

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique

Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -  
Institut de Technologie



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة أكلي محمد أولحاج  
- البويرة -  
معهد التكنولوجيا

## Département de Génie de l'Eau

### Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme  
de Licence professionnalisant en :

**Génie de l'Eau**

**Thème :**

**Désulfatation des eaux d'injection du champ gazier de Tin  
Fouyé Tabankort (TFT, W. Illizi) par osmose inverse**

**Réalisé par :**

HAMOUDI Abdelghani

**Encadré par :**

M. DAHMANI Saad

Maître de conférences (IT, Univ-Bouira)

**Tuteur de l'entreprise :**

M. HAFIED Yacine

Senior ingénieur AMENHYD SPA

## *Remerciements*

Je remercie tout d'abord Dieu, le tout puissant pour la volonté et le courage qu'il m'a donné pour mener à terme ce travail.

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé au sein de l'entreprise AMENHYD SPA dont je remercie mon encadreur M. HAFIED Yacine pour nous avoir accepté de diriger la formation et d'avoir été disponible pour les difficultés rencontrées ainsi que son encouragement dans le travail et surtout les moments d'écoutes et de besoins

Je tiens aussi à exprimer ma sincère reconnaissance à mon encadrant du mémoire M. DAHMANI Saad qui m'a aidé avec ses conseils, et m'a donné des suggestions et des critiques pendant la période de formation.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes professeurs et enseignants de l'institut de technologie (ISTA) – Bouira.

## ***DEDICACES***

*A tous ceux qui me sont chers :*

*A mes chers, père et mère, qui sans eux rien n'aurait pu être fait,*

*A mes chers frères et mes chères sœurs*

*A toute ma famille*

*A tous mes amis.*

## ملخص:

يُعتبر تشكُّل كبريتات الباريوم من أهم المشاكل التي أصبحت عائقاً كبيراً أمام منطقة إنتاج البترول و الغاز "تين فوين تبن كورت". يحدث هذا التشكُّل بسبب وجود الباريوم في الماء المصاحب للنفط الخام داخل الآبار والكبريتات في مياه الحقن. تعمل هذه المياه على الحفاظ على ضغط النفط داخل الآبار للبقاء على معدل تدفق ثابت للغاز. تجنب تشكُّل كبريتات الباريوم يتطلب استخدام تقنيات معالجة مياه الحقن قبل ضخها في الآبار، بما في ذلك تقنيات الفصل بالغشاء (الترشيح النانوي، التناضح العكسي).

الهدف من هذا العمل هو تصميم محطة التنقية لمياه الحقن لانتاج مياه معالجة تحتوي على كبريتات اقل من 20 ملغ/لتر.

## الكلمات المفتاحية:

ترسيب كبريتات الباريوم – تقنيات الفصل بالغشاء – محطة التنقية .

## Résumé:

La formation de sulfate de baryum est l'un des problèmes les plus importants qui sont devenus un obstacle majeur dans la zone pétrolière et gazière de Tin Fouyé Tabankort (TFT), menaçant ainsi sa production. Cette formation se produit en raison du baryum présent dans l'eau accompagnant le pétrole brut à l'intérieur du puits et le sulfate présent dans l'eau d'injection. Cette dernière maintient la pression du pétrole à l'intérieur du puits pour garder son débit stable. Éviter ce problème de formation de sulfate de baryum nécessite l'utilisation de techniques de traitement de l'eau avant son injection, notamment les techniques de séparation membranaire (nanofiltration, osmose inverse).

Le but de ce travail est de dimensionner une station de désulfatation des eaux d'injection pour produire de l'eau traitée d'une teneur en sulfates inférieure à 20mg/l.

## Mots-clés:

Dépôt de sulfate de baryum – technique de séparation membranaire – station désulfatation.

## Abstract:

The formation of barium sulfate is one of the most significant problems that has become a major obstacle in the Tin Fouyé Tabankort (TFT) oil and gas field, thereby threatening its production. This formation occurs due to the barium present in the water accompanying the crude oil inside the well and the sulfate present in the injection water. The latter maintains the oil pressure inside the well to keep its flow rate stable. Avoiding this problem of barium sulfate formation requires the use of water treatment techniques before its injection, particularly membrane separation techniques (nanofiltration, reverse osmosis).

The purpose of this work is to design a desulfation station for injection water to produce treated water with a sulfate content of less than 20 mg/L.

## Key-words:

Barium sulfate deposition – membrane separation technique – desulfation station.

## *Sommaire*

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

### **Chapitre I : Présentation de l'entreprise**

Introduction .....	2
I.1. Présentation du groupement AMENHYD .....	2
I.2. Présentation d'AMENHYD spa .....	4
I.2.1. Localisation géographique d'Amenhyd SPA .....	4
I.2.2. L'organigramme de l'entreprise.....	5
Figure I.3 :Organigramme d'Amenhyd .....	6
Conclusion.....	6

### **Chapitre II : Présentation de la zone d'étude**

Introduction .....	7
II.1. Présentation de la région de Tin Fouyé Tabankort (TFT) .....	7
II.2. Situation géographique de la région TFT .....	7
II.3. Historique et découverte du pétrole.....	8
II.4. Historique de production .....	8
II.5. Gisements du champ de TFT .....	9
Conclusion.....	10

### **Chapitre III : Généralité sue les dépôts de Sulfate de Baryum**

Introduction .....	11
III.1. Définition.....	11
III.2. Origine de sulfate baryum .....	12
III.3. Eaux d'injection.....	12
III.4. Eaux de gisement .....	12
III.5. Localisation des dépôts de Sulfate de Baryum .....	13
III.6. Caractéristiques du Sulfates de Baryum.....	14

III.6.1. Propriétés physico-chimiques du Sulfate de Baryum.....	14
III.6.2. Structure cristalline du sulfate de baryum .....	14
III.6.3. La solubilité de BaSO <sub>4</sub> .....	15
III.7. Les paramètres influençant sur leur formation .....	16
III.7.1. Effet de la température.....	16
III.7.2. Effet de la pression .....	16
III.7.3. Effet de pH.....	16
Conclusion.....	17

## **Chapitre IV: Dimensionnement de la station de désulfatation**

Introduction .....	18
IV.1. Description du projet.....	18
IV.2. Prétraitement.....	19
IV.2.1. Pompe d'alimentation de système :.....	19
IV.2.2. Système de filtration multicouche.....	20
IV.2.2.1. Poste de lavage de filtres multicouches .....	21
IV.3. traitement.....	23
IV.3.1. Microfiltration.....	23
IV.3.2. La pompe à haute pression .....	24
IV.3.3. Bloc de désulfatation .....	25
IV.3.3.1. Nombre des modules : .....	26
IV.3.4. La conception-simulation par le logiciel WAVE:.....	26
IV.3.4.1. Logiciel WAVE : .....	26
IV.3.4.2. Etapes de simulation.....	27
IV.3.4.2. Résultats de simulation.....	30
IV.4. Les produits injecter.....	31
Conclusion.....	32
Conclusion générale .....	34

Références bibliographiques

Annexe

## Liste des figures

<b>Figure I.1:</b> Les logos des filiales de l'entreprise.....	3
<b>Figure I.2 :</b> Localisation d'Amenhyd-spa.....	5
<b>Figure I.3 :</b> Organigramme d'Amenhyd.....	6
<b>Figure II.1 :</b> La situation géographique de TFT.....	7
<b>Figure II.2 :</b> Les périmètres TFT .....	10
<b>Figure III.1:</b> Les dépôts de Sulfate de Baryum BaSO <sub>4</sub> .....	11
<b>Figure III.2:</b> Précipitation de BaSO <sub>4</sub> dans les installations de fond et de surface.....	13
<b>Figure III.3:</b> Poudre blanche de sulfate de baryum.....	14
<b>Figure III.4:</b> Structure cristalline du sulfate de baryum .....	15
<b>Figure IV.1:</b> Schéma de filtre à sable.....	20
<b>Figure IV.2:</b> Logiciel WAVE.....	27
<b>Figure IV.3:</b> La première étape de simulation dans logiciel WAVE.....	28
<b>Figure IV.4:</b> Etape d'analyse de l'eau de simulation par logiciel WAVE.....	29
<b>Figure IV.5:</b> Etape de désigne par logiciel WAVE.....	30

## Liste des tableaux

<b>Tableau II.1:</b> Les dates de découverte et de mise en service des périmètres de champs TFT.....	8
<b>Tableau III.1:</b> comparaison des solubilités.....	15
<b>Tableau IV.1:</b> Résultats des Analyses physico-chimique de eau brute.....	18
<b>Tableau IV.2:</b> Les caractéristiques de pompe d'alimentation.....	19
<b>Tableau IV.3:</b> Les données de filtre à sable.....	21
<b>Tableau IV.4:</b> Résultats de dimensionnement de filtre à sable.....	21
<b>Tableau IV.5:</b> Caractéristiques de Poste de lavage .....	22
<b>Tableau IV.6:</b> Caractéristiques de filtre à cartouche (5 µm).....	24
<b>Tableau IV.7:</b> Résultat de dimensionnement de filtre à cartouche (5 µm).....	24
<b>Tableau IV.8:</b> Les caractéristiques de pompe HP.....	25
<b>Tableau IV.9:</b> Fiche technique de module de type Eco Pro-440i.....	25
<b>Tableau IV.10:</b> Tableau de calcul de nombre des modules.....	26
<b>Tableau IV.11:</b> Résultats de simulation par logiciel WAVE.....	30
<b>Tableau IV.12:</b> Les produits injectés, leur site d'injection et leur objectifs.....	31

## Introduction générale

La production du pétrole dans le champ pétrolier est confrontée à divers problèmes, tels que la formation de dépôts organiques (asphaltènes, résines, paraffines, cires, etc.) et de dépôts minéraux (carbonates et sulfates).

Les dépôts insolubles de Sulfate de Baryum ( $\text{BaSO}_4$ ) sont les plus graves et les plus gênants, car ils sont très durs et compacts et peuvent se produire sur toute la chaîne de production. Ces dépôts sont causés par l'incompatibilité entre l'eau d'injection qui contient des ions de sulfates ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) et l'eau de gisement qui contient des ions de baryum ( $\text{Ba}^{+2}$ ).

Effectivement, l'industrie pétrolière met en place une variété de solutions spécifiques plus efficaces et radicales pour traiter ces dépôts, dans le but de réduire au minimum les pertes de temps et l'impact économique négatif considérable pour les projets en cours d'exploitation. On peut citer parmi ces derniers la désulfatation des eaux d'injection.

