



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

AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE UNIQUE
AU TITRE DES TRAVAUX MINIERES

PJ. n°81 du CERFA 15964-03

Présentation des travaux et de la méthode d'exploitation

Commune de Vauvert (Gard)

Rn23.19
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°81 DU CERFA 15964-03

PRESENTATION DES TRAVAUX ET METHODE D'EXPLOITATION

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)		X
Vérificateur(s)		X
Approbateur		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
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 align="center">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 align="center">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 - OBJET DU DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION.....	8
2 - REALISATION DES OUVRAGES	10
2.1 - DESCRIPTION DES INSTALLATIONS PERMANENTES.....	10
2.1.1 - Les installations d'extraction	10
2.1.2 - Les installations de collecte.....	11
2.1.3 - Station centrale de pompage.....	13
2.2 - RAISON DU CHOIX DE L'EMPLACEMENT DES DOUBLETS DE PUIITS DU PROJET	14
2.3 - DEROULEMENT DES TRAVAUX	15
2.4 - REALISATION DES INFRASTRUCTURES DE SURFACE POUR LA CREATION DES OUVRAGES	16
2.4.1 - L'aménagement des plateformes	16
2.4.2 - Installations de barrières sur les chemins d'accès	16
2.5 - LES TRAVAUX DE FORAGE ET D'EQUIPEMENT DES PUIITS	17
2.5.1 - Etablissement du cahier des charges pour les puits.....	17
2.5.2 - Mise en place du chantier de forage.....	17
2.5.3 - Forage des puits.....	20
2.5.4 - Les opérations de cimentation.....	25
2.5.5 - La récupération des fluides et déblais de forage	26
2.5.6 - Les opérations de connexion des deux puits	27
2.5.7 - Insertion paysagère de l'ouvrage.....	29
2.6 - LES RACCORDEMENTS AUX CIRCUITS EXISTANTS	29
2.6.1 - Les têtes de puits.....	29
2.6.2 - Les clôtures	30
2.6.3 - Raccordement à la saline	30
2.6.4 - Les réseaux de distribution et de collecte	31
3 - METHODES D'EXPLOITATION DES OUVRAGES.....	32
3.1 - LE PRINCIPE DE LA METHODE	32
3.2 - DESCRIPTION DES PUIITS DE LA SALINE DE VAUVERT.....	33
3.3 - OUVRAGES CONCERNES PAR LE PROJET D'EXPLOITATION	34
3.4 - DIMENSIONNEMENT DES CAVITES.....	35
3.5 - EXPLOITATION DES DOUBLETS.....	35
3.5.1 - Lessivage des cavités	35
3.5.2 - Contrôle de l'exploitation.....	37
3.6 - CONTROLE DE LA DISSOLUTION	38
3.6.1 - Les mesures de débits	38
3.6.2 - Les mesures de pression.....	38
3.6.3 - Les mesures de densité	38
3.6.4 - Les mesures par diagraphies.....	39
3.6.5 - Les mesures d'échométrie de cavité (sonar)	39
3.7 - OPERATIONS SUR PUIITS PENDANT L'EXPLOITATION D'UN DOUBLET.....	39
3.7.1 - Bouchage du puits extracteur	40

3.7.2 - Perte de connexion entre puits	40
3.7.3 - Bouchage de puits.....	41
3.7.4 - Cristallisation du puits et dans les canalisations de surface	42
3.7.5 - Bilan	42
3.8 - LE SUIVI DE L'EXPLOITATION	43
3.8.1 - Les consignes d'exploitation	43
3.8.2 - Suivi journalier	43
3.8.3 - Rapport mensuel.....	43
3.8.4 - Bilan annuel	43
3.9 - CONTROLES DE LA STABILITE - SURVEILLANCE DE LA SUBSIDENCE DES TERRAINS	43
3.9.1 - Mesure des déplacements altimétriques des puits.....	44
3.9.2 - Evaluation actuelle la subsidence : limite de la zone et vitesses.....	47
4 - GESTION DE L'ENERGIE, DE L'EAU, DES CONSOMMABLES, DES DECHETS ET DES MOYENS MIS EN ŒUVRE	51
4.1 - GESTION DE L'ENERGIE ET DE L'EAU	51
4.1.1 - Energie électrique	51
4.1.2 - Consommation et utilisation rationnelle de l'Energie.....	51
4.1.3 - Couverture des besoins en hydrocarbures	51
4.1.4 - Gestion de l'eau consommée	52
4.2 - GESTION DES DECHETS	52
4.3 - MOYENS MIS EN ŒUVRE.....	53
4.3.1 - Personnel employé et horaires de fonctionnement	53
4.3.2 - Logistique, transport et approvisionnements	53
5 - ARRET DE L'EXPLOITATION	54

LISTE DES DOCUMENTS

CARTE 1 : LOCALISATION DES PROJETS DE DOUBLETS ET DE PUIIS	9
--	---

1 - OBJET DU DOSSIER DE 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 comptait 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 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.

Ce développement conduit à effectuer des puits supplémentaires et nécessaires à l'augmentation de la production. La production actuelle est de 1 000 000 de tonnes de sel par an sous forme de saumure saturée en chlorure de sodium.

Pour la présente demande, le projet d'exploitation consiste en la réalisation de 3 nouveaux doublets de puits dénommés Projet n°1, n°2 et n°3 et de 2 autres puits appelés « Puits de reconnexion », Projet n°4 et 5, qui formeront de nouveaux doublets avec des puits préexistants. La demande concerne également les infrastructures associées (conduites et plateformes).

Ces projets de doublets et de puits sont situés dans l'emprise de la concession de PARRAPON, dans le voisinage des puits existants.

Carte 1 : Localisation des projets de doublets et de puits

2 - REALISATION DES OUVRAGES

2.1 - DESCRIPTION DES INSTALLATIONS PERMANENTES

L'exploitation d'un doublet de puits nécessite l'utilisation d'installations existantes réputées permanentes qui comprennent :

- Les installations d'extraction,
- Les installations de collecte,
- La station centrale

Ces installations existantes de la Saline, ne font pas partie du projet de création de doublets objet de la présente demande d'autorisation environnementale. Ces installations sont décrites ci-dessous pour mémoire :

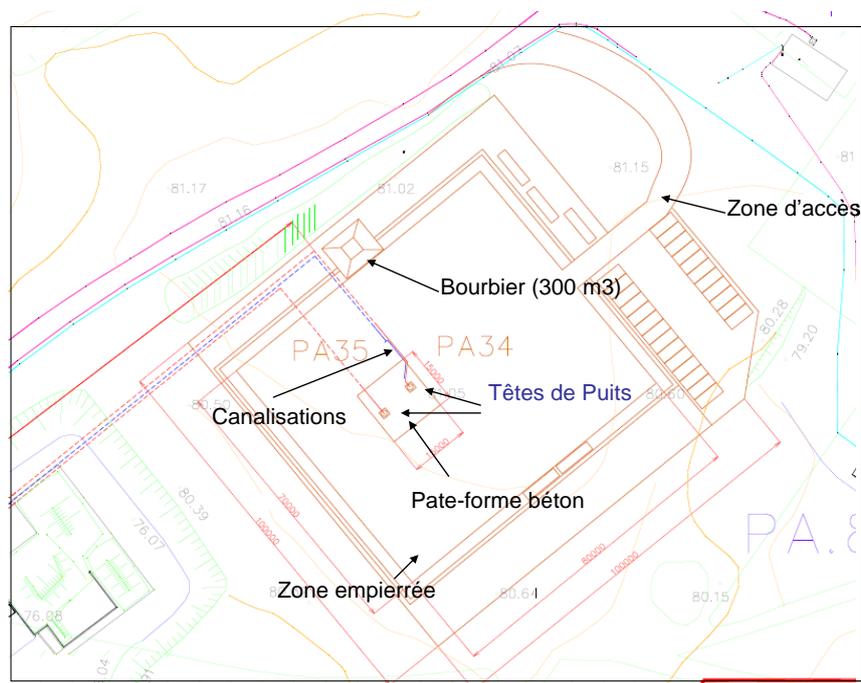
2.1.1 - Les installations d'extraction

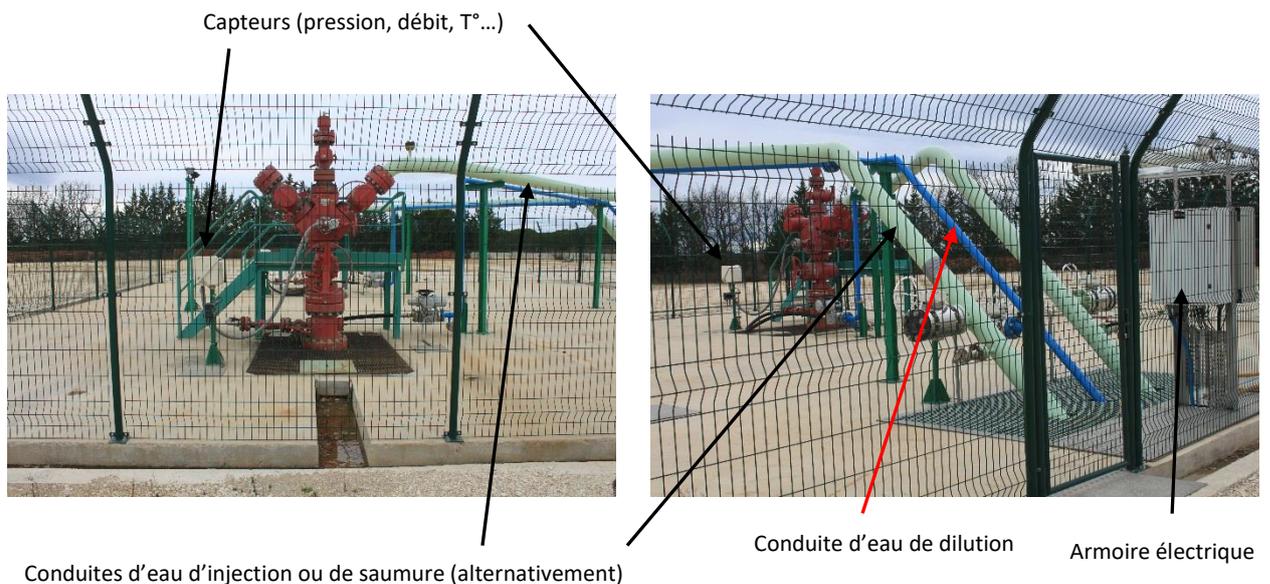
Ce sont les puits d'injection et d'extraction de saumure forés par sondage.

L'installation est constituée d'une plateforme en terrain stabilisé d'environ 1 ha et comprend :

- Une dalle bétonnée d'une surface d'environ 400 m²,
- Des caniveaux autour de la surface bétonnée pour recueillir les fluides (eau, saumure, boues et eau météorique),
- Deux puits équipés chacun d'une tête de puits et placées dans une cave de petite dimension (8 m³) située au centre de la plate-forme,
- Un borbier de 300 m³ environ de capacité, permettant de collecter tous les fluides recueillis par les caniveaux lors des opérations de forage, de cimentation, d'exploitation et d'interventions de maintenance,
- Des conduites raccordées sur chaque tête de puits afin de permettre l'amenée de l'eau et le retour de la saumure vers la station centrale : une tuyauterie destinée au transport de la saumure extraite et à l'amenée de l'eau, raccordant chaque tête de puits avec la saline, ainsi qu'une tuyauterie d'eau de dilution commune aux deux puits provenant de la station de pompage de la saline

Une clôture grillagée interdit l'accès aux têtes de puits avec portillon verrouillé. Une barrière cadenassée interdit l'accès à la plateforme.





Les différentes phases de construction comprennent :

2.1.2.1. Exécution de la fouille pour la réalisation des tranchées

Il est fait appel à une entreprise utilisant des engins classiques choisis en fonction de la nature du terrain. La largeur de la bande de terrain utilisée est calculée au plus juste pour une exécution convenable des travaux. Selon le nombre de canalisations à poser, la largeur de la fouille est d'environ 2,5 m mètres et la profondeur varie de 1 mètre à 1,4 mètre. Une bande de roulage provisoire contiguë à la fouille et d'une largeur de 4 à 5 mètres est aménagée pour le déplacement des engins.

2.1.2.2. Bardage des Tubes

Le transport des tubes, depuis les lieux de livraison jusqu'au lieu de pose (bardage), est réalisé par l'entreprise de construction du réseau de collecte en choisissant un itinéraire pour lequel la gêne vis-à-vis de la circulation est la plus réduite.

2.1.2.3. Soudage et contrôle des soudures

Les différentes opérations de soudage sont effectuées simultanément par une ou plusieurs équipes de soudeurs accompagnés d'engins portant les postes de soudure et supportant les tubes. Pour éliminer tous risques imprévus, l'entreprise dispose d'appareillage de lutte contre toute inflammation éventuelle de la végétation voisine.

