entre lesquels un débit incontrôlé est acceptable, des autres niveaux ainsi que de la surface,
- En cas de mise en défaut d'une barrière, la pression régnant alors à la base de la barrière immédiatement au-dessus, doit rester inférieure à la pression de craquage des terrains à la base de cette barrière.

8.2.2 - Longueurs minimales des bouchons à installer

- Cuvelage ou cimentation sans détection de caves à l'extrado du puits : 50 m,
- Annulaires ou cimentation cavés, fortement déviés ou à pertes : 100 m,
- Surface : la longueur est doublée ou deux barrières sont installées en respectant les règles d'isolation entre niveaux perméables.

8.2.3 - Contrôles préalables à la fermeture

- Contrôle des cimentations avant la mise en place du double cuvelage,
- Mesure des pressions,
- Essais de ciment dans les conditions d'utilisation.

8.2.4 - Contrôle des barrières (bouchons) après pose

- Contrôle de la cote de la surface supérieure,
- Tenue mécanique,
- Etanchéité.

8.3 - ENSEMBLES AQUIFERES A PROTEGER

La présentation détaillée du contexte hydrogéologique est fournie dans la pièce G du dossier de demande

De manière synthétique, les aquifères recoupés depuis la surface par les puits et à prendre en compte sont les suivants :

- Les aquifères du Villafranchien et des sables de l’Astien : il s’agit d’un ensemble aquifère siégeant dans les formations superficielles, alluvions et sables, situé entre la surface et 100 m de profondeur. Il alimente des puits privés, à usage agricole essentiellement.
- L’aquifère multicouche du Vindobonien - Burdigalien : Cet ensemble d’environ 200 à 300 m d’épaisseur est recouvert par une puissante série d’argile du Plaisancien (400 m) qui en assure l’étanchéité par rapport à la surface. Les terrains du miocène sont situés entre 750 et 950 m de profondeur et composés d’un ensemble argilo-marneux au sein duquel des horizons poreux peuvent se trouver (grès, silto-sableux). Ces niveaux poreux peuvent être porteurs d’eau.
- L’aquifère de l’Aquitaniens supérieur : la formation est composée principalement d’argiles avec des lits sablo-gréseux d’épaisseur métrique à décimétrique situés dans les 300 premiers mètres de l’Aquitaniens supérieur, sous le Burdigalien. L’ensemble forme un aquifère de type multicouche où les horizons drainants poreux sont discontinus et limités par les failles listriques affectant les terrains de l’Aquitaniens.

8.4 - MISE EN PLACE DES BARRIERES NECESSAIRES POUR LA FERMETURE DES PUIITS DES TROIS DOUBLETS ET DEUX PUIITS DE RECONNEXION

La définition de la position et des caractéristiques des barrières pour la fermeture définitive des puits objet de la présente demande d’autorisation, sera définie précisément à l’issue de l’arrêt d’exploitation des sondages .

Conformément à l’article 41 du Décret n° 2016-1303 du 4 octobre 2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d’exploitation par puits de substances minières, les modalités de fermeture de ces ouvrages, seront rappelées dans le programme de fermeture définitive est porté à la connaissance du préfet par l’exploitant, deux mois avant la date du début de réalisation des travaux avec tous les éléments recueillis au cours de l’opération de forage et ceux lui permettant de juger de l’efficacité des dispositions prévues.

La définition de ce programme de fermeture nécessite de disposer des caractéristiques de l’ouvrage (rapport de fin de travaux de chaque puits) et de tenir compte du retour d’expérience de KEM ONE sur les autres travaux de fermetures d’ouvrages antérieurs.