L'objectif de ce travail est de dimensionner deux (02) procédés principaux de traitement des eaux pour la désulfatation des eaux d'injection des forages gaziers de la zone TFT. En effet, ce travail se concentre sur les phases suivantes :

- Filtration au moyen d'un filtre à sable,
- Déminéralisation pour désulfatation au moyen de l'osmose inverse.

Notre étude comprendra les chapitres suivants :

- Le premier chapitre pour la présentation de l'entreprise du stage.
- Le deuxième chapitre portera sur la présentation du champ gazier TFT (Tin Fouyé Tabankort).
- Le troisième chapitre abordera des généralités sur les dépôts de Sulfate de Baryum.
- Le quatrième chapitre est consacré au dimensionnement de la station de désulfatation.

Et finalement, ce travail se cloture par une conclusion générale.

# **Chapitre I**

## **Présentation de l'entreprise**

## Introduction

Dans le cadre de la préparation de la Licence en Hydraulique, j'ai effectué un stage en milieu professionnel du 05/02/2024 au 30/05/2024. Le but de ce stage était de découvrir le milieu professionnel de près, de familiariser le futur diplômé avec les tâches et missions liées aux différents postes, et finalement de faciliter son insertion professionnelle future.

L'objectif de ce chapitre est de présenter le groupement AMENHYD et ses filières.

### I.1. Présentation du groupement AMENHYD

Le groupement AMENHYD a été fondé en 2003, pour répondre aux besoins du marché Algérien; par le biais de ses activités dans les domaines des aménagements hydraulique et de l'environnement, et de la qualité de ses produits /prestations le groupement AMENHYD participe activement à la mise en œuvre des politiques sectorielles gouvernementales en matière de l'eau, l'environnement et de développement durable.

Le groupement AMENHYD se compose principalement des sociétés suivantes:

- ***AMENHYD Spa « Aménagement Environnement & Hydraulique »***

Société par action spécialisée dans la réalisation des travaux d'aménagement hydraulique et d'environnement.

- ***ALCAHYD « Algérienne des Canalisations Hydrauliques »***

Société spécialisée dans la production de canalisations en béton et d'une gamme d'éléments préfabriqués en béton destinés au secteur du BTPH, tels que les bordures, pavés, hourdis, parpaings...etc.

- ***AZROU « Concassage & d'exploitation de Carrière »***

Société spécialisée dans l'extraction et la production d'agrégats destinés au secteur du BTPH.

- ***BECATA « Bureau d'Engineering, de Consulting et d'Assistance Technique »***

Bureau d'études spécialisé dans l'élaboration, le contrôle et le suivi des études techniques et d'exécution relative à la réalisation des ouvrages hydrauliques, génie civil et d'environnement.

- ***CHT « CHELGHOUM Transport »***

Société spécialisée dans le transport de tout type de matériaux et de matériel sur toute distance sur le territoire national.

- ***AZAR-AGRO***

Crée en 2014 pour s'occuper de l'import-export des matériels agricoles et machines destinées à l'industrie agro-alimentaire. Ses activités comprennent l'oléiculture, l'arboriculture, la culture céréalière, les cultures fourragères des bovins laitiers, ...etc.



**Figure I.1:** Les logos des filiales de l'entreprise

## **I.2. Présentation d'AMENHYD spa**

**AMENHYD Spaa** commencé ses activités dans le domaine du bâtiment et travaux public en 1994 sous le nom de **ETB/TCE CHELGHOUM Djamel Eddine**, consciente du besoin du marché et grâce à la qualité de ses prestations et sa persévérance dans son domaine d'activité, l'entreprise a développé ses techniques de réalisation et élargie ses domaines d'interventions en intégrant les activités d'aménagement hydrauliques et environnementaux.

En répondant aux attentes de ses clients, et en améliorant constamment son image de marque, grâce à la qualification de son personnel et la technicité de ses interventions, l'entreprise est ainsi devenue un acteur renommé au niveau national, activant successivement sous le nom **EURL AMENHYD Réalisation** (2006) puis modifiant son statut final en **AMENHYD spa « Aménagement-Environnement-Hydraulique »**.

AMENHYD s'est investie dans la construction, l'équipement, la mise en service des grands ouvrages hydrauliques tel que : les barrages, les ouvrages de déminéralisation et de dessalement, transfert et d'assainissement, ouvrages des stations de traitement, d'épuration. En outre la protection entre les effets nocifs de l'eau, le traitement de déchets et de réhabilitation de décharges avec lesquels elle est leader en Algérie en la protection environnementales.

AMENHYD s'est également investie dans les solutions préfabriquées des ouvrages en génie civil que les hangars, entrepôts, parkings, ... etc.

AMENHYD emploie environ **2300** employés répartis à travers les directions centrales, opérationnelles ainsi que les chantiers de réalisation.

### ***I.2.1. Localisation géographique d'Amenhyd SPA***



**Figure I.2 :** Localisation d'Amenhyd-spa

### *1.2.2. L'organigramme de l'entreprise*

L'organigramme de l'entreprise d'Amenhyd est représenté sur la figure suivante :

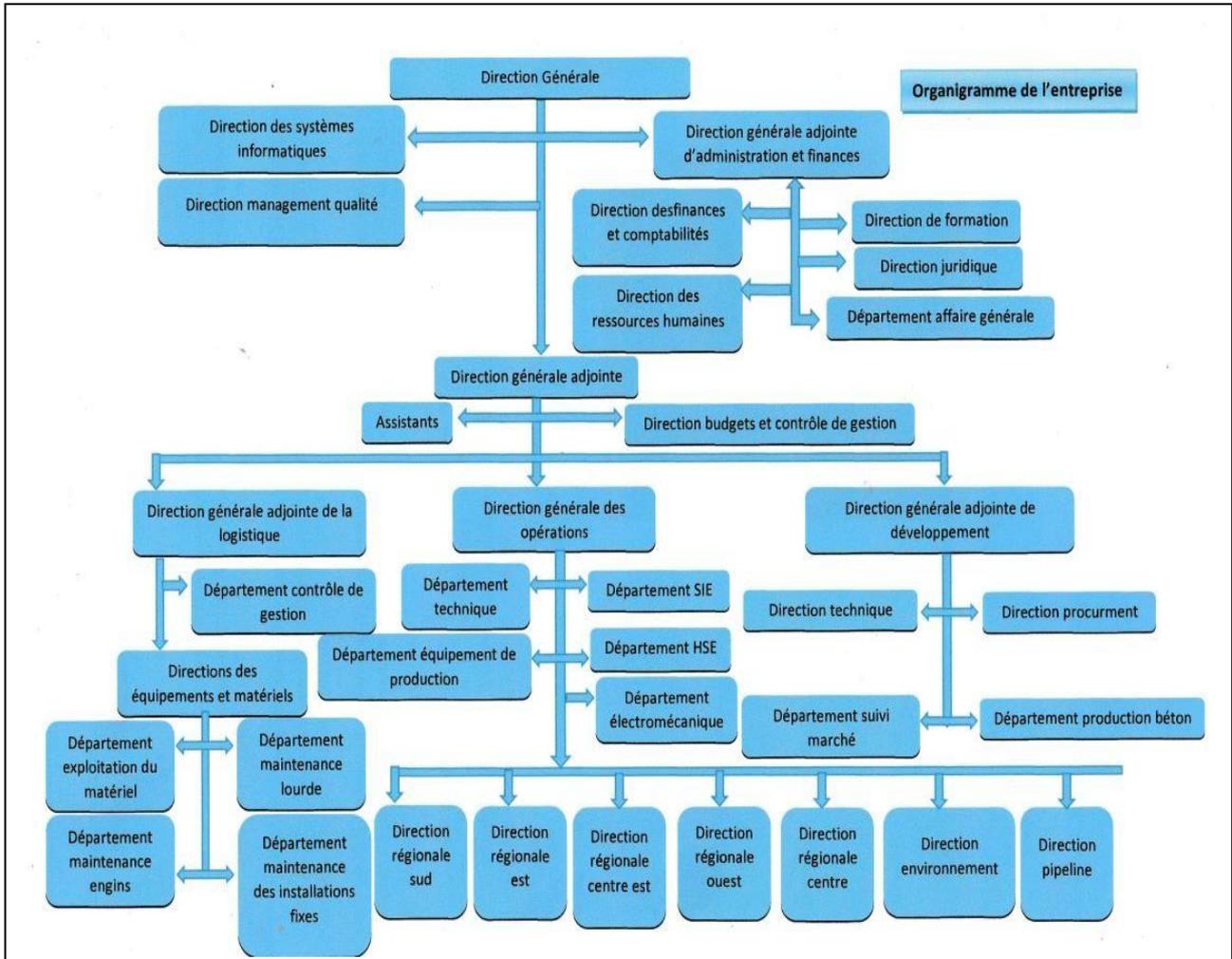


Figure I.3 :Organigramme d'Amenhyd

### Conclusion

Le groupement AMENHYD, fondé en 2003, est composé de plusieurs sociétés spécialisées dans l'aménagement hydraulique, l'environnement, et le BTPH, Parmi elles, AMENHYD Spa, ALCAHYD, AZROU, BECATA, CHT, et AZAR-AGRO apportent leurs expertises respectives.

Le siège principal de la société AMENHYD Spa se trouve au niveau de Bab-Ezzouar, Alger. AMENHYD Spa joue un rôle clé dans les politiques d'eau et de développement durable en Algérie. Avec environ 2300 employés, La société est spécialisée dans le domaine de l'aménagement, l'environnement, l'hydraulique.

## **Chapitre II**

### **Présentation de la zone d'étude**

## Introduction

Avant d'entamer notre étude, il faut faire une étude sur la région d'étude pour savoir les caractéristiques de cette région en général.