2.1.2.4. Epreuves

Avant enfouissement des conduites, des essais hydrauliques de résistance à la pression calcul nécessaire-sont effectués.

2.1.2.5. Rebouchage et remise en état des lieux

Avant de procéder au rebouchage, les câbles électriques et de télétransmissions sont mis en place et recouverts de sable sur 0,30 m d'épaisseur et sur lequel un grillage avertisseur est posé sur toute la longueur du tracé.

Le rebouchage s'effectue en procédant dans l'ordre inverse de celui du terrassement : les terrains de l'approfondissement sont remis en place d'abord et en veillant à conserver la profondeur nécessaire du recouvrement superficiel réalisé à l'aide de la terre végétale mise de côté.

L'entreprise procède alors au nettoyage de la bande de roulement et le terrain est rendu propre et griffé.

2.1.3 - Station centrale de pompage

Les doublets seront reliés à la station de pompage de la saline. Cette station pourra subir des modifications mineures consistant à la mise en place des conduites en liaison avec les canalisations desservant les nouveaux puits de la zone de Parrapon.

Dans la saline, un groupe composé de deux pompes fonctionnant en alternance, comprime, après filtration, l'eau provenant de BRL et la refoule à un ensemble de « manifolds » (système de vannes et de tuyauteries servant, pour chaque doublet, à la distribution de l'eau de dissolution et à la collecte de la saumure). Un manifold est relié à un doublet et gère l'ensemble des fluides qui y transitent.



Cuve d'eau BRL et pompes d'injection

2.2 - RAISON DU CHOIX DE L'EMPLACEMENT DES DOUBLETS DE PUIITS DU PROJET

La structure du fossé salifère Oligocène de Vauvert est complexe ; sa connaissance s'approfondit année après année par une analyse minutieuse des données issues des 49 sondages précédents (Parrapon et La Galine) et des études géophysiques.

Depuis 2021, KEM ONE a engagé de nouvelles études permettant d'affiner le modèle géologique du gisement s'appuyant sur :

- Un nouveau retraitement / interprétation des profils de sismique réflexion en 2 dimensions, étude finalisée en 2022 par la société CDP Consulting,
- Une campagne de sismique réflexion en 3 dimensions réalisée en octobre 2023, permettant l'acquisition de données nouvelles. Le traitement des données doit s'achever en mai 2024, et se poursuivra par une nouvelle interprétation du modèle géologique en 3 dimensions (logiciel spécialisé Kingdom). Etude réalisée par la société CDP Consulting,
- Un travail de data-management (prestation INGEN en 2023), de numérisation (prestation CVA en 2023) et transformation en fichiers excel (prestation Agile Data Decision en 2023-24), des données géologiques afin de les intégrer au nouveau modèle numérique en 3 dimensions du gisement.
- Les corrélations géologiques et structurales entre les puits existants, qui sont en cours de révision et d'approfondissement, par la géologue KEM ONE et la société INGEN,
- L'établissement de nouvelles cartes, en profondeur et en épaisseur pour les principaux niveaux géologiques, de nouvelles coupes et d'un modèle en 3 dimensions (en cours), résulte progressivement de ces études

L'implantation des zones de travaux projetées résulte donc des investigations ainsi que de l'emplacement des doublets de puits existants et des cavités de dissolution profondes associées. Un doublet peut rester en production pendant une durée de cinq à dix ans.

L'emplacement de ces ouvrages est fourni dans le document n°16.166/B01.

- Le doublet PA44-45,
- Le doublet PA46-47,
- Le doublet PA48-49,
- Le puits PA50,
- Le puits PA51

2.3 - DEROULEMENT DES TRAVAUX

Les travaux du projet comprendront cinq phases principales :

- Phase 1 : les travaux préparatoires destinés à l'aménagement des pistes et plateforme en vue de l'accueil de l'appareil de forage (RIG) ;
- Phase 2 : les travaux de forage des doublets de puits ;
- Phase 3 : les travaux de raccordements des doublets de puits à la Saline de Vauvert ;
- Phase 4 : Exploitation des doublets de puits ;
- Phase 5 : Arrêt de l'exploitation et procédure d'arrêt des travaux.

La Phase 5 est décrite dans la PJ 83 « Conditions d'arrêt des travaux » de la présente demande d'autorisation environnementale.

La description des phases 1 à 4 fait l'objet des paragraphes suivants de la PJ 81 « Exposé relatif aux méthodes de recherche ou d'exploitation envisagées ».

Les travaux de foration et d'installation des doublets s'étaleront sur 5 à 10 ans à partir de l'obtention de l'autorisation. En moyenne, il est prévu la réalisation d'un doublet tous les 2 ans.

Les délais de réalisation moyens d'un doublet sont les suivants :

- Réalisation de la plateforme : 2 mois
- Réalisation du doublet (foration équipement) : 14 semaines,
- Raccordement : 4 semaines.

Il faut donc entre 4 et 6 mois pour réaliser un doublet et le connecter à la saline.

2.4 - REALISATION DES INFRASTRUCTURES DE SURFACE POUR LA CREATION DES OUVRAGES

Chaque doublet nécessite la création d'une plateforme de moins de 100 m de côté, dont la partie centrale (20 mx 20 m) est bétonnée pour pouvoir recevoir les charges les plus lourdes.

Ces plateformes sont destinées à permettre la mise en place d'un atelier de forage (RIG) pour la création du doublet. Cette plateforme sera maintenue ensuite pendant toute la durée de vie de l'ouvrage de manière à pouvoir réaliser des travaux de maintenance lourde sur le doublet, si la nécessité l'imposait. Cette plateforme comprend une partie bétonnée pour supporter les charges de l'atelier de forage et une partie stabilisée et empierrée.

2.4.1 - L'aménagement des plateformes

Chaque plateforme est dimensionnée pour recevoir toutes les installations et matériels indispensables à la bonne exécution du doublet de puits.

Un schéma type de plateforme est représenté ci-dessous : ce schéma est sujet à adaptation en fonction de la configuration du terrain.

A l'issue de la réalisation de la plateforme et de la création des ouvrages associés, les pourtours de la plateforme font l'objet d'une végétalisation pour améliorer l'insertion paysagère de l'ouvrage.

2.4.2 - Installations de barrières sur les chemins d'accès

Des barrières et/ou merlons interdiront l'accès aux plateformes des ouvrages. Les travaux faisant l'objet de cette demande sont réalisés sur des plate-forme existantes et ne feront pas l'objet de nouveaux accès.

2.5 - LES TRAVAUX DE FORAGE ET D'EQUIPEMENT DES PUIITS

2.5.1 - Etablissement du cahier des charges pour les puits

La partie technique d'un Cahier des Charges se limite à énumérer les contraintes techniques avérées concernant :

- L'implantation des forages,
- La coupe géologique prévisionnelle,
- L'architecture et le profil des puits,
- La qualité des tubages à mettre en place,
- Les contraintes géologiques inhérentes à la zone prospectée,
- L'acquisition de données par diagraphies instantanées et différées,
- La récolte et la présentation des données,
- Le traitement et l'évacuation des boues de forage,
- L'Hygiène, le Sécurité et l'Environnement.

2.5.2 - Mise en place du chantier de forage

L'atelier de forage est acheminé en kit par la route via des camions et des convois exceptionnels pour les éléments les plus encombrants.

Cette mise en place a une durée 2 semaines.



Appareil de Forage SMP104 pour PA 42-43



Vue aérienne d'une plate-forme de forage (RIG)

La vue aérienne de la plateforme de création des puits illustre la répartition des unités mobilisées pour le chantier et qui est présenté dans le schéma technique fourni page suivante

- Au droit de la plateforme bétonnée centrée sur la cave, l'appareil de forage (RIG)

- Une zone d'alimentation permet l'alimentation en énergie par un réservoir de carburant à double parois et des générateurs électriques (en général 2)
- Une série de pompes permettant la circulation de fluides de forage vers le puits en cours de forage
- Un atelier de fabrication, de dosage et recyclage du fluide de forage (boue de forage) assure l'approvisionnement en boue de l'atelier de forage. Cet atelier permet le contrôle en continu de la densité du fluide de forage. Cette densité est réajustée en fonction des formations géologiques traversées. Un atelier de tamisage et de cyclonage permet le recyclage des fluides de foration utilisés
- Les éventuelles égouttures ou fuites de fluides sont collectées sur les aires de chantiers par des caniveaux qui rejoignent le borbier de la plateforme de forage, permettant qu'aucun fluide ne sorte de l'aire de forage
- Un atelier mécanique et une zone de stockage des outils de forage
- Une zone de stockage des tubes de forage (casings)
- une zone pour les bungalows des entreprises de service qui sont nécessaires au travaux de forage

Une aire de parking de véhicules légers est délimitée en dehors de la plateforme de travaux.

Lors du chantier de forage, les utilités seront l'eau et la saumure pour la fabrication des fluides de forage, fournis par la saline.

Les besoins en électricité seront fournis par les groupes électrogènes mis en place sur le site et alimentera l'ensemble des installations de l'atelier de forage (pompes à boues...).

Conditions de ravitaillement des groupes électrogènes.

Les groupes électrogènes sont alimentés par un réservoir à double parois.



Réservoir de carburant à double parois

L'alimentation en carburant du réservoir est assurée par camion-citerne commandée auprès d'un fournisseur local. Le camion-citerne est équipé d'une pompe munie d'un pistolet, reposant sur un bac de rétention.

2.5.3 - Forage des puits

Les travaux de forage des puits décrits ci-après, se font dans le respect des dispositions du titre II (Dispositions spécifiques aux travaux de forage à terre) de l'arrêté du 14 octobre 2016, relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substances minières.

Les puits de reconnexion, Projet n°4 et n°5, sont forés exactement de la même façon que les puits des doublets des Projets n°1 à 3.

L'exécution des puits d'extraction s'effectue avec un appareil de forage capable d'exécuter un puits à une profondeur de 3 000 m. L'appareil est contracté avec son personnel à une compagnie de forage spécialisé.

Suivant les disponibilités de l'appareil de forage, il est possible de réaliser les avant-trous (*pilot holes*) jusqu'à 160 m de profondeur avec un petit appareil de forage

Le délai de réalisation d'un puits est de 6 semaines environ, ensuite si la technologie de l'appareillage le permet, l'appareil est ripé sur environ 9 m pour se positionner sur le second puits à forer. Si les conditions de ripage sont bonnes, il est recommandé d'utiliser la méthode de « batch drilling » qui consiste à forer successivement les mêmes phases des 2 puits. Cela réduit considérablement les volumes de boue à fabriquer pour chaque phase.

La fiche technique de sondage ci-dessous illustre les différentes opérations réalisées pendant le forage en fonction de la profondeur.

Tubage (pouces)	Diam. Trou (pouces)	Boue	Prof. sol. (m)	Lithologie	Formation	Age	Logging T.O.	Log. T.T	
	17 1/2"	Bent.	500	Cailloutis - Sable	Villafranchien	PLIOCENE	IND-SONIC-GR-CAL	DIPMETER-GR-CAL	
				Argile et Silts	Astien				
				Argile	Plaisancien				
				Argiles sableuse & grès glauconieux	Vindobonien				
	12 1/4"	KCl Bentonite ou Baryte	1000	Argile et intercalations de silt et grès et de calcaire	Burdigalien	MIOCENE	IND-SONIC-GR-CAL	DIPMETER-GR-CAL	
				Calcaires	Aquitainien				
				1500	Craie	Stampien			Allochtone Sup.
	8 1/2"	Salée saturée barytée	2500	Halite et intercalations d'anhydrites et marnes	Autochtone	OLIGOCENE	NEUTRON-DENSITY-GR-CAL	DIPMETER-GR-CAL	
				Marnes D1					
3000				Halite & interc. anh /marnes					

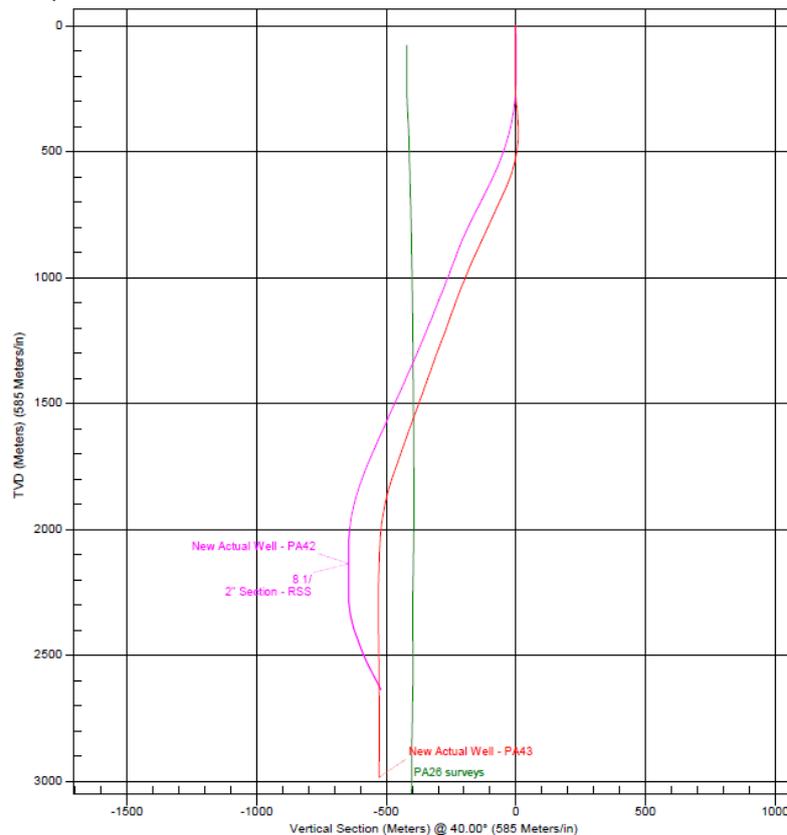
T.O. = Trou Ouvert T.T. = Trou Tubé

Exemple de fiche technique générale de sondage

2.5.3.1. Profil des puits

Les profils des puits sont en « S » :

- Le premier puits est foré verticalement jusqu'à une profondeur pouvant varier de 300 à 1000 m. Il est ensuite dévié en fonction de l'objectif déterminé par le géologue. Le puits est de nouveau orienté verticalement au droit du toit de l'horizon salifère qu'il pénètre ainsi verticalement ;
- Le profil du second puits est défini après avoir déterminé à l'aide des diagraphies, des cuttings de forage et du modèle géologique du gisement, la « cible » sur le premier puits. Le second puits est également foré verticalement au départ, puis dévié pour se rapprocher du premier puits.