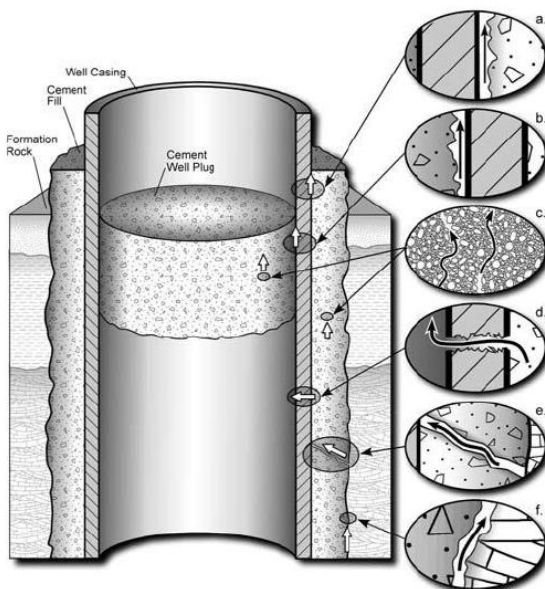
8.5 - ETANCHEITE ET VIEILLISSEMENT DES TUBAGES DANS LES PUIITS

La question du vieillissement des puits et du devenir de leur étanchéité à long terme est une question prégnante dans la mesure où les cavités délaissées seront amenées à perdurer dans le sous-sol comme on l'a vu précédemment pendant quelques décennies.

Il est donc nécessaire d'évaluer et de prendre en compte dans l'évolution à long terme de la cavité, l'impact éventuel de fuites par le puits qui peuvent être présentes au moment du délaissement (même si elles sont souvent faibles à ce stade) ou apparaître plus tard sous l'effet du vieillissement des cimentations.

Les fuites par le puits peuvent conduire à la circulation de fluides à l'intérieur d'un coffrage cimenté ayant des défauts causant la perte d'intégrité :

- Entre le coffrage et le ciment,
- Entre un bouchon de ciment et le coffrage,
- À travers le bouchon de ciment,
- À travers le ciment présent entre le coffrage et les unités géologiques,
- À travers le ciment à partir d'un bris dans le coffrage vers les unités géologiques.
- À travers le ciment à partir des unités géologiques vers le coffrage,
- Entre le ciment et les unités géologiques,



Fuites potentielles le long d'un puits abandonné

- a&b : entre ciment et le casing en acier
- c&e : à travers le ciment
- d : à travers le tubage
- f : entre le ciment et la roche

Schéma des différentes potentialités de fuites le long d'un puits délaissé. (in INERIS, 2011)

Un log de cimentation est réalisé peu de temps après la cimentation de chaque tubage lors de l'équipement du puits.

8.6 - DEMONTAGE DES CONDUITES DES PISTES ET DES INSTALLATIONS

Toutes les conduites, lignes électriques, coffrets électriques... desservant un doublet sont démontés une fois le puits définitivement obturé.

Les matériaux recyclables sont recyclés, les non recyclables sont éliminés par une filière appropriée.

Les pistes seront décapées et recouvertes de terre végétale pour rendre le terrain à sa vocation initiale.

9 - REHABILITATION DES PLATEFORMES DE FORAGE

Lorsque la fermeture définitive des puits sera achevée, le titulaire de la Concession procédera à la remise en état des sites sur lesquels les plates-formes de forage ont été réalisées.

La réhabilitation du site se déroulera en 2 parties :

- Audit environnemental du site avec prélèvement et analyses de sol,
- Réaménagement du site.