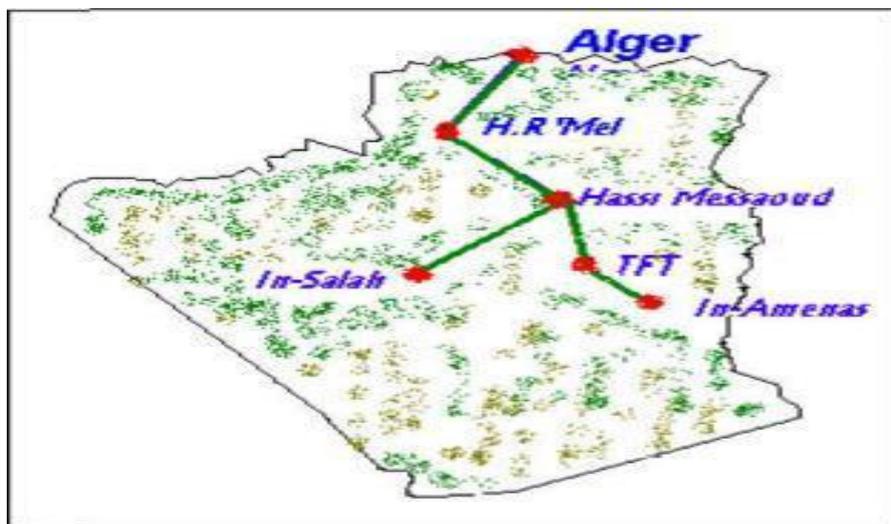
Dans ce chapitre la région de **Tin Fouyé Tabankort (abrégée TFT)** est présentée avec sa localisation géographique.

### II.1. Présentation de la région de Tin Fouyé Tabankort (TFT)

La branche régionale de Tin Fouyé Tabankort, surnommée TFT, représente une composante essentielle de l'activité amont de la société SONATRACH. Fondée en 1976, elle se concentre sur la production du pétrole et du gaz dans le champ de TFT, ainsi que sur la supervision de ses différentes subdivisions (**DOUROUNI, 2022**).

### II.2. Situation géographique de la région TFT

La région de Tin Fouyé Tabankort (TFT) est située dans la partie nord-ouest du bassin d'Ilizi. Située au nord-ouest du bassin d'Ilizi, elle se trouve à 300 km au nord-ouest d'In-Amenas, à 500 km au sud-est de Hassi Messaoud sur la route nationale N° 3, à 1300 km d'Alger. Elle est administrativement rattachée à la wilaya d'Ilizi. La région est située à 432 mètres d'altitude et couvre une superficie de 4000 km<sup>2</sup>(**DOUROUNI, 2022**).



**Figure II.1** :La situation géographique de TFT (**DOUROUNI, 2022**)

### II.3. Historique et découverte du pétrole

Les premières découvertes dans la région datent des débuts des années soixante, le premier gisement découvert est celui de TFY au 1961.

**Tableau II.1:** Les dates de découverte et de mise en service des périmètres de champs TFT (ZENDARI, 2018)

<i>Région TFT</i>	<i>Nom de la zone</i>	<i>Date de découverte</i>	<i>Date de mise en service</i>
<i>Sud</i>	<i>TIN FOUUYE</i>	<i>1961</i>	<i>1963</i>
	<i>HASSI MAZOUULA</i>	<i>1963</i>	<i>1966</i>
	<i>HASSI MAZOUULA B</i>	<i>1966</i>	<i>1967</i>
	<i>TIN FOUYE NORD</i>	<i>1966</i>	<i>1966</i>
	<i>HASSI MAZOUULA</i>	<i>1958</i>	<i>1965</i>
<i>Nord</i>	<i>TFT ZONEE 100</i>	<i>1966</i>	<i>1967</i>
	<i>DJOUA OUUEST</i>	<i>1966</i>	<i>1968</i>
	<i>TFT ORDOVVICIEN</i>	<i>1967</i>	<i>1968</i>
	<i>TFT ZONE EST</i>	<i>1968</i>	<i>1968</i>
	<i>TAMENDJJELT</i>	<i>1970</i>	<i>1974</i>
	<i>AMASSAAK</i>	<i>1970</i>	<i>1974</i>

### II.4. Historique de production

La région de TFT est connue par sa capacité de production d'huile, classée la 2ème région après Hassi Messaoud qui produit moyenne de :

- 10'700 T/jour d'huile presque 13000 m<sup>3</sup>/ jour.
- 18'500 m<sup>3</sup>/ jour d'eau.

- 3'500'000 m<sup>3</sup>/ jour de gaz.

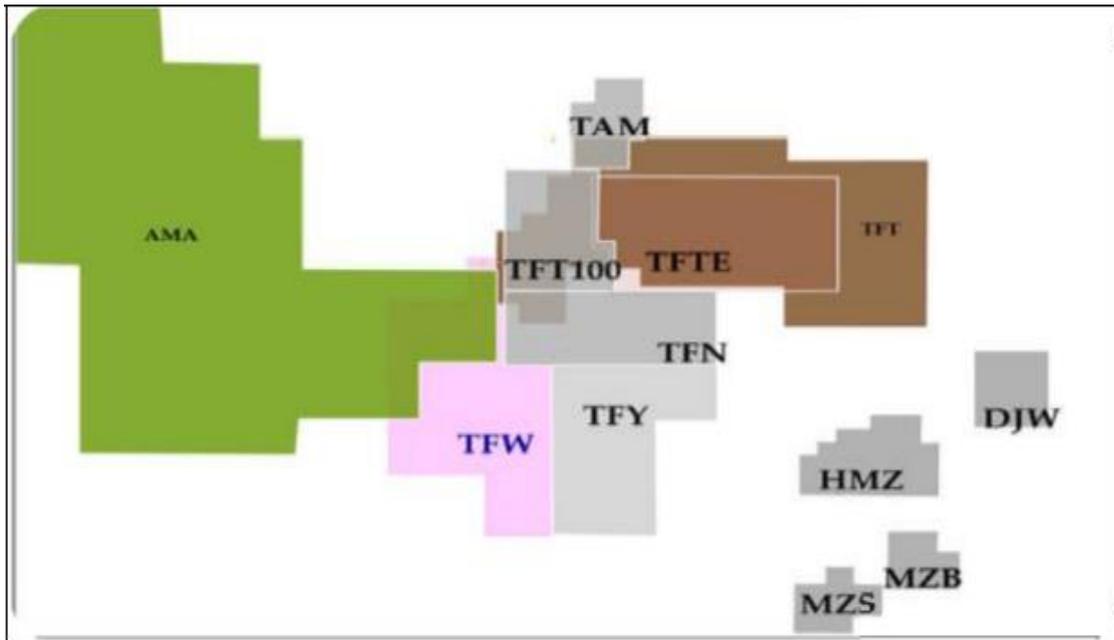
Le réservoir de TFT de l'âge géologique ordovicien (2000 m) produit la plus grande partie de la production de la région. Son exploitation a commencé en novembre 1968. Jusqu'au 1975, les puits forés étaient en nombre de 52, dont 49 producteurs. La surface embrassée par les forages ne présentait que 40% de la surface de TFT. La production d'huile en 1974 a atteint 2'634'000 tonnes. En raison de la diminution de pression de gisement conduisant à l'épuisement de l'énergie de réservoir, le projet de maintien de pression a été introduit en 1980. Les résultats ont commencés à ce manifester à partir de 1984 où il a été produit 2'751'651 tonnes, 4'976'886 tonnes en 1981 et 4'410'176 tonnes en 1994 et 3'504'200 tonnes en 1998 et 3'987'213 tonnes en 2004. Plusieurs techniques de récupération d'huile ont été utilisées dans la région de TFT : récupération primaire (puits éruptif), et récupération secondaire (gas-lift, maintien de pression par injection d'eau et pompage électrique) .Dans le but d'augmenter le taux de récupération à plus de 25% et de récupérer les gaz torchés, un autre projet est entré en service en 1987 avec la construction de l'usine de traitement de gaz. Actuellement 400 puits d'huile sont forés dans le réservoir ordovicien de gisement TFT (ZENDARI,2018).

## II.5. Gisements du champ de TFT

Deux réservoirs productifs constituent le gisement de TFT : de l'âge géologique ordovicien et de l'âge géologique dévonien. Le principal gisement est l'ordovicien, qui a été mis au jour en 1967. Ce réservoir se présente sous la forme d'un anticlinal contenant du gaz-cap au sud et de l'huile au nord. Il s'étend de 7 à 15 km du Nord au Sud et de 25 km de l'Est à l'Ouest de la région TFT, avec une profondeur moyenne de 2100 mètres.

Le Dévonien, qui se trouve à une profondeur de 1400 mètres, est un réservoir d'huile non éruptif qui est exploité par des méthodes artificielles. La région TFT est divisée en deux secteurs : le secteur sud et le secteur nord. Le secteur nord regroupe les champs du TFT ordovicien et dévonien (TAM, AMA, DJOUA). Le secteur sud comprend les champs de TIN-FOUYE et MAZOULA (DOUROUNI, 2022).

Le champ de TFT est composé de quinze (15) périmètres d'exploitation, ces derniers sont représentés sur la figure suivante :



**Figure II.2 : Les périmètres TFT (BAOUIA , 2022)**

## Conclusion

La région TFT joue un rôle essentiel dans la production des ressources pétrolières, avec une forte influence régionale dans ses activités. Elle est le deuxième plus grand champ de production d'huile après le champ de Hassi Messaoud.

**Chapitre III**

**Généralités sur les dépôts de**

**Sulfate de Baryum**

## Introduction

Les dépôts de Sulfate de Baryum dans les champs pétroliers sont des phénomènes complexes qui présentent des défis significatifs pour l'industrie pétrolière. Ces dépôts, souvent trouvés dans les systèmes de production de pétrole, peuvent entraîner une diminution de la production, des coûts de maintenance accrus et une dégradation des équipements.

Dans ce chapitre, on va parler généralement sur les dépôts de Sulfate de Baryum  $\text{BaSO}_4$ .

### III.1. Définition

Le sulfate de baryum ou barytine est un minéral très lourd. C'est le plus dur et le plus dangereux des autres dépôts, et sa formation doit être évitée, car il forme un blocage imperméable et colmatant qui ne s'affecte par les acides et les alcalis. De plus, ses limites de solubilité sont très basses (2 à 3 mg/l dans l'eau distillée) (BENFIFI, 2022).



**Figure III.1:** Les dépôts de Sulfate de Baryum  $\text{BaSO}_4$  (DJAOUT, 2021)

### III.2. Origine de sulfate baryum

Les dépôts de Sulfate de Baryum proviennent de l'incompatibilité des deux eaux. Les eaux du gisement peuvent contenir des ions Baryum ( $Ba^{+2}$ ) et être mises en contact avec des eaux injectées (Albien), qui contiennent des ions de sulfates ( $SO_4^{-2}$ ). Le contact entre les deux éléments forme le dépôt de sulfate de baryum et donne des résultats néfastes sur les équipements utilisés lors du dessalage, tels que le bouchage des puits et la corrosion des installations. Ces deux phénomènes influent beaucoup sur le procédé d'extraction du pétrole et par conséquent, une diminution de la production pétrolière (BENFIFI, 2022).