Profil vertical des 2 puits

2.5.3.1. Méthode de forage

Le forage est réalisé au rotary, qui de manière synthétique, consiste à forer avec un train de tiges dans le sous-sol en y injectant une boue adaptée. Celle-ci va permettre de ramener à la surface des fragments de roches tout en assurant la tenue des parois du puits.

Le gisement de sel à Vauvert se trouve entre 1 700 et 3 000 m de profondeur. Pour atteindre ces profondeurs, on fore en trois étapes un trou de diamètre décroissant avec la profondeur.

- Forage en diamètre 17'1/2 sur les 160 premiers mètres environ,
- Forage en diamètre 12'1/4 jusqu'au toit de la série salifère à environ 1 900 m,

- Forage en diamètre 8'1/2 dans la série salifère jusqu'à 3 000 m environ.

Au fur et à mesure du forage, le puits est équipé, c'est-à-dire que l'on descend un tubage (casing) :

- Tubage en diamètre 13" 3/8 (avant trou de 160 m environ),
- Tubage en diamètre 9" 5/8 jusqu'au toit de la série salifère,
- Tubage en diamètre 7" dans la série salifère.

La succession des tubages mis en place au fur et à mesure du forage est la suivante :

Profondeur	Diamètre de foration	Fluide de forage	Diamètre du tubage
0 – 160 m	17 ½ "	Bentonite	13 3/8 "
160 – 2 000	12 1/4 "	Baryte ou bentonite	9 5/8 "
2 000 – fond	8 ½ "	Saumure + baryte	7 "

Le tube de 7" est ancré à la base du tube 9" 5/8 au moyen d'un « Liner Hanger », destiné à le maintenir solidaire des tubes supérieurs (notamment quand la cavité de dissolution sera formée). Il est surmonté d'une colonne de raccordement (*tie-bag string*) de même diamètre, remontant jusqu'en surface. Cette colonne est équipée d'ouvertures à la base à quelques dizaines de mètres au-dessus du toit du sel ; elle n'est pas cimentée, permettant ainsi d'injecter de l'eau (dilution) sous pression par l'espace annulaire compris entre les tubages 9" 5/8 et 7". Ce circuit de dilution permet d'assurer une dilution de la saumure dans les cas suivants :

- La saumure est sursaturée et risque de cristalliser dans la colonne,
- La formation de cristaux de sel due à un refroidissement de la saumure, notamment au niveau des aquifères,
- Pour alléger la colonne de saumure chargée d'insolubles dans le puits.

Cette architecture permet d'avoir une colonne de production de même diamètre jusqu'en surface et d'éviter ainsi la formation de bouchon au niveau du dispositif de suspension du tube de 7".

Nr.	Item Description	PA32 Wellhead and Xmastree	Depth	
			m	tvd
All depths from ground level				
1	20" Conductor		6	
2	13 3/8" casing 54,5 ppf K55, BTC		160	
	Top Burdigalien Base Burdigalien		circa circa	
3	9 5/8" 40ppf P110 VAM TOP		1622	Tube 7"
4	7" 29 ppf P110 VA superior (tie back)		1955	Liner hanger
5	7" Perforated joint		1965	
6	7" TOL		1965	
	Top Salt		2055	
7	9 5/8" 40ppf P110 NEW VAM		2065	
	D2 Fault	2250	Casing 7"	
8	7" 35ppf Q125 HC SLSF	2363		
	Perforations	2523 2543		
9	7" 35ppf Q125 SLIJ II	2553		
	TD	2662		
	D1 Fault			

Architecture des Puits depuis PA32-33, et conservée pour PA40 à PA43

Les tubages 13 3/8 " et 9 5/8 " sont cimentés sur toute leur hauteur aux terrains encaissants.

Tous les services spécialisés nécessaires à la réalisation des puits sont contractés :

- Fabrication du fluide de forage,
- Gestion des cuttings,
- Trajectoire et déviation des puits,
- Suivi et enregistrement des paramètres de forage (mud-logging), prélèvement des cuttings
- Suivi géologique réalisé conjointement par la géologue KEM ONE et un géologue en prestation
- Descente des tubages,
- Vissage des tubages
- Cimentation des tubages,
- Acquisition de diagraphie instantanée (gamma ray),
- Acquisition des diagraphies différées (logging),
- Traitement des fluides et débris de forage.

2.5.3.2. Fluides et boues de forage

La mise en place de ces tubages est permise par l'injection en permanence du fluide de forage qui a une fonction multiple, de lubrification et de refroidissement de la tête de forage, et également de maintien des parois du forage. Ce fluide de forage boue est soigneusement élaboré et correspond à un mélange d'eau et de particules solides, densifiée, homogénéisée et stabilisée. Sa composition varie en fonction des roches traversées :

- Baryte ou bentonite (« argile gonflante ») lors du forage en diamètre 17''1/2 et en diamètre 12''1/4.
- Saumure saturée et baryte ($BaSO_4$) lorsque le forage atteint la série salifère, de manière à limiter la dissolution de sel.

Le fluide de forage a plusieurs fonctions :

- il refroidit l'outil de forage et évite sa surchauffe en circulant en permanence dans le trou,
- il actionne les outils de coupe (trépan à molettes) et permet la transmission des ordres et des données de capteurs situés dans l'outil de forage,
- il contribue à attaquer la roche et à nettoyer le fond du puits des débris qui s'y accumuleraient ;
- il ramène à la surface les fragments de roche (déblais) qui sont examinés afin de déterminer leur nature.
- il tapisse les parois du trou et fournit une contre-pression qui stabilise la formation. Ainsi il permet d'empêcher les échanges avec les éventuels aquifères traversés.

2.5.4 - Les opérations de cimentation

L'espace entre le tubage et le trou est cimenté à l'avancement ce qui isole parfaitement les terrains du puits et également les éventuels aquifères traversés, garantissant leur protection.

Deux types d'incidences prévisibles sur les aquifères traversés lors de l'opération de forage sont envisagées :

- La mise en contact des niveaux aquifères entre eux avant l'équipement,
- La mise en contact post équipement des niveaux aquifères avec les formations salifères.

La bonne exploitation du sondage est conditionnée par l'étanchéité entre le casing et les terrains traversés. La cimentation est une opération déterminante à laquelle une attention particulière sera apportée. Une fois cimenté, le casing sera inamovible et demeurera étanche pendant toute la durée de vie du sondage.

Le volume de ciment à injecter entre le tube (casing) et l'encaissant rocheux est parfaitement connu par les diagraphies effectuées. Pour obtenir un débordement du lait de ciment, à la fin de l'opération, la quantité théorique de ciment est majorée systématiquement de 20 à 30 %.

La quantité de ciment est déposée dans le fond du tube à cimenter, puis elle est injectée dans l'espace annulaire compris entre le tube et la roche encaissante par un procédé de chasse : un piston muni de joints coulissant sur le tube de forage est positionné à la surface du coulis de ciment, puis est poussé par du fluide de forage comprimé (à la manière du piston d'une seringue). Le coulis de ciment reflue alors dans l'espace annulaire et remonte jusqu'en haut du tronçon à cimenter pour déborder en surface (premier tube), ou au niveau du sabot du tube précédent.

Après avoir laissé prendre le ciment pendant au minimum 24h, le bouchon de ciment qui reste en partie inférieure du casing est reforé (*reforage du sabot*).

Le tube de 7", est également cimenté au massif salifère. La cimentation remonte dans l'espace inter annulaire compris entre le tube de 7" et le tube de 9''⁵/₈, jusqu'au niveau des fenêtres de dilution de la colonne de diamètre 7" également, qui surmonte le casing.

Un contrôle de la qualité de la cimentation est réalisé par diagraphie de cimentation (CBL¹) qui correspond à la mesure et à l'enregistrement de l'atténuation d'une onde acoustique. Ce contrôle est effectué plusieurs semaines après l'opération de cimentation.

Lorsque l'équipement est terminé, une épreuve est effectuée pour vérifier l'étanchéité de l'ensemble par sa mise en pression. Cette pression sera de l'ordre de 5 à 6 bars au-dessus de la pression halmostatique (pression de la colonne de saumure) de la colonne (*soit environ 10 bars en tête de puits*). La pression doit se maintenir plusieurs heures, après isolement complet des orifices en tête de sondage.

2.5.5 - La récupération des fluides et déblais de forage

La procédure utilisée ainsi que la norme de traitement sont les suivants :

2.5.5.1. Phase 1 – Forage en 17" ½ (160 – 170 m)

En phase 17''¹/₂ (de 0 à 160-170 m): les fluides de forage sont constitués d'un mélange de bentonite (argile) et d'eau :

- Après passage sur les tamis vibrants, le résidu solide constitué de roche et de bentonite est totalement inerte. Il est évacué dans une décharge agréée (carrière Crozel lors de précédentes opérations) ;
- La phase liquide, à base d'eau, est recyclée pour continuer le forage. En fin de forage, cette phase liquide est renvoyée vers l'usine pour être réinjectée dans une cavité.

2.5.5.2. Phase 2 - Forage en 12" 1/4 (de 170 m à 1900 m environ)

Les déblais de forage de la phase 12" 1/4 (c'est-à-dire l'opération de forage jusqu'au toit du sel) sont également criblés sur des tamis vibrants, puis centrifugés :

- Les fluides de forage (eau + Bentonite ou Baryte), sont recyclés pendant toute cette phase de forage, puis, en fin d'opération, renvoyés à la Saline et réinjectés dans les puits en exploitation ;
- Les débris de roches solides, formés d'argile, grès et carbonates, sont recueillis dans des bacs. Ils sont entreposés sur une dalle pour séchage et évacuation vers des filières agréées (enfouissement, valorisation en cimenterie, ou autre)

2.5.5.3. Phase 3 - Forage en 8" 1/2 (de 1900 m au fond de la future cavité dans le sel)

Pour les boues de forage de la phase 8" 1/2, dans le sel :

- les effluents liquides (saumures sursaturées et barytées) sont envoyés dans le borbier de la plateforme, puis renvoyé à la saline et retraité en interne.
- Le surnageant est ensuite réinjecté dans les puits en exploitation avec l'eau d'injection,
- Le résidu salé est entreposé sur une dalle pour séchage avant d'être évacué vers des filières adaptées.

2.5.5.4. Classification des résidus de forage et filière de traitement

L'exploitation ne génère que peu de déchets de production. Ce sont des déblais générés lors de la phase de foration ou de fonçage des puits. Les déchets de productions générés au cours des travaux sont :

- Phase 1 : Boues de forage et autres déchets de forage,
- Phase 2 : Boues et autres déchets de forage contenant de l'eau douce,
- Phase 3 : Boues et autres déchets de forage contenant des chlorures.

Tous les débris de roches solides seront évacués vers un centre d'élimination et de revalorisation agréé.

2.5.6 - Les opérations de connexion des deux puits

2.5.6.1. Connexion dans le cas de doublets

Lorsque deux puits d'un même doublet sont terminés, il faut les mettre en connexion afin de pouvoir dissoudre le sel en injectant de l'eau douce par un puits et en récupérant la saumure par l'autre et inversement.