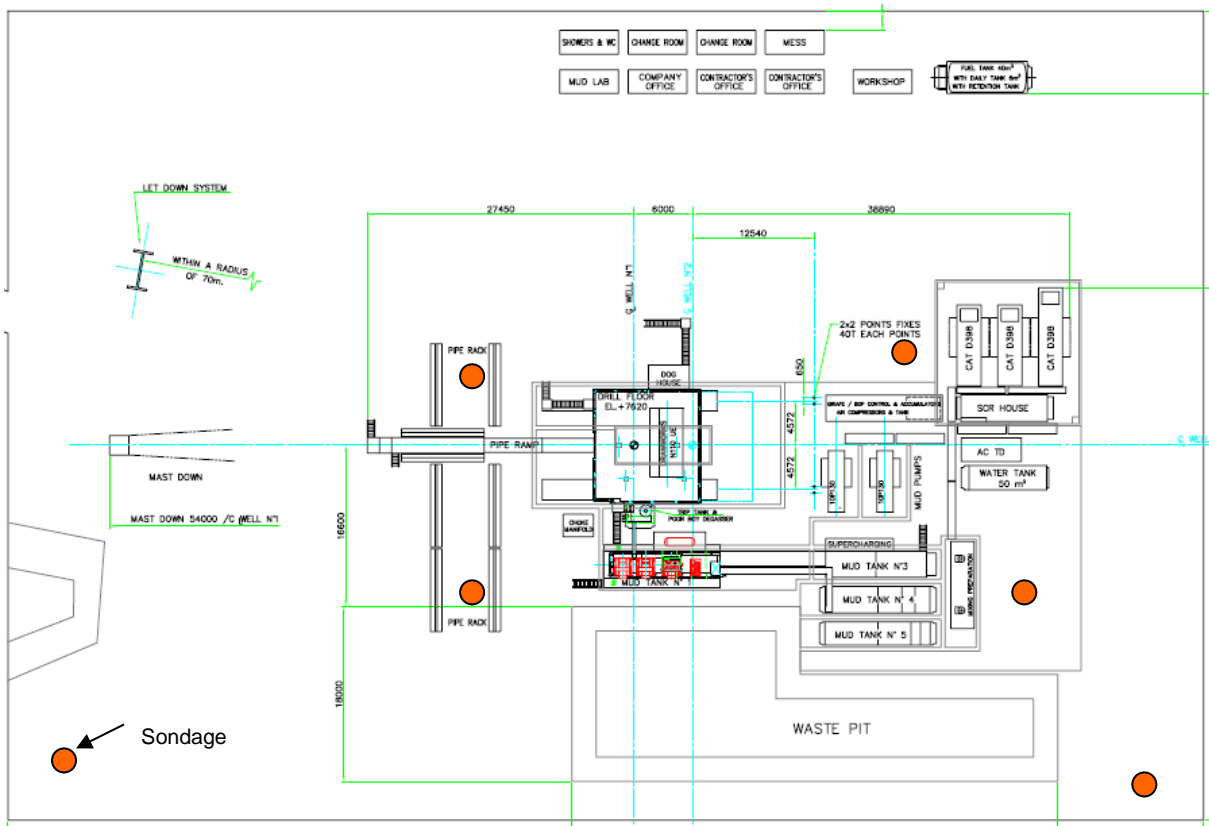
9.1.1 - Audit environnemental

Cet audit aura pour objectif d'évaluer l'état des lieux avant la remise en état du site. Les terrains sont destinés à reprendre une activité agricole (vignoble, arboriculture).

- Repérage des lieux : Le repérage consiste à déterminer sur le site les zones de prélèvement de sol en fonction du plan de masse de la plate-forme de forage. Positions des bacs à boue, bourbier, moteurs diesel, pompes etc.
- Positionnement des prélèvements : Sur chaque site un sondage sera réalisé et servira de point de référence.
- Le plan d'échantillonnage est déterminé suivant l'activité et l'historique du site. Toutes les zones suspectes font l'objet d'un prélèvement.
 - Tête de puits,
 - Stockages de produits à boue,
 - Bourbiers.

9.1.2 - Méthode de prélèvement

- Les sondages sont effectués à l'aide d'une pelle mécanique,
- Chaque couche est séparée selon la couleur, la texture et/ou la granulométrie,
- La profondeur du prélèvement est déterminée par l'atteinte de la nappe phréatique ou le sol initial.