### III.3. Eaux d'injection

C'est le processus le plus ancien (fin du XIXe siècle), mais il est toujours le plus utilisé. Son objectif n'est pas seulement de récupérer, mais aussi d'augmenter la production et de réduire son déclin. Le maintien de la pression est fréquemment utilisé. Le type d'injection peut être réparti dans la zone à l'huile ou périphérique dans un aquifère existant (BENGANA, 2019).

Il peut s'agir d'une injection du type repartie dans la zone à l'huile ou d'une injection périphérique dans un aquifère existant.

En ce qui concerne les sources d'eau, les couches aquifères situées à faible profondeur de l'eau de mer ou de l'eau en surface à terre (lacs, rivières) sont le plus souvent utilisées. De plus, l'eau doit être injectable avec une perméabilité suffisante et une compatibilité avec l'eau du gisement. En effet, le mélange d'eau injectée avec l'eau en place peut provoquer des précipités inscrutables ( $BaSO_4$ ) qui bouchent les puits (BENGANA, 2019).

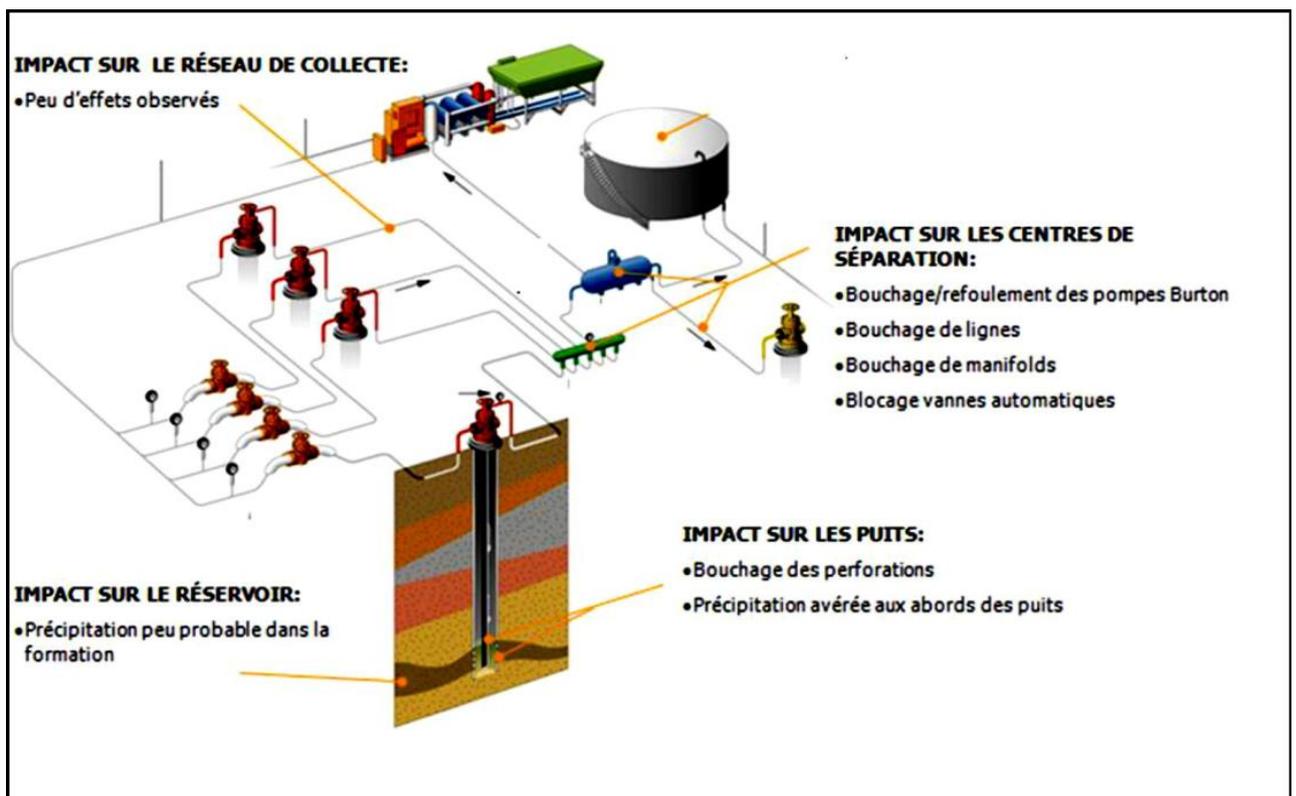
### III.4. Eaux de gisement

Il est important de noter que la production brute est toujours accompagnée de la production du gaz de pétrole et d'une quantité d'eau plus ou moins importante en fonction du gisement. Les causes naturelles de la présence de l'eau comprennent la roche magasin elle-même, qui peut retenir des quantités importantes d'eau, et qui est généralement très chargée en sels jusqu'à sursaturation. Bien que le chlorure de

sodium (NaCl) soit le sel principal, il est toujours accompagné de quantités différentes de sels de Calcium (Ca), de Potassium (K), de magnésium (Mg), de Baryum (Br) et de strontium (Sr) sous forme de sulfates de carbonates, de bicarbonates et de chlorures. L'eau de gisement ou de formation est utilisée pour accompagner le pétrole brut dans les gisements de production. Cette eau peut provenir soit de l'aquifère qui se trouve à la base des gisements pétroliers, soit de la roche magasin elle-même (BENGANA ,2019).

### III.5. Localisation des dépôts de Sulfate de Baryum

La libération de Sulfate de Baryum ne se limite pas aux réservoirs de pétrole. Les dépôts peuvent se produire dans les installations de surface, les puits, les tuyaux ou les équipements de la raffinerie utilisés pour le traitement du pétrole brut (BENFIFI, 2022 ).



**Figure III.2:** Précipitation de BaSO<sub>4</sub> dans les installations de fond et de surface (BENFIFI , 2022)

## III.6. Caractéristiques du Sulfates de Baryum

### III.6.1. Propriétés physico-chimiques du Sulfate de Baryum

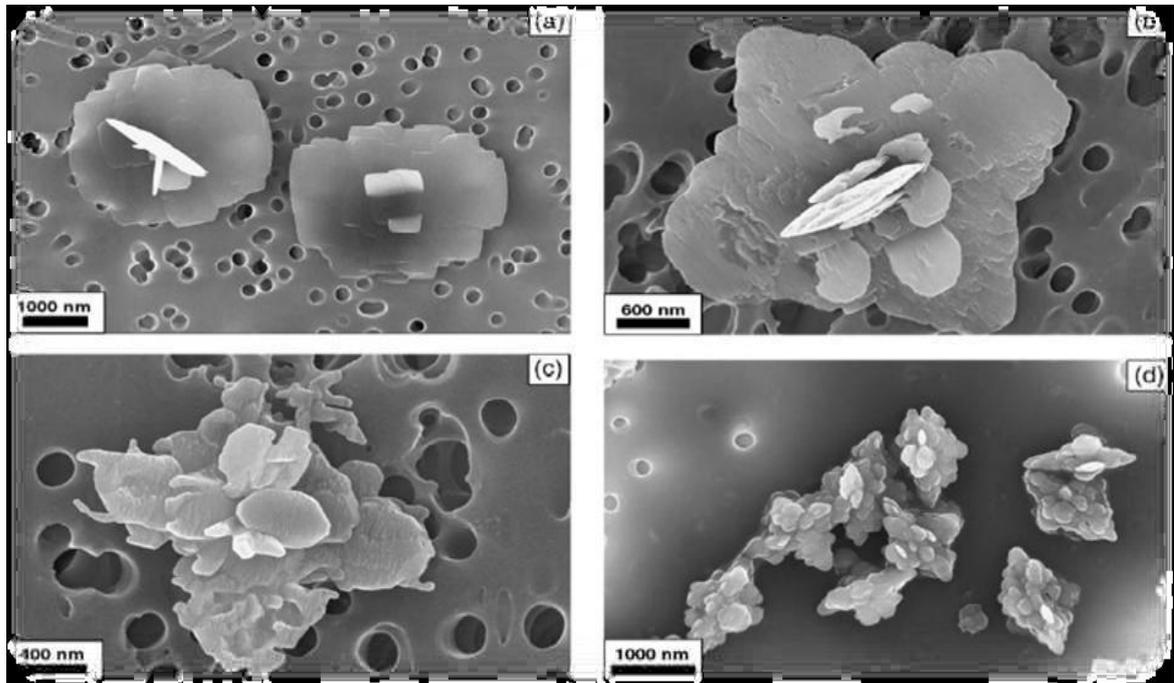
La formule chimique du Sulfate de Baryum est  $\text{BaSO}_4$ . Il s'agit de cristaux orthorhombiques incolores ou blancs avec une masse moléculaire relative de 233.4 g/mol, un point de fusion de 1580 °C et un indice de réfraction de 1,637. Il est presque insoluble dans l'eau à 0,00022 (mg/100ml) à 18 °C et à 0,0041 (mg/100ml) à 100 °C. Il est insoluble dans d'autres types d'acides ou de bases, mais légèrement soluble dans l'acide sulfurique concentré et soluble dans une solution de carbonate de métal alcalin dans laquelle il est converti en carbonate de baryum. Il se trouve dans la nature sous la forme minérale de baryte ([https://www.chemicalbook.com/Barium sulfate Chemical Properties, Uses, and Production.](https://www.chemicalbook.com/Barium%20sulfate%20Chemical%20Properties,%20Uses,%20and%20Production.)).



**Figure III.3:** Poudre blanche de sulfate de baryum

### III.6.2. Structure cristalline du sulfate de baryum

D'une part, les cristaux de  $\text{BaSO}_4$  et de  $\text{SrSO}_4$  sont orthorhombiques avec des mailles très voisines, et d'autre part, ils sont poreux, ce qui leur permet d'absorber les ions étrangers qui peuvent co-précipiter. Le  $\text{CaSO}_4$ , en revanche, est monoclinique et orthorhombique, avec des mailles très différentes de celles du  $\text{BaSO}_4$  et du  $\text{SrSO}_4$  (LARBAOUI K, 2017).