L'opération de forage dirigé permet de faire se rejoindre les deux puits à la cote de la base de la future cavité, à une distance de quelques mètres. La précision de cette opération repose sur l'emploi de techniques de forage très élaborées permettant de diriger parfaitement le forage, en connaissant en permanence sa localisation et les conditions régnant dans le forage. L'outil est équipé de nombreux capteurs, d'un gyroscope... lui permettant de recevoir des ordres, de les exécuter et de renvoyer des informations. C'est la boue de forage qui est le transmetteur de ces informations.

Les opérations de mise en connexion des deux puits sont les suivantes :

1. Perforation du tubage du puits 1, le plus vertical, à la cote à laquelle on veut le connecter avec le second puits (en principe, très proche du fond de chaque puits). Un canon de charges creuses est descendu en face de la cible choisie dans le forage, au bout d'un câble électrique enroulé sur un treuil fixé à camion équipé d'enregistreurs et de télécommandes ;
2. Le tir perfore le tubage du puits n°1 et fracture le massif de sel au voisinage des deux puits ;
3. Le tubage du tube n° 2 peut être soit préalablement laissé en trou ouvert en fin de forage, soit perforé lui aussi ;
4. Un groupe de pompes haute pression (HP) est branché sur la tête d'un des deux puits, ce qui permet d'injecter de l'eau sous pression. L'eau se fraye un passage et débute ainsi le lessivage du sel entre les deux puits au niveau des cibles choisies.
5. Dès que la liaison est détectée entre les deux puits, le débit d'injection est augmenté afin d'augmenter la section du passage entre les deux puits. Cette opération dure de quelques heures à quelques jours. Au cours de cette opération de développement, il est constaté une baisse continue de la pression d'injection, ce qui permet d'arrêter les groupes HP et de basculer sur le circuit d'eau de dissolution de la saline ;
6. Le doublet est opérationnel, même s'il ne produit pas, dans les premiers temps, de la saumure saturée en sel en raison d'un temps de séjour trop court. La montée en production prend environ 6 mois, tant que la saumure n'est pas parfaitement saturée. La saumure insaturée produite pendant la période de 6 mois est injectée dans une cavité en cours d'exploitation afin de compléter sa saturation en sel.

2.5.6.2. Connexion dans le cas de « puits de reconnexion »

Dans le cas des puits de reconnexion, les techniques de forage utilisées sont les mêmes que celles utilisées pour les doublets ; seule la cible visée varie. Dans ce cas, la cible visée est la base d'une cavité saline pré-existante. Les opérations sont donc les suivantes :

1. Le tubage intérieur en 7" (tubage de production) du puits 1 est enlevé jusqu'à la cote voulue. Un sifflet déviateur est alors mis en place pour guider le démarrage du forage de reconnexion. Le forage est ensuite réalisé vers la cavité du puits 2 Deux cas de figure peuvent se présenter : soit la cavité est interceptée par forage, soit le forage est arrêté à la profondeur choisie, à quelques mètres de la cavité.
2. Dans ce 2^{ème} cas, la connexion entre le forage de reconnexion et la cavité est initiée par pompage, soit avec les pompes du rig de forage, soit avec les pompes de cimentation ou

encore avec des pompes haute pression (HP). Ces pompes sont branchées au niveau du puits 1, ce qui permet d'injecter de l'eau sous pression. Avec la pression l'eau se fraye un passage dans le massif de sel entre les deux puits au niveau des cibles choisies.

La cavité ciblée par le puits de reconnexion est une cavité exploitée précédemment par un ancien doublet de puits. Le puits de reconnexion est donc un puits dévié qui vise à exploiter de nouveau cette cavité et à former ensuite un nouveau doublet. Le forage de reconnexion sera utilisé comme puits injecteur et le puits à l'aplomb de la cavité à ré-exploiter servira de puits de soutirage.

Le puits du doublet préexistant qui ne sera pas utilisé avec le puits de reconnexion sera lui bouché au fond et sera alors arrêté. Il n'aura pas d'incidence sur l'exploitation de la cavité. Les observations et mesures de Kem One sur l'exploitation des doublets montrent que la dissolution du sel se fait au niveau du puits injecteur uniquement. En effet, dans le puits de soutirage, seule de la saumure saturée est extraite. Par conséquent, aucune dissolution n'est observée au niveau du puits extracteur.

2.5.7 - Insertion paysagère de l'ouvrage

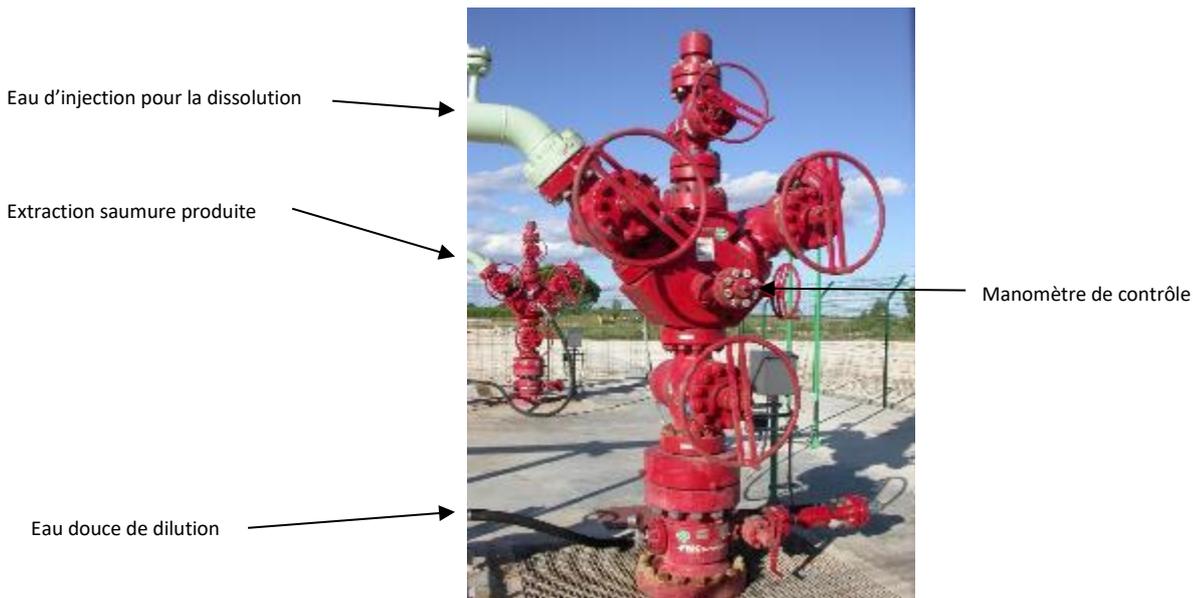
A l'issue de la réalisation de la plateforme et de la création des ouvrages associés, les pourtours de la plateforme font l'objet d'une végétalisation pour améliorer l'insertion paysagère de l'ouvrage.

2.6 - LES RACCORDEMENTS AUX CIRCUITS EXISTANTS

Une fois les travaux de fonçage et de cimentation des puits effectués, une tête de puits est installée sur chaque puits. L'appareil de forage est ensuite démonté et démobilisé. Les têtes de puits sont ensuite clôturées et les travaux de raccordement des puits aux réseaux existants de la Saline sont finalisés et fonctionnels.

2.6.1 - Les têtes de puits

Une tête de puits est installée sur chacun des puits. Chaque tête de puits est équipée de vannes et d'un capteur de pression local et l'un retransmis en salle de contrôle,



Tête de Puits 7"1/16 - 5000 psi

Toutes les têtes de puits sont testées à 345bars.

2.6.2 - Les clôtures

Sur une plateforme, à la fin des travaux d'aménagement :

- Une clôture et une porte verrouillée sont installées autour des têtes de puits afin de protéger les équipements et éviter des manœuvres de vannes ;
- Un garde-corps, équipé d'une bouée de sauvetage ceinture le bourbier qui est équipé d'un escalier pour permettre d'en sortir en cas de chute accidentelle

2.6.3 - Raccordement à la saline

Chaque tête de puits est reliée à un collecteur (*manifold*) situé dans la station de la Saline.

La saline comprend:

- La salle de contrôle de l'ensemble des installations,
- Un petit laboratoire qui contrôle, pour chaque doublet en exploitation, la saturation et la qualité de la saumure produite, laquelle est orientée soit vers la production, soit pour être réinjectée dans une cavité pour se saturer,
- La réception de l'eau douce livrée par BRL et le stockage en cuve tampon d'un volume de 1000 m³ environ,
- Une installation comprenant des pompes destinées à injecter l'eau de dissolution dans les doublets en exploitation ; des dispositifs permettent de réinjecter de la saumure imparfaitement saturée, stockée dans des cuves et bassins dédiés,

- Un grand bassin de stockage de la saumure saturée produite,
- Une installation de pompage refoulant la saumure produite dans le saumoduc qui alimente les usines de Fos et de Lavera.

2.6.4 - Les réseaux de distribution et de collecte

L'ensemble des réseaux de canalisations hydrauliques installés pour ce projet à partir de la station de pompage de la saline de Vauvert appartiennent au domaine minier et ne relèvent donc pas du décret 2012-615 du 2 mai 2012.

Pour l'exploitation, chaque puits d'un doublet sera raccordé aux différents réseaux nécessaires à son contrôle et à son pilotage. Deux types de liaisons enterrées sont réalisés, comme décrit plus haut (§5.6.3.1).



Prise de vue d'une tranchée : En rouge : gaines pour l'alimentation électrique et pour les télétransmissions ; En blanc : Tuyaux de l'injection d'eau et du retour saumure.

3 - METHODES D'EXPLOITATION DES OUVRAGES

3.1 - LE PRINCIPE DE LA METHODE

L'extraction du sel est réalisée par dissolution à l'eau du canal du Bas Rhône des couches de sel d'âge Oligocène et situées entre 1 700 et 3 000 mètres. L'exploitation se fait par doublet, c'est-à-dire qu'un puits est un puits d'injection d'eau, l'autre un puits d'extraction de saumure, et ceci alternativement selon la montée de la dissolution sur chaque puits.

Principe d'Extraction du Sel par Doublet (2 puits)

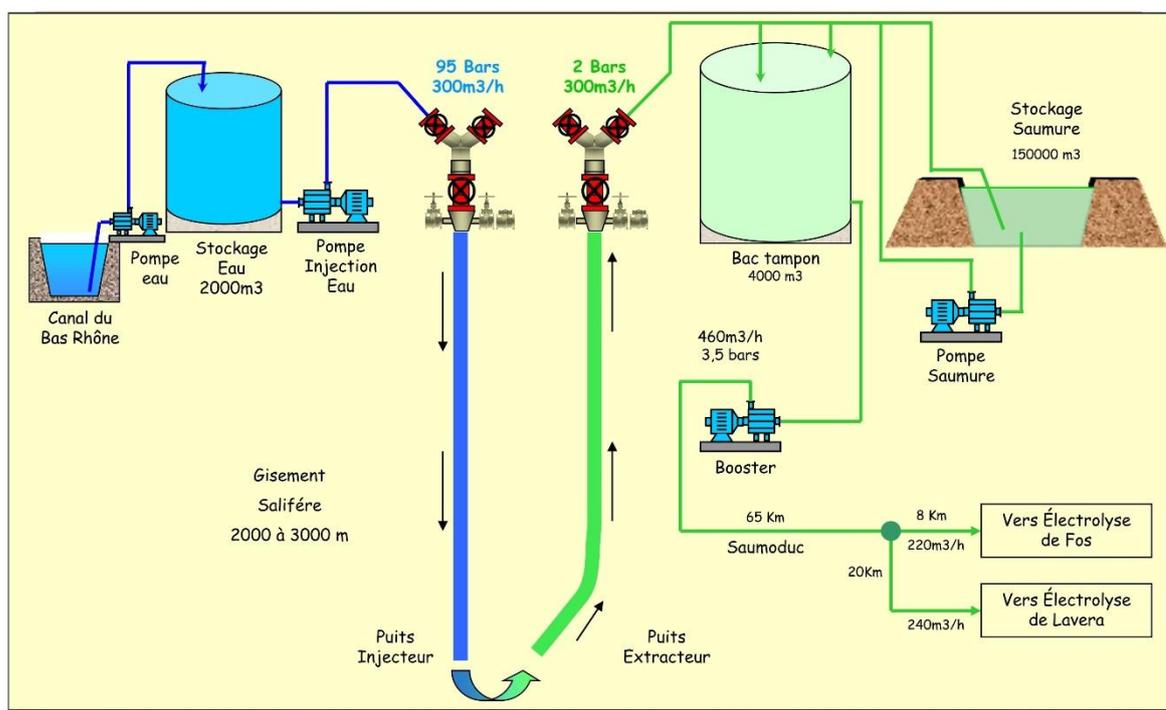


Schéma de principe de l'extraction de sel par doublet

La Saline est alimentée en eau brute par la société BRL Exploitation. Une canalisation enterrée de 2,5 km relie le canal Philippe Lamour à la Saline. L'eau brute est stockée dans 2 bacs de 1000 m³ chacun.