Exemple de plan d'échantillonnage sur une plate-forme

9.1.3 - Analyses (Normes de Mesures)

Les échantillons de sol sont soumis aux déterminations suivantes :

- Indice d'hydrocarbures : normes X 31410
- Analyse des Métaux toxiques (métox) : normes NF EN ISO 11885 et NF EN 1483
- Analyse du Calcium et du Baryum : norme NF EN ISO 11885
- Mesure de pH : norme ISO 10390

Analyses complémentaires effectuées sur les eaux de lixiviation :

- Test de lixiviation : 1 x 24 h
- pH : norme NF T 90 008
- Indice d'hydrocarbures : norme NF EN 9377-2
- Métox : normes NF EN ISO 11885 et NF EN 1483
- Demande Chimique en Oxygène (DCO) : norme NF T 90101
- Calcium & Baryum : norme NF EN ISO 11885
- Sel dissous : norme NF T 90029

9.1.4 - Diagnostic

La démarche suivie pour le diagnostic est basée sur :

- Méthodologie de Ministère de l'environnement applicable aux sites et sols pollués en date du 08 février 2007 révisée par la circulaire du 19 Avril 2017 ;
- Norme AFNOR NF X 31-620 « Qualité du sol – Prestations de service relatives aux sites et sols pollués » ;

9.1.5 - Elimination des terres polluées et matériaux inertes

2 stocks de matériaux distincts seront réalisés :

- Les boues de forages et terres polluées éventuellement présentes sur site
- Les matériaux inertes (blocs de béton et gravats)

Compte tenu de la nature des boues de forage et terres polluées celles-ci seront envoyées dans un centre de Stockage adéquate.

9.1.6 - Réhabilitation des sols

La réhabilitation comprendra les étapes suivantes :

- Déconnection et suppression du réseau électrique et enlèvement des conduites d'injection d'eau et de retour de la saumure entre le puits et la Saline
- Arasement de la plateforme béton sur une profondeur maximale de 1 m. Le déblai est remplacé de la terre et recouvert de terres végétales ;
- Remise en état de la plateforme et pistes devenues inutiles avec décaissement sur 40 centimètres et remplacement par des terres de caractéristiques comparables aux terres à proximité.

10 - ESTIMATION PREVISIONNELLE DU COUT DE L'ARRET DES Puits DU PROJET

Les coûts de mise à l'arrêt, puis de fermeture définitive d'un doublet de production sont étalés sur une durée variant de 15 à 20 ans.

Ces coûts se répartissent en deux phases :

- La phase de surveillance et de purge,
- Les travaux d'obturation et de suppression de la plateforme.

Section	Nombre de puits	Coût estimé des travaux d'obturation des puits associés en euros	Coût estimé de la phase de surveillance et de purge par groupe d'ouvrage en euros
Projet n°1	2	2 000 000	100 000
Projet n°2	2	2 000 000	100 000
Projet n°3	2	2 000 000	100 000
Projet n°4	1	1 000 000	100 000
Projet n°5	1	1 000 000	100 000
		8 000 000	500 000
TOTAL		8 500 000	

Le montant total de la fermeture des ouvrages associés au cinq projets doublets est de 8 500 k€

Le financement de ces travaux est assuré par une provision par tonne de sel extraite pour les ouvrages concernés.

11 - SURVEILLANCE APRES LA FERMETURE

Les conditions de surveillance après la fermeture définitive des ouvrages sont décrites dans l'article L.163-4 de l'ordonnance n°2011-91 du 20/01/2011.

« Dans le cas où il n'existe pas de mesures techniques raisonnablement envisageables permettant de prévenir ou faire cesser tout désordre, il incombe à l'explorateur ou à l'exploitant de rechercher si des risques importants susceptibles de mettre en cause la sécurité des biens ou des personnes subsisteront après l'arrêt des travaux. Si de tels risques subsistent, il étudie et présente les mesures, en particulier de surveillance, qu'il estime devoir être poursuivies après la formalité mentionnée au premier alinéa de l'article L.163-9. »

Dans le cas de l'exploitation du site de Vauvert, la surveillance après la fermeture définitive ne concernera plus que le contrôle de la subsidence des terrains pour une durée de 10 ans. Le détail des mesures prises et du réseau de suivi mis en place est présenté dans la PJ04.