**Figure III.4:** Structure cristalline du sulfate de baryum (BENFIFI, 2022 )

### III.6.3. La solubilité de $BaSO_4$

La solubilité est une grandeur physique qui indique la masse maximale de soluté qui peut être dissoute dans un litre de solution. Elle est généralement exprimée en kilogrammes par mètre carré ( $kg/m^3$ ). Le produit de solubilité du dépôt de  $BaSO_4$  est de  $1,10 \cdot 10^{-10}$  à  $25\text{ }^\circ C$ , par rapport aux autres types de sel de sulfate. Le tableau ci-après regroupe quelques produits de solubilité à  $25\text{ }^\circ C$  de certains sulfates rapportés dans la littérature (LARBAOUI K, 2017).

**Tableau III.1:** comparaison des solubilités (LARBAOUI K , 2017)

Élément	$BaSO_4$	$SrSO_4$	$CaSO_4$
Produit de solubilité $K_{sp}$	$1.1 \cdot 10^{-10}$	$2.8 \cdot 10^{-7}$	$6.1 \cdot 10^{-5}$
Solubilité 's' (mol/l)	$1.05 \cdot 10^{-5}$	$5.3 \cdot 10^{-4}$	$7.8 \cdot 10^{-3}$

À  $25\text{ }^\circ C$ , la solubilité de  $BaSO_4$  dans l'acide sulfurique concentré (densité 1,853) est de 15.89 g dans 100 g de solution saturée. Lorsque la solution d'acide sulfurique est diluée (0,05 g par 100 g de solution diluée contenant 83 % d'acide concentré), sa solubilité diminue rapidement (LARBAOUI K, 2017).

### **III.7. Les paramètres influençant sur leur formation**

#### ***III.7.1. Effet de la température***

Elle a un impact significatif sur la croissance et la solubilité cristalline du strontium, du baryum et du calcium. La température élevée réduit la solubilité du  $\text{CaCO}_3$ , du  $\text{SrSO}_4$  et du  $\text{CaSO}_4$ , mais augmente la dissolution du  $\text{BaSO}_4$  (MEDDAHI K, 2014).

#### ***III.7.2. Effet de la pression***

Les variations de concentration du gaz dissous sont causées par la variation de la pression, et dans ce cas, les déplacements d'équilibre peuvent modifier les conditions de précipitation. En effet, au cours de la remontée des effluents en surface dans les puits producteurs, il y a des variations importantes de pression, ce qui entraîne une évaporation partielle de l'eau, et par conséquent une précipitation rapide de  $\text{BaSO}_4$  et de  $\text{CaSO}_4$ . En revanche, la diminution de la pression favorise la formation de dépôts de  $\text{CaCO}_3$  (MEDDAHI K, 2014).

#### ***III.7.3. Effet de pH***

En raison de l'activité intense des ions  $\text{H}^+$ , la solubilité des sels augmente avec la baisse du pH. En effet, lorsque le pH est acide, l'activité du  $\text{H}^+$  (qui a pour origine la dissociation des acides forts comme le  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) est très forte et attaque facilement le dépôt, tandis que lorsque le pH est basique, la formation d'oxydes augmente la masse du dépôt et diminue la solubilité (MEDDAHI K, 2014).

### **III.8. Conséquences de la formation de dépôts dans les champs pétroliers**

Les conséquences sont listées comme suit :

Il est possible que les installations de surface (tête de puits, vannes, conduites, ...) et du fond (casing, tubing...) soient corrodées.

La perméabilité diminue et l'écoulement des hydrocarbures diminue.

La formation des dépôts nécessite de grands investissements pour la réparation et le reconditionnement des équipements du fond des puits producteurs et injecteurs.

Le colmatage de la roche réservoir qui entoure les puits.

## Conclusion

En conclusion, ce chapitre a abordé en détail le sulfate de baryum. Nous avons défini ce composé, exploré son origine et sa localisation, ainsi que ses caractéristiques distinctives. Nous avons également discuté des paramètres influençant la formation des dépôts de sulfate de baryum, notamment dans les champs pétroliers, et des conséquences néfastes de ces dépôts, telles que les obstructions et les coûts de maintenance élevés.

**Chapitre IV**

**Dimensionnement du station de  
désulfatation**

## Introduction

Une station de désulfatation est une installation qui vise à produire de produire une eau traitée de faible teneur en sulfate à partir d'eau saumâtre fortement chargée en sulfate, grâce à plusieurs techniques dont la plus connue est l'osmose inverse.

Dans ce chapitre, nous allons dimensionner les les différents procédés (prétraitement, traitement par l'osmose inverse) d'une station de désulfatation.

### IV.1. Description du projet

Notre projet consiste à l'étude et la conception d'une station pilote de désulfatation des eaux saumâtres issues du puits TFT 621. La capacité de la station pilote projetée est de 2500 m<sup>3</sup>/j et elle permet de produire une eau traitée de faible teneur en sulfate inférieure à 20 ppm à partir d'une eau brute fortement chargée en sulfate qui dépasse 1200 ppm.

#### Qualité d'eau brute

Le tableau ci-dessous résume les résultats des analyses physico-chimiques de eau brute à désulfater.

**Tableau IV.1:** Résultats des analyses physico-chimiques d'eau brute

Paramètres	Valeur	
pH à 20°C	7,2	
pH sur site	6,7	
Salinité sur site (g/L)	2,63	
Conductivité (ms/cm)	4,84	
TDS (g/L)	2,42	
Cations		
	mg/L	méq/L
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	206,01	10,30
Magnesium (Mg <sup>2+</sup> )	54,23	4,46
Sodium (Na <sup>+</sup> )	870,50	37,85
Potassium (K <sup>+</sup> )	40,88	1,05
(Sr <sup>2+</sup> )	3,15	0,072
(Ba <sup>2+</sup> )	0,00	0,00
(Fe <sup>2+</sup> )	0,004	Traces

**Tableau IV.1:** Résultats des analyses physico-chimiques d'eau brute (Suite)

Paramètres	Anions	
	mg/L	méq/L
Chlorure(Cl <sup>-</sup> )	1113,35	31,4
Carbonate(CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	0,00	0,00
Bicarbonate(HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	146,40	2,4
<b>Sulfate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</b>	1200,00	25,00
Indice d'hydrocarbure (HCT)	0,8021mg/L	
Carbone organique total (COT)	11,15mg/L	
Manganèse (Mn)	0,158mg/L	

## IV.2. Prétraitement

Le prétraitement de l'eau saumâtre est nécessaire pour éviter la détérioration des pompes, l'incrustation, l'encrassement et la dégradation des membranes car elles sont très sensibles au colmatage. Cette étape est composée de deux opérations:

**1<sup>ère</sup> opération:** l'alimentation de la station par l'eau.

**2<sup>ème</sup> opération :** Système de filtration multicouche.

### IV.2.1. Pompe d'alimentation de système :

Deux pompes d'alimentation seront installées, une en service et l'autre de secours. Le poste de pompage de gavage a comme finalité de fournir à toute l'installation le débit nécessaire pour en eau brute d'un débit 140m<sup>3</sup>/h/.

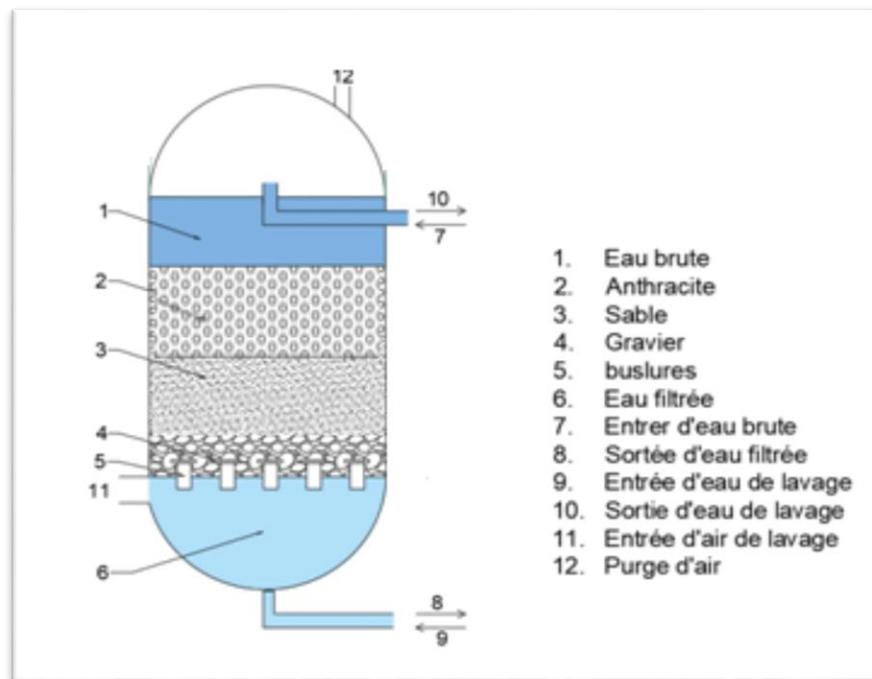
La hauteur manométrique totale (HMT) de la pompe est calculée pour le cas le plus défavorable à savoir le colmatage du filtre à sable, filtre à cartouche, pression résiduelle nécessaire en aspiration de la pompe haute pression en même temps. Les caractéristiques de la pompe seront comme suit:

**Tableau IV.2:** Les caractéristiques de la pompe d'alimentation

Paramètre	valeur	unité
Débit par pompe	140	m <sup>3</sup> /h
Nombre de pompe	1+1	-
Temps de fonctionnement	24	heure
Perte de charge colmatage filtre à sable	1	bar
Perte de charge colmatage filtre à cartouche	1	bar
Pression de refoulement	50	m

### IV.2.2. Système de filtration multicouche

Les membranes utilisées pour la désulfatation des eaux saumâtres exigent l'élimination de la totalité des particules solides existantes dans l'eau à traiter (eau brute), et pour cela la station sera équipée d'un système de filtration sur lit multicouches, la 1<sup>ère</sup> couche est en l'antracite, le 2<sup>ème</sup> est en sable et le 3<sup>ème</sup> couche est en gravier. Ce système servira principalement pour éliminer la totalité des matières en suspension de l'eau brute et d'empêcher certains des solides solubles naturels de se transformer en forme solide et de précipiter sur les membranes et ce provoque le colmatage des ces dernières.