L'eau brute est ensuite pompée dans le puits injecteur avec un débit variant entre 80 à 150 m³/h.

La saumure extraite du second puits est envoyée dans le bac de saumure commerciale si la saumure est saturée en NaCl entre 295 et 310 g/L. Si la saturation en sel est inférieure à 295 g/L alors la saumure est renvoyée légèrement diluée dans le bac de recyclage avant d'être envoyée dans une autre cavité encore en exploitation pour être saturée et correspondre aux spécifications demandées par les électrolyses.

La saumure commerciale est ensuite pompée à travers un pipe-line appelé saumoduc reliant la Saline aux électrolyses de Fos-sur-Mer et de Lavéra.

Un grand bassin permet de stocker 150 000 m³ de saumure saturée ce qui représente environ 15 jours de production.

3.2 - DESCRIPTION DES PUIITS DE LA SALINE DE VAUVERT

KEM ONE exploite en général sur le champ de Vauvert quatre ou cinq doublets simultanément.

La Saline de Vauvert a exploité de 1987 à 1993, trois doublets (LGA01-02/LGA03-04/LGA05-06) au lieu-dit la Galine sur la commune de Beauvoisin. L'exploitation de ce champ est arrêtée depuis cette période.

La totalité de l'exploitation se déroule sur le champ de Vauvert où 43 puits ont été réalisés. L'exploitation actuelle s'effectue avec 4 doublets :

- PA36-37,
- PA38-39,
- PA40-41,
- PA42-43.

Le tableau ci-dessous précise pour les sondages actuels, la date de mise en service, l'état du puits (en service ou non) ainsi que sa profondeur et sa production. Depuis la mise en service de l'exploitation sur la Saline de Vauvert, plus de 30 millions de tonnes de sel ont été extraites. L'exploitation actuelle se fait au rythme de 1 millions de tonnes par an environ.

Les tableaux suivants présentent la production de sel extraite par unité de production depuis la création de la saline à fin 2023:

- Par doublets de production,
- Par puits.

Les ouvrages en écriture rouge sont toujours en activité.

PRODUCTION DES PUIITS EN 2023

KEM ONE Saline de VAUVERT

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAL ANNUEL	TOTAL DEPUIS 1/9/73
PA1													0	492 598
PA2													0	605 379
PA3													0	6 785
PA4													0	338 202
PA5													0	625 683
PA6													0	540 580
PA7													0	462 180
PA8													0	253 652
PA9													0	470 518
PA10													0	748 483
PA11													0	384 985
PA12													0	564 545
PA13													0	1 063 810
PA14													0	1 292 348
PA15													0	355 351
PA16													0	532 600
PA17													0	1 149 259
PA18													0	1 002 726
PA19													0	1 423 393
PA20													0	801 545
PA21													0	1 422 290
PA22													0	668 508
PA23													0	838 670
PA24	1 200	1 918	220	630	1 350	1 000		665	840	2 000	1 800		11 623	1 729 112
PA25													0	1 244 084
PA26													0	1 074 323
PA27													0	1 574 611
PA28													0	874 145
PA29													0	1 535 340
ST28													0	48 248
ST29													0	76 033
PA30	1 180	130			300	2 850		2 100	1 510				8 070	618 338
PA31		1 664			2 500								4 164	984 796
PA32													0	813 913
PA33						1 300	1 400	1 315		2 400			6 415	905 516
PA34													0	671 018
PA35			300		2 120			3 450		103			5 973	755 129
PA36	16 910	5 620	17 230	14 800	15 970		4 950	5 810	1 280	10 420	11 642	8 946	113 578	956 316
PA37	2 955	6 860			1 140	14 644	9 110	6 602	13 030			6 187	60 528	1 854 237
PA38				140									140	693 661
PA39	11 910	9 150	10 480	7 270	8 050	7 782	8 610	8 722	7 740	8 299	5 117	6 719	99 849	711 405
PA40	633		30 730	40 560	4 990	10 013	45 430		33 840	12 800	2 153	38 841	219 990	682 052
PA41	12 900	36 242	3 148		34 860	31 990		43 236	6 210	23 800	15 425		207 811	946 897
PA42		12 400	27 224	25 680	14 000		17 750	22 267	20 830	35 900	27 755	24 960	228 766	233 316
PA43	16 600	340		480	2 430		100						19 950	73 222
LGA1													0	1 013 625
LGA2													0	1 060 085
LGA3	655	510	600	650	740	900	880	150	382	860	870	385	7 582	1 686 411
LGA4													0	330 830
LGA5													0	403 997
LGA6													0	1 247 506
Tonnage extrait en tonnes														
mens	64 943	74 834	89 932	90 210	88 450	70 479	88 230	90 867	89 112	96 479	64 865	86 038	994 439	40 842 256
annuel			229 709	319 919	408 369	478 848	567 078	657 945	747 057	843 536	908 401	994 439		

3.3 - OUVRAGES CONCERNES PAR LE PROJET D'EXPLOITATION

Afin de poursuivre son activité avec une production constante KEM ONE projette de créer 3 nouveaux doublets, PA44-45, PA46-47, PA48-49, ainsi que deux autres puits, PA50 et PA51, amenés à former deux nouveaux doublets

Le projet d'exploitation consiste en la réalisation de ces ouvrages ainsi que des infrastructures associées (Document 23-195/B02).

La description des travaux associés à la réalisation de ces 3 doublets et 2 puits de reconnexion est présentée dans le chapitre 5.

3.4 - DIMENSIONNEMENT DES CAVITES

Les caractéristiques de l'exploitation du gisement salifère répondent aux critères fixés dans l'arrêté préfectoral n°30-2019-05-20-002 du 20 mai 2019 :

- Critère de profondeur : le toit du sel, ainsi que le toit des cavités, sont situés à une profondeur comprise entre 1600 m et 2100 m. Cette profondeur est bien supérieure à 700 m, profondeur en dessous de laquelle le risque d'effondrement généralisé en surface est exclu (cf. travaux du SMRI, Solution Mining Research Institute) ;
- Critère de planche au toit du sel : l'épaisseur de la planche de sel laissée au toit de la cavité est supérieure à 20 m pour un diamètre au toit de la cavité inférieur à 60 m. Pour un diamètre supérieur à 60 m, ce serait la règle du diamètre divisé par 3 qui s'appliquerait pour déterminer la valeur de planche.
- Le taux de défrètement de l'exploitation de Parrapon est estimé à 5,6 %. Il est nettement inférieur au taux de défrètement critique selon INERIS (20%) ainsi qu'au taux maximal de 12% mentionné dans l'arrêté préfectoral (article 1.9). Le taux de défrètement est le rapport des vides, après extraction du matériau convoité, à la masse circonscrivant ces vides.

Ces différents critères permettent d'exclure l'aléa d'effondrement généralisé à l'échelle du champ de Vauvert.

3.5 - EXPLOITATION DES DOUBLETS

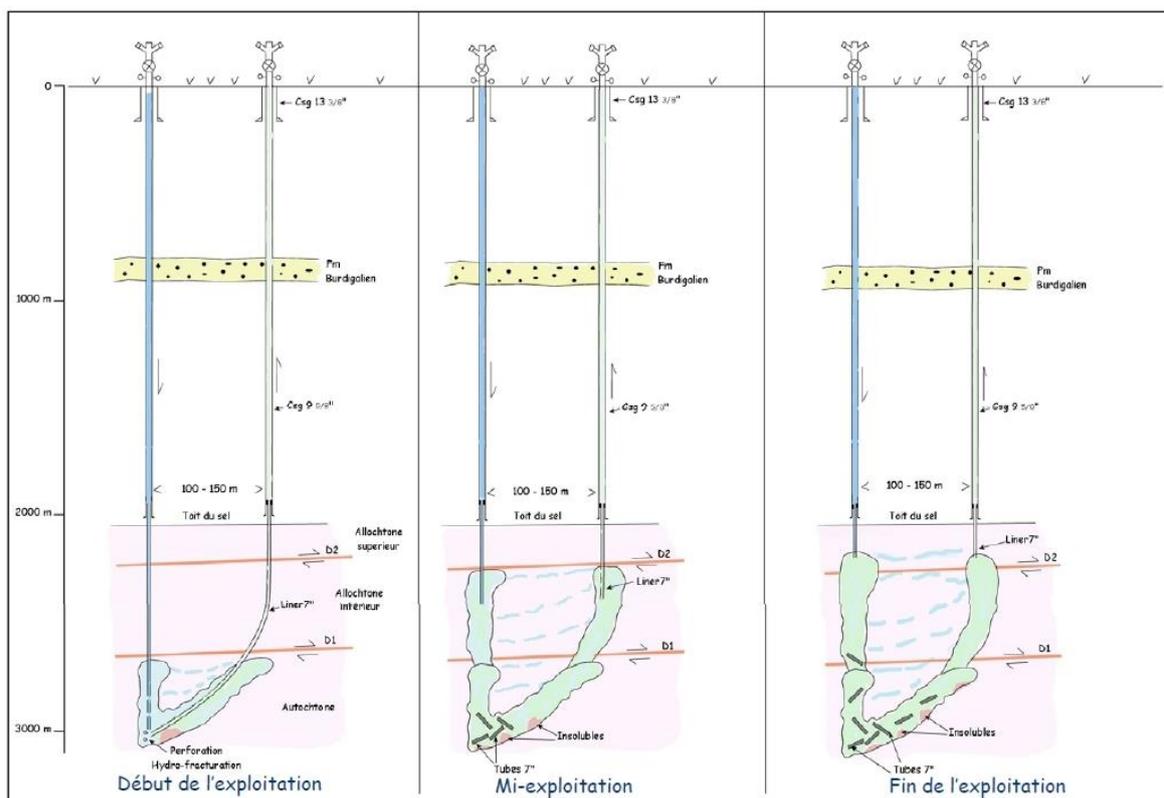
3.5.1 - Lessivage des cavités

3.5.1.1. Lessivage par méthode des doublets de puits

Après la réalisation d'un doublet de puits, la période de début d'exploitation consiste à amorcer le lessivage entre les deux puits séparés de quelques mètres.

L'eau injectée va dissoudre le sel situé autour du puits injecteur créant ainsi une cavité cylindrique autour de l'axe du puits. C'est ce qu'on appelle « exploitation par lessivage ». La cavité se développe alors de bas en haut. La formation de sel exploité est constituée d'une alternance de bancs de sel pur et de couches insolubles (marne, argile, anhydrite). Les insolubles tombent au fond de la cavité en entraînant des éléments de tubage.

L'exploitation du doublet se déroule de façon alternative. Les puits sont successivement utilisés comme puits d'injection et puits d'extraction, de façon à équilibrer les hauteurs des cavités.



Evolution du lessivage dans deux puits d'un doublet

Les 2 cavités vont alors évoluer spatialement et temporellement :

- au sein de la cavité l'eau va lessiver les bancs et s'enrichir en sel. L'amorce de la dissolution se fait plus facilement de l'amont vers l'aval du pendage des couches géologiques ;
- lors de son ascension, la cavité va rencontrer des bancs d'insolubles (anhydrite et marnes) qui vont jouer le rôle de barrière, freinant la remontée du toit de la cavité, qui peut être ralenti se développer un peu latéralement ;
- la progression ascendante de la cavité va mettre en relief sur les parois ou au toit de la cavité, les bancs plus ou moins importants d'insolubles, jusqu'à la rupture et la chute de ces bancs, sous forme de blocs ;
- ces chutes de blocs engendrent des efforts de traction et de torsion sur les tubes qui ont été cimentés au terrain, ce qui empêche fréquemment la pénétration des sondes (GR-CCL) en zone dissoute, par butée sur discontinuité de la géométrie du passage (coude ou écrasement des tubes). La cavité se remplit d'éboulis d'insolubles ainsi que des morceaux de tubages qui s'arrachent, au fur et à mesure de son développement ;
- seule la partie supérieure de la cavité est libre et emplie uniquement de saumure saturée. Les ¾ inférieurs de la cavité étant emplie des blocs d'insolubles, à travers lesquels circule la saumure en train de se saturer ;
- dans le fond de la cavité, les insolubles sédimentent et vont piéger certains fluides qui ne participeront plus à la circulation ;

- les foisonnements induits par ces insolubles, mélangés avec les blocs de sel non-dissous dans la saumure créent ainsi une espèce de filtre autobloquant homogène.

3.5.1.2. Lessivage avec un puits « de reconnexion »

Dans le cas d'exploitation à l'aide de puits de reconnexion, il s'agit de ré-exploiter une cavité pré-existante en l'élargissant sur toute sa hauteur. Le nouveau puits foré servira de puits d'injection uniquement. Ainsi, au niveau du puits initial, qui servira de puits de soutirage, ne circulera que de la saumure saturée. Le puits de reconnexion deviendra puits injecteur et formera alors un nouveau doublet avec le puits lié à la cavité pré-existante qui ne servira qu'au soutirage.

Le puits du doublet préexistant qui ne sera pas utilisé avec le puits de reconnexion sera alors arrêté. Il n'aura pas d'incidence sur l'exploitation de la cavité. Les observations et mesures de Kem One sur l'exploitation des doublets montrent que la dissolution du sel se fait uniquement au niveau du puits injecteur. Aucune dissolution n'est observée au niveau du puits producteur.

3.5.1.3. Infrastructures de surface

Ces infrastructures de surface sont :

- la liaison des têtes de puits par un réseau de conduites de transport d'eau d'injection et de collecteurs de saumure ;
- La connexion des ouvrages à la salle de commande de la saline par un réseau de câbles de transfert de données, le long des pistes de liaison de plateformes.

3.5.2 - Contrôle de l'exploitation

Le contrôle des opérations d'exploitation s'effectue à deux niveaux :

- La conduite de l'exploitation,
- Le contrôle du gisement.

Conduite de l'exploitation

Les installations sont équipées de capteurs et instruments qui envoient des informations en station électrique. Les informations sont traitées et apparaissent sur un système de contrôle centralisé supervisé par un opérateur à la saline.

Un opérateur en 2*8 suit les installations et une équipe d'astreinte peut intervenir en cas de nécessité.

L'objet des contrôles est d'assurer une régulation de la saumure à 310 g/l à l'aide de paramètres tels que les débits d'injection et d'extraction, les pressions d'injection, et d'extraction, les températures, ainsi que les débris éventuels de roche ou de ciment remontés jusqu'en surface.

La salle de contrôle dispose d'un Système Numérique de Contrôle et de Commandes (SNCC). Les enregistrements sont aujourd'hui gardés sans limitation de durée.

Un petit laboratoire permet d'analyser les concentrations en NaCl de chacun des puits ainsi que les teneurs en sulfates et en calcium afin d'assurer une régularité commerciale de livraison de la saumure.

Contrôle du gisement

Un contrôle diagraphique semestriel est réalisé pendant l'exploitation. Ces contrôles permettent de :

- visualiser la cote du toit de la dissolution des cavités en exploitation,
- de déterminer les rendements de la production par puits en tonnes par mètre de sel dissout,

de contrôler l'état du tubage.

3.6 - CONTROLE DE LA DISSOLUTION

KEM ONE établit un plan de dissolution pour chaque cavité. La maîtrise du plan de dissolution est contrôlée par la mise en place et le suivi des contrôles définis ci-dessous.

3.6.1 - Les mesures de débits

Des équipements de mesure permanente des débits d'injection sont installés au niveau de chaque doublet afin d'avoir en continu le bilan entre quantité injectée et quantité soutirée, en tenant compte de la correction de la densité de la saumure. Les instruments de mesure sont placés au départ des conduites reliant les points de distribution aux doublets.

3.6.2 - Les mesures de pression

Des capteurs de pression équipent toutes les têtes de puits ; ces mesures, conjuguées avec celles des débits, donnent en temps réel l'état de la connexion entre les puits du doublet pendant l'exploitation. Ces mesures sont enregistrées et préservées.

3.6.3 - Les mesures de densité

La densité de la saumure extraite est enregistrée par des analyseurs en ligne. Les mesures sont également contrôlées plusieurs fois par jour manuellement. Ces relevés sont nécessaires pour contrôler la qualité de la saumure en sortie de puits, au retour du stockage dans le grand bassin, et avant l'expédition par le saumoduc vers les sites de Fos et Lavera.

3.6.4 - Les mesures par diagraphies

Sur les puits en exploitation, les niveaux de dissolution et l'état des tubages de production sont contrôlés périodiquement (en moyenne 2 fois par an) par un log de Température-Gamma Ray-localisation des joints de tubage. Ces mesures doivent permettre d'identifier la cote du toit des cavités en exploitation, de vérifier le respect de la hauteur de planche et de déterminer les rendements de la production.

Les sondes sont introduites dans les puits au moyen d'un sas 5000 PSI (pour ne pas mettre la cavité et les colonnes en dépression). Ces contrôles sont réalisés aussi chaque fois que la situation l'exige.

Des mesures de température et de pression dans la cavité sont aussi enregistrées lors de ces opérations.

3.6.5 - Les mesures d'échométrie de cavité (sonar)

Lorsque l'état du tubage le permet, la descente d'un sonar peut être réalisée pour obtenir une image en 3D de la partie supérieure de la cavité.

3.7 - OPERATIONS SUR PUIITS PENDANT L'EXPLOITATION D'UN DOUBLET

Pendant la durée de l'exploitation d'un doublet, l'exploitant peut être confronté à différents situations particulières en lien principalement avec le contexte géologique du site tel que :

- Bouchage du puits extracteur,
- Perte de la connexion entre puits,
- Bouchage du puits injecteur,
- Cristallisation du puits et en surface.

3.7.1 - Bouchage du puits extracteur

C'est la situation particulière la plus fréquente. Le bouchage du puits extracteur survient souvent au moment de l'inversion du doublet, dans ce cas le bouchage se situe en général au pied du dernier tubage. Le bouchage peut également se situer au niveau d'une restriction du tubage. Le bouchage peut être aussi dû à une accumulation d'insolubles dans la colonne du puits.

Dans ce cas, le débouchage peut être réalisé à l'aide d'un « Coiled Tubing » (CT) qui consiste à descendre dans le puits un tube métallique de diamètre 2''^{3/8} pouces enroulé sur un touret. Un ensemble de Bloc Obturateur de Puits (BOP) est installé sur la tête de puits permettant ainsi de travailler sous pression en toute sécurité.

L'extrémité du "Coiled Tubing" peut être équipée soit de jets soit d'un outil de forage.



Coiled Tubing et jets

3.7.2 - Perte de connexion entre puits

Cette situation particulière se manifeste le plus souvent de façon progressive pour les doublets les plus anciens. Cette perte de connexion peut être rapide sur des doublets « neufs » et engendre une montée en pression observée sur le puits injecteur et une perte du débit d'extraction.

Dans ce cas, une opération de pompage est nécessaire.



Pompe HP (BJ – Backer Hughes)

Le fluide pompé est de l'eau qui est renvoyée vers le bassin de stockage.

3.7.3 - Bouchage de puits

Sur le site de Vauvert les taux d'insolubles dans la formation salifère sont importants, compris entre 40 et 60 %.

Lorsque la cavité se développe, la dissolution peut entraîner une dislocation en profondeur de bancs marneux.

Cette situation est plus rare, mais généralement imprévisible :

- Dislocation soudaine d'un niveau marneux important au sein de la formation salifère Oligocène et création d'un chaos de blocs et de boues argileuses,
- Déformation importante ou cisaillement du tubage au passage des niveaux des plans de décollement (D1 et D2).

On dimensionne l'appareil ou les moyens d'intervention en fonction de l'analyse / diagnostic du colmatage. Le débouchage peut se faire avec un petit appareil de forage, soit avec un équipement d'intervention sous pression (*snubbing unit*).

3.7.4 - Cristallisation du puits et dans les canalisations de surface

Deux types de précipitations peuvent apparaître dans le puits et les canalisations de surface :

1. Des cristaux de sel (NaCl) peuvent se former dans le puits. En général ils se forment au droit des zones aquifères, où les circulations d'eau refroidissent le fut du puits. La saumure remontant dans le puits d'extraction se désature légèrement et il précipite des cristaux de sel;
2. Des cristaux de gypse peuvent se former dans le puits ou dans les canalisations de surface sous forme de petits cristaux prismatiques, maclés et aciculaires (en forme d'aiguilles).

Un nettoyage au *Coiled Tubing* est nécessaire pour nettoyer le puits. En surface, le nettoyage par rinçage suffit.

3.7.5 - Bilan

Pendant l'exploitation, des interventions sur les doublets peuvent être nécessaires. Ces situations particulières sont liées au colmatage des colonnes des doublets ou à des pertes de connexion avec la cavité saline. Ces situations sont souvent liées à la complexité structurale des terrains recoupés par les doublets. En moyenne 3 à 4 opérations peuvent être nécessaires au cours de l'exploitation d'un doublet.

3.8 - LE SUIVI DE L'EXPLOITATION

3.8.1 - Les consignes d'exploitation

Les consignes d'exploitation sont formulées chaque soir pour le lendemain (équipe du matin).

3.8.2 - Suivi journalier

Le suivi journalier est réalisé par les exploitants en poste ou à la journée et l'ensemble des paramètres de l'exploitation est enregistré (analyses, débits, pressions...) ainsi que les actions sur le matériel.

3.8.3 - Rapport mensuel

Les rapports mensuels d'exploitation sont réalisés et conservés par l'exploitant.

3.8.4 - Bilan annuel

Un rapport annuel d'exploitation est transmis à la préfecture en charge de la Police des Mines et à la DREAL son délégataire.

3.9 - CONTROLES DE LA STABILITE - SURVEILLANCE DE LA SUBSIDENCE DES TERRAINS

KEM ONE réalise un suivi de plusieurs paramètres permettant de contrôler la subsidence des terrains.

A Vauvert, l'exploitation par dissolution crée des cavités salines situées entre 1 700 et 3 000 m de profondeur. Le contenu de ces cavités est formé de bas en haut par :

- Les insolubles de la formation salifère (40 à 60 % du gisement) constituant les 2/3 du remplissage de la cavité,
- Un volume "circulant" de saumure. Ce volume peut être déformé sous l'effet du fluage consécutif au poids des terrains de recouvrement. L'influence de ces déformations du volume convergent se répercute par un réajustement progressif et souple des terrains à la surface du sol. La zone de réajustement correspond à une dépression topographique de faible amplitude sans rupture cassante et présentant une allure de cuvette (cuvette de subsidence).

3.9.1 - Mesure des déplacements altimétriques des puits

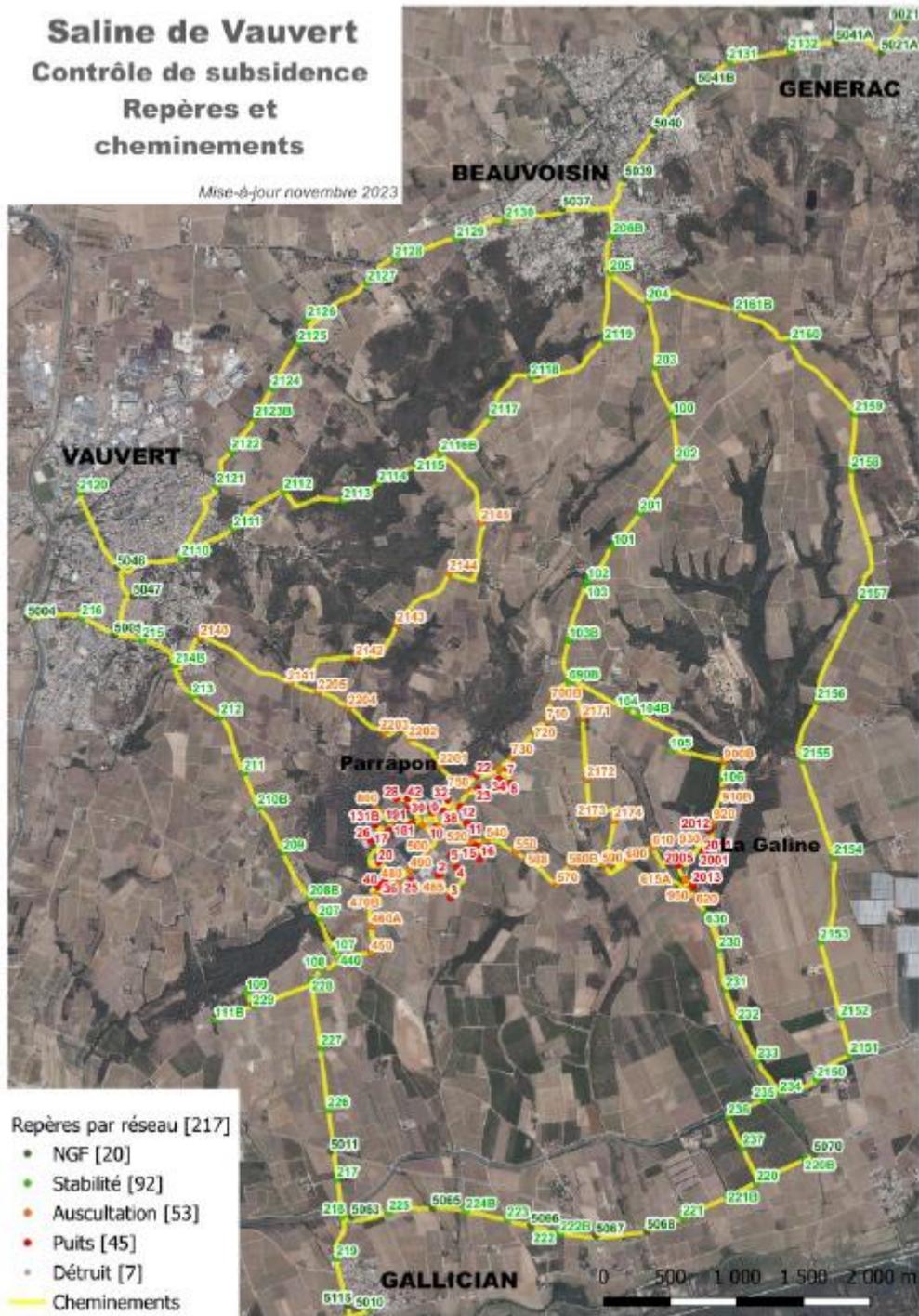
Depuis 1974, il est procédé annuellement à des relevés altimétriques de la zone d'exploitation afin de mesurer la subsidence. Depuis 2020, les relevés sont mêmes réalisés lors de 2 campagnes par an, au printemps et à l'automne.