**Figure IV.1:** Schéma de filtre à sable

Le tableau suivant donne les paramètres nécessaires pour le dimensionnement du filtre à sable :

**Tableau IV.3:** Les données de filtre à sable

Données	symbole	Valeur	Unité
Taux de conversion	$T_C$	0,75	-
Débit entré	$Q_e$	3400	$m^3/j$
Vitesse de filtration	$V_f$	7-12	m/h
Diamètre de filtre	$D_f$	3	m
Longueur virole	$L_v$	2	m
Nombre de filtres	$N_F$	3	-
Hauteur de l'antracite	$H_A$	0,45	m
Hauteur de sable	$H_S$	0,4	m
Hauteur de gravier	$H_G$	0,15	m
Nombre de crépine	$N_b$	50	unité/m <sup>2</sup>
Diamètre de grains de l'antracite	-	0,8-1,6	mm
Diamètre de grains de sable	-	0,4-0,8	mm
Diamètre de grains de gravier	-	2-3	mm

#### ✚ Les résultats de dimensionnement du filtre à sable

**Tableau IV.4:** Résultats de dimensionnement du filtre à sable

Paramètre	Symbole	Relation	Résultats	Unité
Débit sortie	$Q_s$	$Q_s = Q_e \cdot T_C$	2550	$m^3/j$
Débit entré par heure	$Q_e$	$Q_e = Q_e / 24$	141	$m^3/h$
Surface d'un filtre	$S_F$	$S_F = (3.14 \cdot D_f^2 / 4)$	7,06	$m^2$
Surface totale de filtration	$S_f$	$S_f = 3 \cdot S_F$	21,18	$m^2$
Volume de l'antracite pour un filtre	$V_A$	$V_A = H_A \cdot S_F$	3,18	m
Volume de sable pour un filtre	$V_S$	$V_S = H_S \cdot S_F$	2,82	$m^3$
Volume de gravier pour un filtre	$V_G$	$V_G = H_G \cdot S_F$	1,06	$m^3$
Volume de l'antracite total	$V_{AT}$	$V_{AT} = H_A \cdot S_f$	9,54	$m^3$
Volume de sable totale	$V_{ST}$	$V_{ST} = H_S \cdot S_f$	8,46	$m^3$
Volume de gravier total	$V_{GT}$	$V_{GT} = H_G \cdot S_f$	3,18	$m^3$
Nombre des crépines pour un filtre	$N_B$	$N_B = N_b \cdot S_F$	353	unité
Nombre des crépines totale	$N_{BT}$	$N_{BT} = N_b \cdot S_f$	1059	unité

### IV.2.2.1. Poste de lavage de filtres multicouches

Le système de lavage des filtres est composé principalement de :

- 02 pompes de lavage à l'eau, dont 01 de secours ;
- 02 surpresseurs de lavage à l'air, dont 01 de secours ;
- un réservoir de stockage d'eau filtrée nécessaire pour le lavage des filtres.

L'eau filtrée qui servira pour le lavage des filtres, sera stockée dans un nouveau réservoir de capacité 30 m<sup>3</sup>.

Les principales étapes de nettoyage des filtres sont :

- Mise en hors service du filtre ;
- Abaissement du niveau d'eau ;
- Détassage ou lavage à l'air ;
- Retro-lavage à l'eau ;
- Remplissage du filtre;
- Pressurisation du filtre ;
- Remise en service.

La fréquence du lavage de filtres ne dépasse pas une (01) fois par deux(02) jours.

Le tableau suivant donne les caractéristiques de poste de lavage:

**Tableau IV.5:** Caractéristiques du poste de lavage

<b>Surpresseurs de lavage à l'air</b>		
<b>Paramètres</b>	<b>valeurs</b>	<b>Unités</b>
Nombre de surpresseur à l'air	1+1	-
Vitesse de lavage à l'air	50	m/h
Débit minimal du surpresseur	353	Nm <sup>3</sup> /h
Pression	0.4	bar
Vitesse dans conduite d'air	17.2	m/s
<b>pompes de lavage à l'eau</b>		
<b>Paramètres</b>	<b>valeurs</b>	<b>Unités</b>
Nombre pompes à l'eau	1+1	-
Vitesse de lavage lors du Rinçage	30	m/h
Débit de lavage lors du Rinçage	210	m <sup>3</sup> /h
Pression	10	m
Vitesse dans conduite d'eau	1.5	m/s

### IV.3. traitement

Cette étape est composée de quatre opérations, à savoir :

- ✓ 1ère opération : Microfiltration.
- ✓ 2ème opération : pompe haut pression.
- ✓ 3ème opération : bloc de désulfatation.

#### IV.3.1. Microfiltration

Au cours de cette étape, l'eau sera filtrée à travers des filtres à cartouches ayant pour rôle de protéger la pompe à haute pression, et l'unité de séparation membranaire de tout passage de particules. L'installation proposée sera équipée d'un premier filtre à cartouches de porosité 5  $\mu\text{m}$  suivi d'un deuxième filtre de porosité 1  $\mu\text{m}$ .

L'eau conditionnée chimiquement alimente le premier filtre à cartouche (5  $\mu\text{m}$ ). L'eau sortant de ce dernier, alimente le second filtre à cartouche (1  $\mu\text{m}$ ) qui est situé juste à l'amont du pompage haute pression.

Le filtre sera conçu pour des pressions atteignant les 10bars avec des vitesses de filtration ne dépassant pas les 10 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ . Le control de colmatage du filtre à cartouche se fait par le prélèvement de la pression en amont et de la pression en aval du filtre.

Chaque filtre sera équipé de :

- 02 vannes d'isolement (amont et aval).
- 01 système vidange manuel.
- 01 purgeur d'air.
- 02 transmetteurs de pression situés à l'amont et à l'aval de chaque filtre à cartouches, permettant de contrôler le colmatage, ont été également prévus.

Le tableau suivant résume les paramètres nécessaires pour le dimensionnement du filtre à cartouche :

**Tableau IV.6:** Caractéristiques du filtre à cartouche (5 $\mu$ m)

Paramètre	Valeur	Unité
Type de cartouche	A membrane plissées	-
Taille de la porosité	5	micron
Surface de filtration par filtre SF	5.33	m <sup>2</sup>
Débit à traiter $Q_t$	140	m <sup>3</sup> /h
Vitesse de filtration optée	8	m/h
Diamètre cartouche	Pouce	6''
Longueur cartouche	Pouce	40''

### Résultats

**Tableau IV.7:** Résultat de dimensionnement du filtre à cartouche (5  $\mu$ m)

Paramètre	Relation	Valeur	Unité
débit par cartouche $Q_c$	$Q_c=S*V$	42.64	m <sup>3</sup> /h
Nombre de cartouches	$N= Q_t /Q_c$	4	-

D'après le tableau on peut conclure que le nombre minimal de cartouches est 04 cartouches mais on propose de installer 05 cartouches.

**Remarque:** Les mêmes caractéristiques et les mêmes résultats pour le filtre à cartouche (1 $\mu$ m).

### *IV.3.2.La pompe à haute pression*

La pompe à haute pression (HP) installée avant une unité de désulfatation joue un rôle crucial en assurant la pression nécessaire pour que l'eau traverse les membranes semi-perméables. Ceci permet de surmonter la pression osmotique et de forcer l'eau à travers les membranes, où les contaminants et sels sont retenus. En fournissant une pression adéquate, la pompe maximise l'efficacité du système en augmentant la production d'eau pure et en réduisant les rejets. Elle protège également les

membranes en maintenant une pression stable, évitant ainsi les dommages potentiels et prolongeant leur durée de vie. En outre, en optimisant le fonctionnement du système, la pompe contribue à réduire les coûts opérationnels liés à l'énergie, à la maintenance et au remplacement des membranes. Les caractéristiques de la pompe HP seront comme suit :

**Tableau IV.8:** Les caractéristiques de la pompe HP

Paramètre	valeur	unité
Débit par pompes	140	m <sup>3</sup> /h
Nombre de pompe	1+1	-
Temps de fonctionnement	24	heure
Pression de refoulement	15.5	bar

### IV.3.3. Bloc de désulfatation

Dans notre cas on utilise le module d'osmose inverse de type **Eco Pro-440i**. La fiche technique de ce dernier sera comme suit :

**Tableau IV.9:**Fiche technique de module de type **Eco Pro-440i**

Paramètre	Valeur
Marque	Eco Pro-440i
Longueur (cm)	101.6
Surface active de module enm <sup>2</sup>	41
Pression de service max	41
Max Température °C	45
Flux moyen du système l/h/m <sup>2</sup>	20.4
NaCl rejection pourcentage	99.5

#### IV.3.3.1. Nombre des modules :

**Tableau IV.10** : résultats de calcul de nombre des modules

Paramètre	Formule	Eco Pro-440i	Unités
Eau brute $Q_e$	-	140	$m^3/h$
Taux de conversion $T_c$	-	75	%
Débit de permeat $Q_p$	$Q_e.T_c$	105	$m^3/h$
Débit de perméat en l/h	$Q_p.1000$	105000	l/h
Flux moyen du système F	-	20.4	$l/m^2/h$
Surface totale $St$	$Q_p/F$	4200	$m^2$
Surface de module S	-	41	$m^2$
Nombre des modules	$St/S$	126	-

Pour le cas de notre projet on a 126 modules de désulfatation. Les modules seront montés dans 21 tubes de pression, de 6 modules par tube. On choisira un désigne d'osmose à deux étages. Le 1<sup>er</sup> étage contient 14 tube de pression, et le 2<sup>eme</sup> étage contient 7 tube de pression.

#### ***IV.3.4. La conception-simulation par le logiciel WAVE:***

##### ***IV.3.4.1. Logiciel WAVE :***

C'est un logiciel de conception a pour buts de réduire le temps de conception, augmenter la productivité et optimiser les performances des systèmes de traitement de l'eau. Ce nouveau logiciel permet de définir, d'adapter et de calculer des concepts de système par une manière simplifiée. WAVE évalue les performances des technologies d'ultrafiltration, d'osmose inverse et d'échange d'ions dans les systèmes de traitement de l'eau, individuellement ou dans diverses combinaisons de plusieurs technologies. Ce nouvel outil gratuit permet aux ingénieurs du monde entier de concevoir des solutions différenciées et optimisées plus rapidement et avec plus de précision. Par exemple, le logiciel calcule des algorithmes améliorés et cohérents et

des données harmonisées pour estimer les coûts d'élimination des produits chimiques, de l'électricité, de l'eau et des eaux usées afin d'aider les utilisateurs à trouver des solutions plus durables et plus rentables. De plus, le logiciel fournit des informations techniques détaillées telles que les volumes et les débits réels du bilan massique qui reflètent les changements de densité avec la température, la composition de l'eau et la compressibilité de l'eau. Ce logiciel optimisé est une version mise à jour de l'ancien logiciel de Dow. Il inclut le logiciel Rosa et combine plusieurs technologies avec une interface commune.