Le rattachement au réseau NGF a été effectué à partir des altitudes IGN 69 dites « normales » des repères de nivellement IGN considérés stables (d'après une étude IGN réalisée en mars 1995) et situés d'une part dans l'agglomération de Beauvoisin au Nord du site de la Saline, d'autre part sur la RN 572 et le long de la voie ferrée au Sud.

Depuis 1996, l'IGN – Institut Géographique National – réalise les mesures de nivellement de l'ensemble des repères propres à la Saline (voir carte IGN et photographie aérienne ci-après). En 2021, KEM ONE a complété le réseau d'auscultation avec l'ajout de 45 nouveaux repères.

Saline de Vauvert Contrôle de subsidence Repères et cheminements

Mise-à-jour novembre 2023



Vue d'ensemble du réseau altimétrique

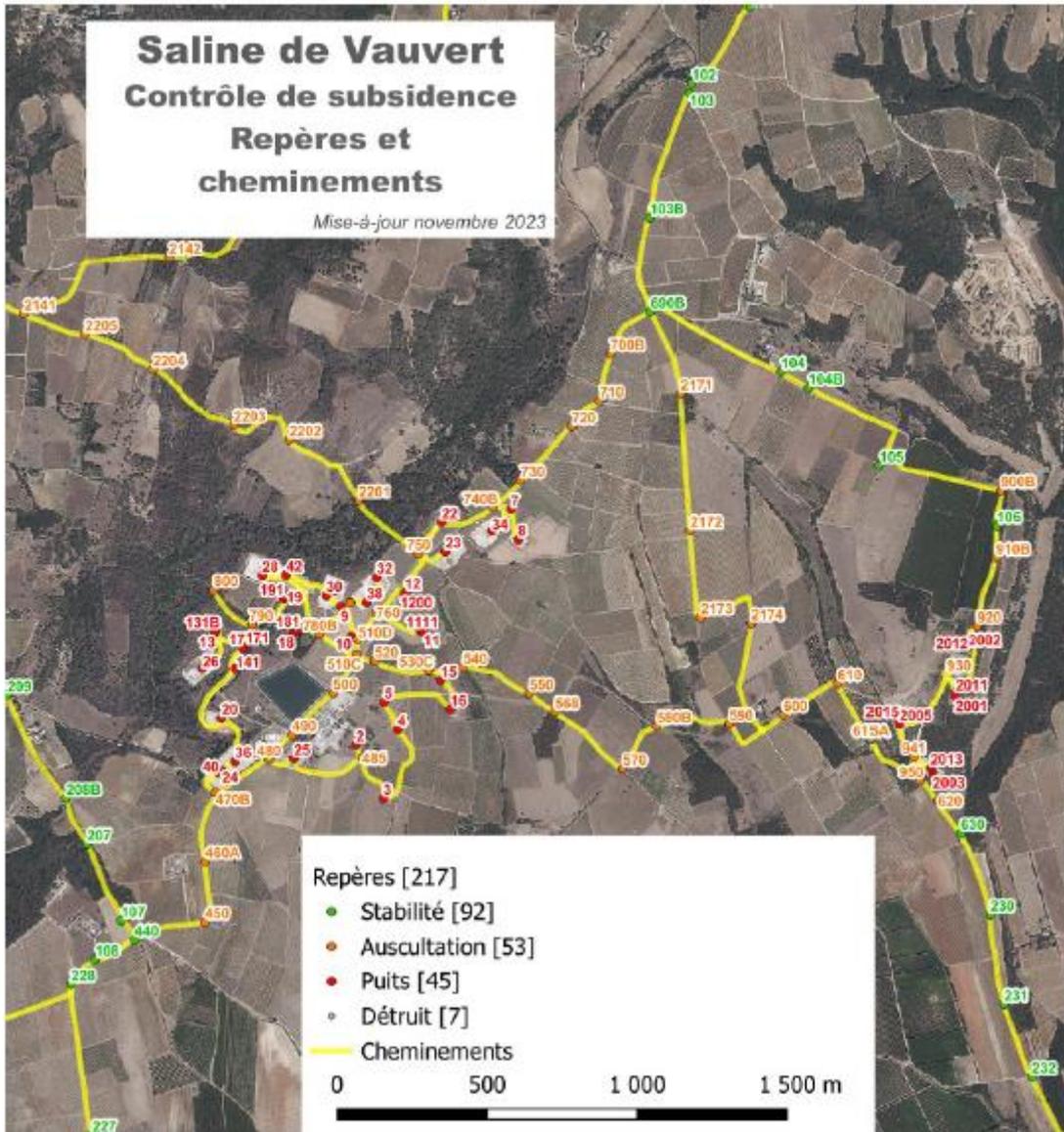
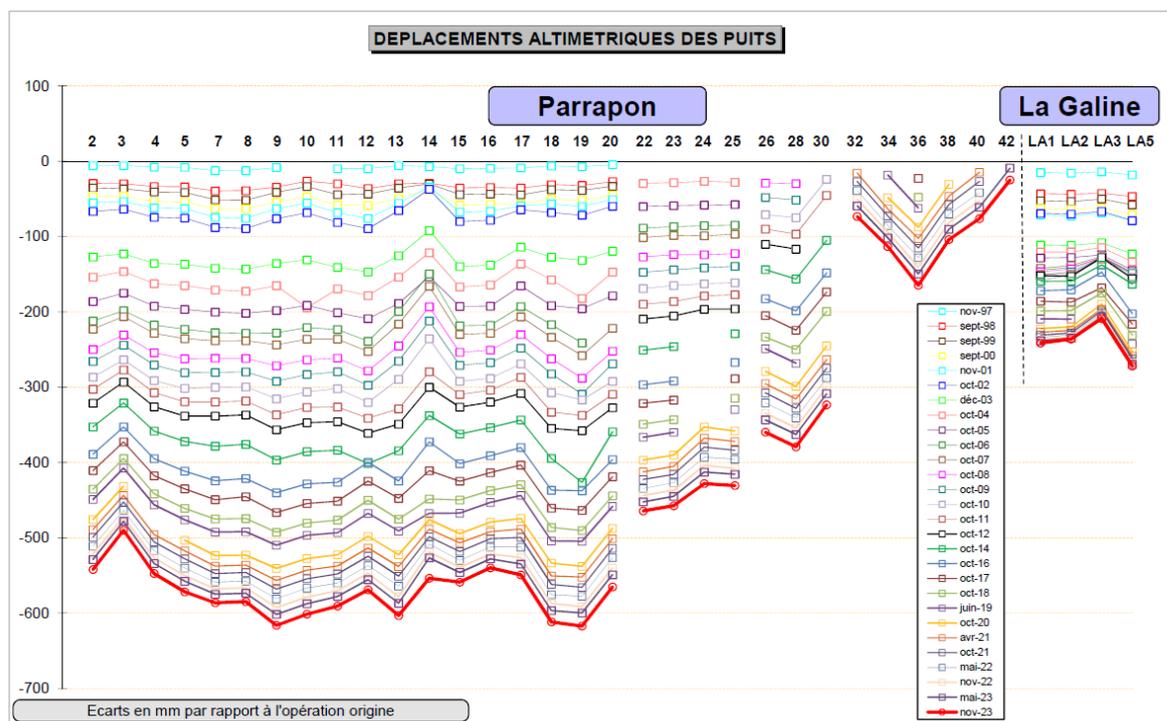


Photo aérienne du réseau : sites de PARRAPON et de la Galine



Déplacements altimétriques des puits de PARRAPON et de La Galine

3.9.2 - Evaluation actuelle la subsidence : limite de la zone et vitesses

L'analyse des mesures de nivellement et l'évolution de la subsidence ont fait l'objet de différentes études, dont les plus récentes sont :

- Analyse des données de nivellement et définition de seuils par rapport aux enjeux, Rapport d'étude INERIS n° DRS-19-181565-02987 du 24/04/2019,
- Modélisation numérique de l'affaissement, Rapport d'étude INERIS n°181565-831019 du 06/01/2020,

En 2023, KEM ONE a fait réaliser une étude complémentaire par la société ARMINES (Ecole des Mines de Paris), dont les principaux résultats sont synthétisés ci-après :

- Etude de subsidence de la surface dans la saline de Vauvert, Rapport d'étude ARMINES (Ecole des Mines de Paris) n°240426FHAD, avril 2024.

La zone affectée au droit de l'exploitation correspond actuellement à une dépression de 8 km x 5,8 km (cf. site de l'EGMS), avec une forme elliptique d'orientation NE/SO, dont le centre est situé au centre de l'exploitation de Parrapon.

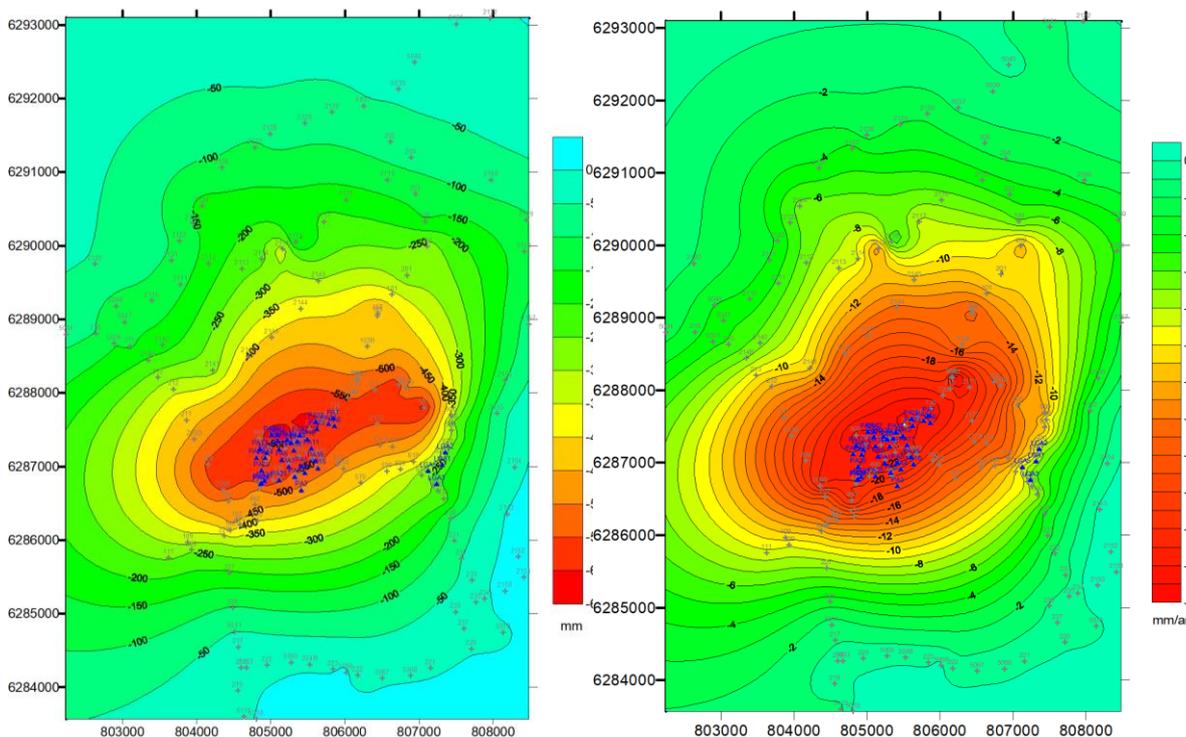
La morphologie du bol de subsidence et son évolution dans le temps sont très linéaires. Les limites de la cuvette dans la direction NO-SE sont bien décrites par les stations de mesure et n'évoluent pas entre 2011 et 2023. Ce sont surtout les amplitudes au centre de cette cuvette et à ses bordures immédiates qui augmentent avec le temps.

La subsidence maximale à Parrapon est de l'ordre de 720 mm au total (au niveau de la borne 750), et celle à La Galine, de l'ordre de 365 mm au total (au niveau de la borne 920).

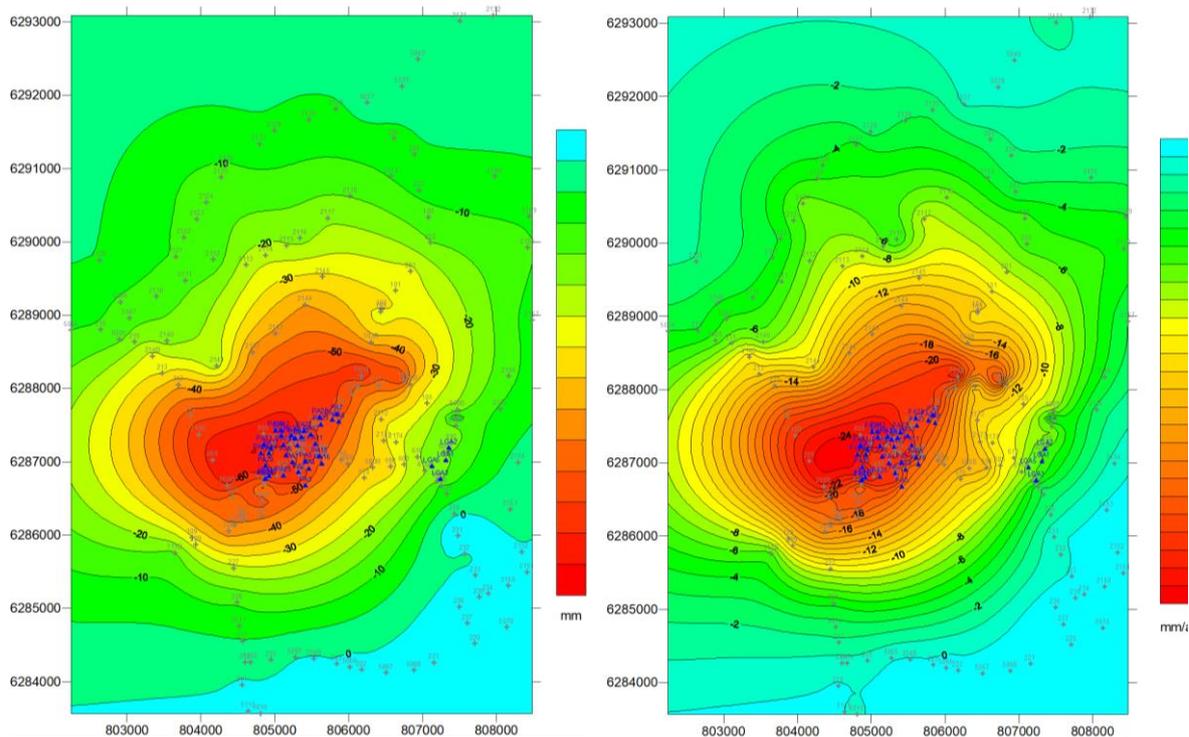
La vitesse de subsidence maximale à Parrapon est de l'ordre de 25 mm/an et se situe autour de 11 mm/an à La Galine. L'analyse de la période actuelle de 2020 à 2023 conduit approximativement à ces mêmes vitesses.

Les cartes de subsidence et de sa vitesse ont permis de faire différentes coupes dans le but d'étudier la répartition spatiale et temporelle du mouvement de la surface. **Les pentes déduites de ces coupes sont extrêmement faibles et sont largement inférieures aux seuils établis pour les ouvrages les plus vulnérables.**

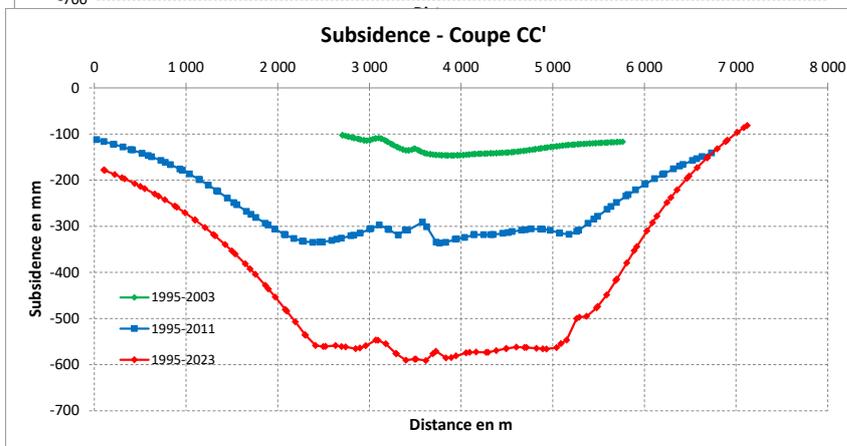
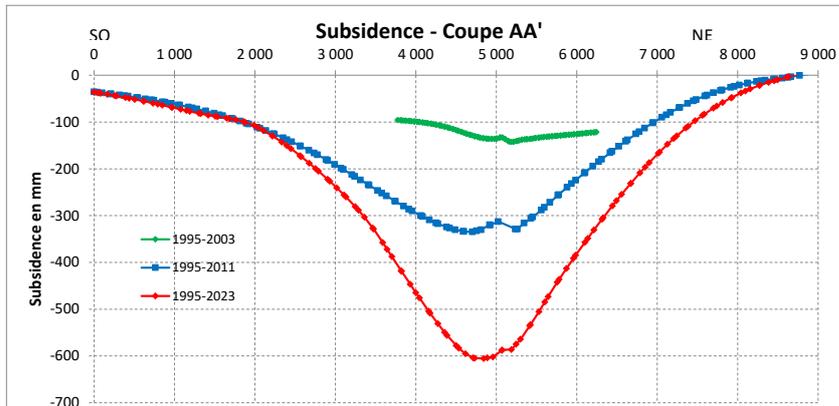
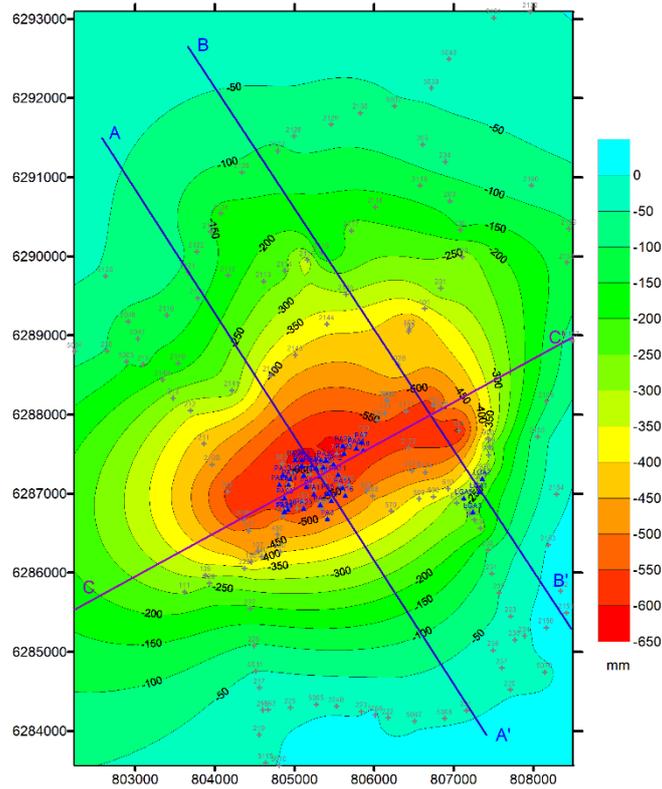
La dernière partie de l'étude a été consacrée au développement de l'exploitation à Parrapon, faisant l'objet du présent dossier, et à la prévision de la subsidence qui en résultera. Ces projets ne devront pas modifier la tendance actuelle de la subsidence.



Cartes de subsidence de la surface et de sa vitesse pour la période 1995-2023



Cartes de subsidence de la surface et de sa vitesse pour la période 2020-2023



Coupes établies pour caractériser la subsidence et sa vitesse (carte de la période 1995-2023)

4 - GESTION DE L'ÉNERGIE, DE L'EAU, DES CONSOMMABLES, DES DECHETS ET DES MOYENS MIS EN ŒUVRE

4.1 - GESTION DE L'ÉNERGIE ET DE L'EAU

4.1.1 - Energie électrique

La saline est alimentée en électricité par 2 câbles 20 kV.

Les besoins lors du forage sont fournis par des générateurs alimentés en fuel (GNR)

4.1.2 - Consommation et utilisation rationnelle de l'Energie

Pendant la création des puits :

Les engins utilisés pour les travaux préliminaires de création des plateformes et les engins de foration des doublets seront alimentés à partir d'énergie fossile (Gasoil Non Routier).

Les principaux engins mobilisés pour la création d'un puits seront alimentés par des générateurs avec réservoir de stockage à double-paroi.

Les engins employés seront conformes aux normes d'insonorisation et de pollution.

Pendant l'exploitation des puits :

En exploitation, les puits sont reliés à la saline. La dissolution du sel dans la cavité saline connectée au puits se fait par injection d'eau douce à partir de pompes situées dans l'enceinte de la Saline et alimentées par le réseau électrique externe.

Les ouvrages en exploitation sont également reliés au réseau d'électricité (220 V) pour l'éclairage ponctuel de la plateforme.

4.1.3 - Couverture des besoins en hydrocarbures

Les besoins en hydrocarbures (fuel, GNR) seront donc essentiellement durant la phase de réalisation des ouvrages afin d'alimenter les engins intervenants sur le chantier. Quelques engins de chantier sont utiles pour la maintenance des installations (grues, chariots...)

4.1.4 - Gestion de l'eau consommée

Pendant l'exploitation la Saline de Vauvert ne nécessite aucun prélèvement d'eau dans les aquifères locaux. La Saline est alimentée en eau brute par la société BRL Exploitation. Une canalisation enterrée de 2,5 km relie le canal Philippe Lamour à la Saline. L'eau fournie par BRLE est stockée dans deux bacs de stockage de 1 000 m³. Depuis ce bassin tampon un réseau de distribution alimente chaque tête de puits permettant l'injection dans les puits à un débit maximal de 400 m³/h souhaité selon le programme de dissolution prévu. Depuis 2009, un bypass a été créé pour délivrer l'eau brute à partir de Saint-André de la Côte permettant de sécuriser l'approvisionnement de la Saline

Un forage est utilisé pour la consommation d'eau sanitaire du personnel de la saline.

La consommation d'eau fournie par BRL Exploitation pour l'exploitation de la Saline de Vauvert est d'environ 2 800 000 m³/an, soit 3,0 m³ par tonne de sel extraite.

4.2 - GESTION DES DECHETS

La production génère des déblais salés et non salés constitués par les insolubles constitués par la couche salifère. Ils sont évacués en filière dédiée.

Les volumes principaux de déblais correspondent aux déblais générés lors de la phase de foration ou de fonçage des puits. Les modalités de la gestion de ces déblais de forage sont détaillées précédemment (§2.5).

Pour l'ensemble des autres déchets, des bennes sont régulièrement évacuées en filière dédiée, bois, ferraille, DIB, huiles usagées, ampoules.

Le projet de création des différents ouvrages ne prévoit aucun rejet de ces déblais de puits dans le milieu naturel. Ces déblais seront pris en charge et acheminés vers un centre de traitement agréé et adapté à la nature des déchets.

Modalité de gestion des déblais de puits des ouvrages créés :

Les déblais de forage seront entreposés provisoirement sur une plateforme bétonnée du doublet de puits en cours de fonçage afin de permettre leur séchage.

Des essais de caractérisation de ces déblais seront effectués lors de leur stockage provisoire afin de confirmer la filière de traitement pressentie.

Les déblais non inertes seront transportés vers des centres de traitement des déchets non dangereux ou dangereux selon les caractéristiques de ces déchets. En fonction de la nature des déblais, et particulièrement des boues de forages, le stockage se fera sur des aires bétonnées différentes au sein de la zone du projet. KEM ONE dispose de solutions de stockage temporaire de ces déblais selon qu'ils sont considérés comme non dangereux ou dangereux de manière à éviter leur mélange.

4.3 - MOYENS MIS EN ŒUVRE

4.3.1 - Personnel employé et horaires de fonctionnement

L'exploitation de la saline de Vauvert est conduite en deux postes de travail (2*8) , sept jours sur sept, avec un effectif posté de 1 personne par poste (effectif de 4 personnes plus 2 remplaçants L'effectif est de 14 personnes pour KEM ONE.

Le personnel présent sur le site dispose d'une expérience et de compétences adaptées et de haut niveau.

4.3.2 - Logistique, transport et approvisionnements

Il n'y a pas de transport de fluides entre la saline et les puits en exploitation, tous les transports se faisant en phase liquide dans des conduites. Les seules circulations sont limitées aux rondes de surveillance de l'installation et à la maintenance de l'installation.

5 - ARRET DE L'EXPLOITATION

Les conditions d'arrêt des travaux sont listées et détaillées dans la en PJ 83 de la demande.