**Figure IV.2:** Logo du Logiciel WAVE

#### ***IV.3.4.2. Etapes de simulation***

✚ Etape des données préliminaires :

1. Sélectionner la technologie de dessalement (RO).
2. Spécifier le débit d'alimentation ou de production.
3. Sélectionner le type de l'eau (eau saumâtre).



**Figure IV.3:** La première étape de simulation dans logiciel WAVE

✚ Etape d'analyses des eaux :

1. Entrer le teneur solide.
2. Sélectionner la température de désigne et le PH.
3. Entrer les concentrations des cations et des anions.
4. Balancer les cations et les anions.

**Figure IV.4:** Etape d'analyse de l'eau de simulation par logiciel WAVE

✚ Etape de conception du système :

1. Entrer le taux de conversion et le débit d'alimentation.
2. Sélectionner le nombre de passes et de stages.
3. Sélectionner la température de désigne.
4. Sélectionner le nombre de tubes de pression dans le stage.
5. Sélectionner le nombre de membranes dans le tube de pressions.
6. Choisir le type de membrane

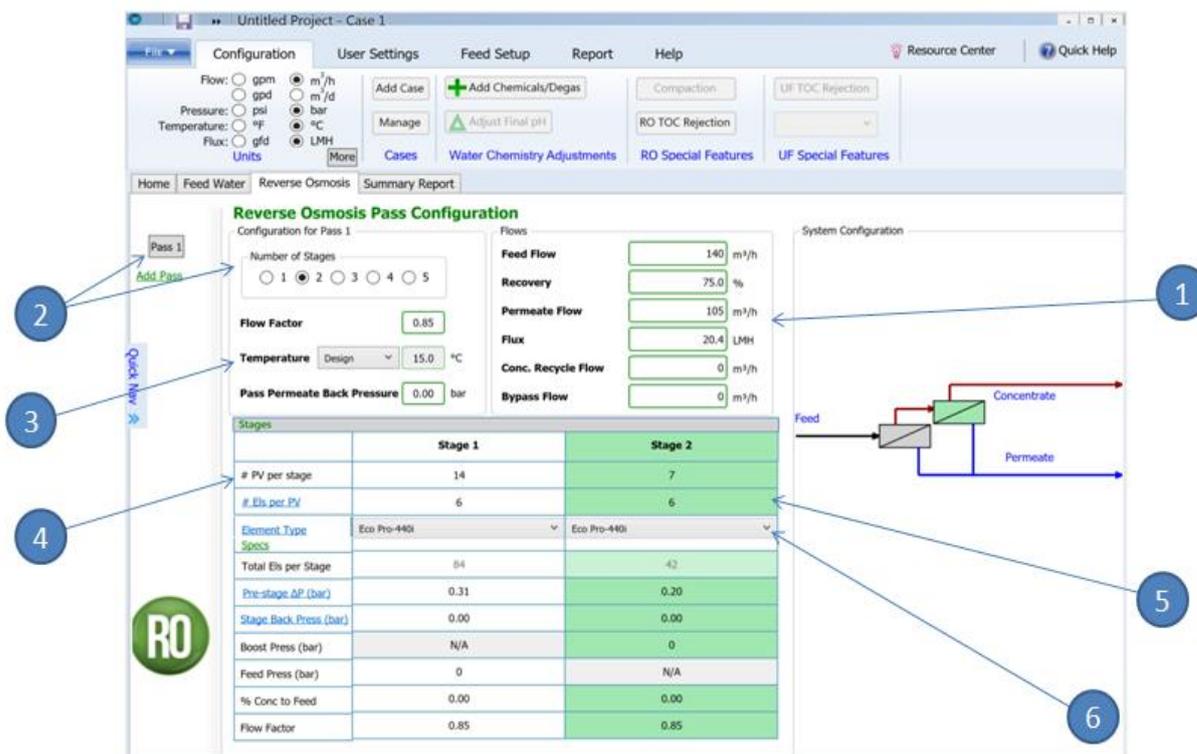


Figure IV.5: Etape de désigne par logiciel WAVE

IV.3.4.2. Résultats de simulation

D’après la simulation on conclure les résultats dans le tableau suivant.

Tableau IV.11: Résultats de simulation par logiciel WAVE

Paramètre	Valeur	Unité
Type de membrane	Eco Pro-440i	-
Nombre des étages	2	-
Nombre de tubes de pression 1 <sup>er</sup> étage	14	-
Nombre de tubes de pression 2 <sup>ème</sup> étage	7	-
Nombre de membranes par tube de pression	6	-
Nombre de membrane total	126	-
Débit de permeat	105	m <sup>3</sup> /h
TDS de permeat	30.72	mg/l
Concentration de sulfate de permeat	2.32	mg/l
Débit de concentrât	35	m <sup>3</sup> /h
La surface active totale	5151	m <sup>2</sup>
Pression d’alimentation	10.4	bars
Flux	20.4	l/m <sup>2</sup> /h
Energie spécifique	0.48	kWh/ m <sup>3</sup>

**Remarque:** les Résultats de simulation détaillés (voire l'annexe).

#### IV.4. Les produits injecter

Le tableau suivant indique Les produits injectés, leur site d'injection et leur objectifs lors du processus de desulfatation :

**Tableau IV.12:** Les produits injectés, leur site d'injection et leurs objectifs

Produits	Site d'injection	Objectifs
L'hypochlorite	à l'amont du pompe d'alimentation	désinfecter l'eau à traiter en cas de présence de développement bactériologique intense dans l'eau brute, l'hypochlorite ne sera injectée que dans les cas de nécessité
Le coagulant	à l'amont du pompe d'alimentation	déstabiliser la charge électrique des colloïdes pour favoriser leur agglomération et en conséquence, leur rétention au niveau des filtres multicouches
Le bisulfite de sodium	à l'aval des filtres multicouches	neutraliser les traces d'hypochlorite dans l'eau
L'antiscalant	à l'amont des filtres à cartouche	inhiber la précipitation de certains sels à la surface de séparation de la membranaire
Le biocide	à l'amont des filtres à cartouche	désinfecter l'installation sans détérioration de la membrane de desulfatation
La soude ou bien l'acide	à la sortie de l'eau traitée	correction du pH de l'eau traitée

## Conclusion

Dans ce chapitre, on a dimensionné une station désulfatation des eaux saumâtres avec une capacité de 2500 m<sup>3</sup>/j pour produire une eau de faible teneur en sulfate (inférieure à 20 ppm) à partir d'une eau brute fortement chargée en sulfate qui dépasse 1200 ppm.

La station dimensionnée sera principalement équipée d'une ligne de traitement qui composée de:

✚ Poste de prétraitement comportant :

- ❖ Deux pompes d'alimentation seront installées, une en service et l'autre de secours, pour alimenter la station en eau brute avec un débit de 140 m<sup>3</sup>/h et un HMT de 50m.
- ❖ Trois filtres à sable de la surface de filtration 7.06 m<sup>2</sup> par filtre et une vitesse de filtration de 7-12 m<sup>2</sup>/s.

Chaque filtre est composé de :

- Une couche de l'antracite avec une hauteur de 0.45 m.
- Une couche de sable avec une hauteur de 0.4 m.
- Une couche de gravier avec une hauteur de 0.15 m.

❖ Poste de lavage de filtres multicouches.

✚ Poste de traitement comportant :

- ❖ Deux filtre a cartouches, le premier filtre à cartouche (5 µm), le second filtre à cartouche (1 µm).
- ❖ Deux pompes hautes pression seront installées avant une unité de désulfatation, une en service et l'autre de secours. Elles jouent un rôle crucial en assurant la pression nécessaire pour que l'eau traverse les membranes semi-perméables avec un débit de 140 m<sup>3</sup>/h et un HMT de 15.5 bar.
- ❖ Une unité d'osmose inverse sera équipée de 126 modules de désulfatation de type Eco Pro-440i. Les modules seront montés dans 21 tubes de pression, de 6 modules par tube.
- ❖ L'unité d'osmose inverse comporte deux étages avec 14 tubes de pression dans le 1<sup>er</sup> étage et 7 tubes de pression dans le 2<sup>ème</sup> étage, sans oublier l'ensemble des produits chimiques injectés pendant les étapes de traitement.

## Conclusion générale

Dans cette étude, on a dimensionné une station désulfatation des eaux saumâtres issues du puits TFT 621 avec une capacité de 2500 m<sup>3</sup>/j pour produire une eau de faible teneur en sulfate (inférieure à 20 ppm) à partir d'une eau brute fortement chargée en sulfate qui dépasse 1200 ppm.

La station dimensionnée sera principalement équipée d'une ligne de traitement composée de:

- Un poste de prétraitement contient trois (03) filtres à sable avec une surface de filtration de 7.06 m<sup>2</sup> par filtre, et une vitesse de filtration de 7-12 m<sup>2</sup>/s.
- Une unité d'osmose inverse équipée de 126 modules de désulfatation de type Eco Pro-440i. Les modules seront montés dans 21 tubes de pression, avec 6 modules par tube. L'unité d'osmose inverse comporte deux étages avec 14 tubes de pression dans le 1er étage et 7 tubes de pression dans le 2ème étage. L'unité sera protégée par deux filtres à cartouches. Le premier filtre à cartouche sera de diamètre de (5 µm), le second filtre à cartouche sera de diamètre de (1 µm).

Cette station contient un système de pompage caractérisée comme suit :

- Deux pompes d'alimentation, une en service et l'autre de secours, pour alimenter la station en eau brute avec un débit de 140 m<sup>3</sup>/h et un HMT de 50m.
- Deux pompes de lavage des filtres à sable, une en service et l'autre de secours, avec un débit de 210 m<sup>3</sup>/h et un HMT de 10m.
- Deux pompes HP, une en service et l'autre de secours, avec un débit de 140 m<sup>3</sup>/h et un HMT de 15.5 bar.

Les produits chimiques injectés pendant les étapes de traitement sont : l'hypochlorite, le coagulant, le bisulfite de sodium, le bisulfite de sodium, l'antiscalant, le biocide, la soude ou bien l'acide.

Finalement, les résultats de simulation par logiciel WAVE montre une concentration prévue de Sulfate de 2.32 mg/l, donc une eau traitée de faible teneur en sulfate, c-à-d., inférieure à 20 ppm.

## **Références bibliographiques**

## Références

BAOUIA M, SOUALAH K & KADRI S.(2022). La filtration de l'eau d'injection des bacs de stockage de la région TFT : étude comparative. Université El Oued.

BENFIFI I, BENOZZA H. (2022). Contribution au traitement des sulfates de baryum par déminéralisation de l'eau d'injection (champ HMD). Université Ouargla.

BENGANA A, TATI S. (2019). Analyse et traitement des eaux avant réinjection dans les puits d'huile – Champ Hassi Messaoud . Université Ouargla.

DJAOUT C, ABADI R. (2021). Contribution au traitement des sulfates de baryum par déminéralisation de l'eau d'injection dans le champ Hassi Messaoud. Université Ouargla.

DOUROUNI A, DAGHMA A & GUEHEF A. (2022). Vérification du dimensionnement du ballon de séparation D104 B au niveau de l'UTGA. Université d'El-Oued.

[https://www.chemicalbook.com/Barium\\_sulfate\\_Chemical\\_Properties,\\_Uses,\\_and\\_Production](https://www.chemicalbook.com/Barium_sulfate_Chemical_Properties,_Uses,_and_Production).

LARBAOUI K. (2017). thèse de doctorat : Étude de l'efficacité des inhibiteurs de dépôts de sulfate de baryum par les méthodes électrochimiques et gravimétriques. Université Boumerdes.

MEDDAHI K. (2014). Contribution à l'étude de l'incompatibilité entre un inhibiteur de corrosion et un inhibiteur de dépôt .Université Boumerdes.

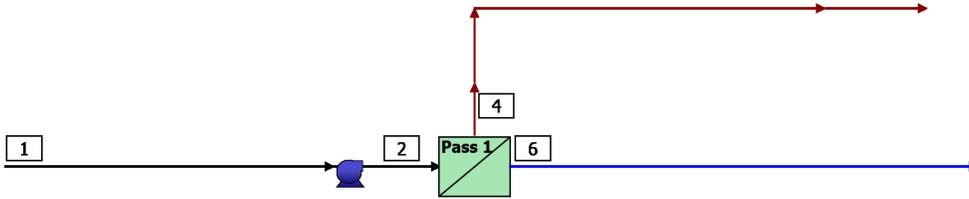
ZENDARI H & ALLOUT O.(2018). Étude comparative entre la méthode d'activation de puits par gas-lift et par pompe électrique immergée (ESP) dans la région TFT. Université Ouargla.

# **Annexes**



## RO Summary Report

### RO System Flow Diagram



#	Description	Flow (m <sup>3</sup> /h)	TDS (mg/L)	Pressure (bar)
1	Raw Feed to RO System	140.0	2,563	0.0
2	Net Feed to Pass 1	139.9	2,565	10.4
4	Total Concentrate from Pass 1	35.0	10,159	7.4
6	Net Product from RO System	105.0	30.72	0.0

### RO System Overview

Total # of Trains	1	Online =	1	Standby =	0	RO Recovery	75.0 %
System Flow Rate	(m <sup>3</sup> /h)	Net Feed =	140.0	Net Product =	105.0		

Pass	Pass 1
Stream Name	Stream 1
Water Type	Well Water (SDI < 3)
Number of Elements	126
Total Active Area (m <sup>2</sup> )	5151
Feed Flow per Pass (m <sup>3</sup> /h)	139.9
Feed TDS <sup>a</sup> (mg/L)	2,565
Feed Pressure (bar)	10.4
Flow Factor Per Stage	0.85, 0.85
Permeate Flow per Pass (m <sup>3</sup> /h)	105.0
Pass Average flux (LMH)	20.4
Permeate TDS <sup>a</sup> (mg/L)	30.72
Pass Recovery	75.1 %
Average NDP (bar)	6.1
Specific Energy (kWh/m <sup>3</sup> )	0.48
Temperature (°C)	15.0
pH	7.4
Chemical Dose	-
RO System Recovery	75.0 %
Net RO System Recovery	75.0%

#### Footnotes:

<sup>a</sup>Total Dissolved Solids includes ions, SiO<sub>2</sub> and B. It does not include NH<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub>


**RO Flow Table (Stage Level) - Pass 1**

Stage	Elements	#PV	#Els per PV	Feed				Concentrate			Permeate			
				Feed Flow	Recirc Flow	Feed Press	Boost Press	Conc Flow	Conc Press	Press Drop	Perm Flow	Avg Flux	Perm Press	Perm TDS
				(m <sup>3</sup> /h)	(m <sup>3</sup> /h)	(bar)	(bar)	(m <sup>3</sup> /h)	(bar)	(bar)	(m <sup>3</sup> /h)	(LMH)	(bar)	(mg/L)
1	Eco Pro-440i	14	6	139.9	0.00	10.1	0.0	57.4	8.8	1.3	82.6	24.1	0.0	19.20
2	Eco Pro-440i	7	6	57.4	0.0	8.6	0.0	35.0	7.4	1.2	22.4	13.0	0.0	73.26

**RO Solute Concentrations - Pass 1**

Concentrations (mg/L as ion)						
	Feed	Concentrate		Permeate		
		Stage1	Stage2	Stage1	Stage2	Total
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sup>+</sup>	60.21	145.6	236.2	0.97	3.75	1.56
Na <sup>+</sup>	398.4	964.6	1,568	5.35	20.58	8.60
Mg <sup>+2</sup>	79.87	194.8	319.1	0.09	0.34	0.14
Ca <sup>+2</sup>	303.4	739.9	1,212	0.44	1.66	0.70
Sr <sup>+2</sup>	4.64	11.31	18.52	0.01	0.03	0.01
Ba <sup>+2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	0.43	2.68	7.04	0.00	0.00	0.00
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	145.8	346.6	553.2	4.18	15.12	6.50
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F <sup>-</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl <sup>-</sup>	755.9	1,835	2,992	6.71	26.26	10.88
Br <sup>-1</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	814.8	1,986	3,253	1.46	5.51	2.32
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO <sub>2</sub>	7.59	9.09	11.09	7.34	8.97	7.69
TDS <sup>a</sup>	2,563	6,227	10,159	19.20	73.26	30.72
Cond. μS/cm	4,333	9,639	14,824	35	132	56
pH	7.4	7.6	7.6	6.0	6.5	6.2

Footnotes:

 \*Total Dissolved Solids includes ions, SiO<sub>2</sub> and B. It does not include NH<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub>
**RO Design Warnings**

None

**Special Comments**

None

**RO Flow Table (Element Level) - Pass 1**



Stage	Element	Element Name	Recovery (%)	Feed Flow (m <sup>3</sup> /h)	Feed Press (bar)	Feed TDS (mg/L)	Conc Flow (m <sup>3</sup> /h)	Perm Flow (m <sup>3</sup> /h)	Perm Flux (LMH)	Perm TDS (mg/L)
1	1	Eco Pro-440i	11.6	10.0	10.1	2,565	8.84	1.16	28.4	10.83
1	2	Eco Pro-440i	12.4	8.84	9.8	2,900	7.75	1.09	26.7	13.13
1	3	Eco Pro-440i	13.2	7.75	9.5	3,306	6.72	1.02	25.0	16.16
1	4	Eco Pro-440i	14.2	6.72	9.3	3,806	5.77	0.95	23.3	20.29
1	5	Eco Pro-440i	15.2	5.77	9.1	4,430	4.89	0.88	21.5	26.13
1	6	Eco Pro-440i	16.3	4.89	8.9	5,220	4.10	0.80	19.5	34.75
2	1	Eco Pro-440i	8.6	8.20	8.6	6,227	7.49	0.71	17.3	43.48
2	2	Eco Pro-440i	8.5	7.49	8.3	6,810	6.85	0.63	15.5	53.41
2	3	Eco Pro-440i	8.2	6.85	8.1	7,434	6.29	0.56	13.8	66.04
2	4	Eco Pro-440i	7.9	6.29	7.9	8,092	5.80	0.49	12.1	82.14
2	5	Eco Pro-440i	7.4	5.80	7.7	8,775	5.37	0.43	10.5	102.7
2	6	Eco Pro-440i	6.9	5.37	7.6	9,469	5.00	0.37	9.0	129.1


**Footnotes:**

\*Total Dissolved Solids includes ions, SiO<sub>2</sub> and B. It does not include NH<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub>

**RO Solubility Warnings**

Warning	Pass No
Stiff & Davis Stability Index > 0	1
CaSO <sub>4</sub> (% saturation) > 100	1
SrSO <sub>4</sub> (% saturation) > 100	1
Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.	1

**RO Chemical Adjustments**

	Pass 1 Feed	RO 1 <sup>st</sup> Pass Conc
pH	7.4	7.6
Langelier Saturation Index	0.13	1.56
Stiff & Davis Stability Index	0.12	1.03
TDS <sup>a</sup> (mg/l)	2,563	10,159
Ionic Strength (molal)	0.06	0.24
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	145.8	553.2
CO <sub>2</sub> (mg/l)	7.59	11.08
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> (mg/L)	0.43	7.04
CaSO <sub>4</sub> (% saturation)	30.6	185.9
BaSO <sub>4</sub> (% saturation)	0.00	0.00
SrSO <sub>4</sub> (% saturation)	23.2	104.5
CaF <sub>2</sub> (% saturation)	0.00	0.00
SiO <sub>2</sub> (% saturation)	0.00	0.00
Mg(OH) <sub>2</sub> (% saturation)	0.00	0.01

**Footnotes:**

\*Total Dissolved Solids includes ions, SiO<sub>2</sub> and B. It does not include NH<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub>

*Information provided is offered in good faith, but without guarantees. Users of such information assume all risk and liability and expressly release DuPont de Nemours Inc. and its subsidiaries, officers and agents from any and all liability. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users of information set forth herein or generated during use of WAVE are responsible for determining suitability of the information. Neither DuPont nor its subsidiaries assume any liability for results obtained or damages incurred from the use of information provided and TO THE FULLEST EXTENT PERMITTED BY LAW, EXPRESSLY DISCLAIM ALL WARRANTIES, EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Users will not export or re-export any information or technology received from DuPont or its subsidiaries, or the direct products or designs based upon such information or technology in violation of the export-control or customs laws or regulations of any country, including those of the United States of America. DuPont™, DuPont Oval Logo, and all products denoted with ® or ™ are trademarks or registered trademarks of DuPont or its affiliates. Copyright © 2020 DuPont. DOWEX™, DOWEX MONOSPHERE™, DOWEX MARATHON™, DOWEX UPCORE™ are a trademark of The Dow Chemical Company used under license by DuPont.*