

N° Série :/2022

Université Kasdi Merbah Ouargla



Faculté des Hydrocarbures, Energies Renouvelables et des Sciences de la Terre et de
l'Univers

Département de Production des Hydrocarbures

MÉMOIRE

Pour obtenir le Diplôme de Master

Option : Production professionnel

Présenté Par :

**SERIDI Aymen, ASSASSI Mohamed Lokmane,
OULHASSI Belkacem Wayl**

-THEME-

**ETUDE DE DEPOSITION DES SULFATES DE BARYUM ET LEUR PREVENTION
PAR DIFFERENTES TECHNIQUES AU NIVEAU DE CHAMPS DE TFT, IN AMENAS.**

Soutenu le :08/06/2022devant la commission d'examen

Jury :

Président :	Mr. GHARIB Toufik	MAA	Univ. Ouargla
Rapporteur :	M ^{elle} . BOUFADES Djamila	MCB	Univ. Ouargla
Examineur :	Mr. ALI ZERROUKI Ahmed	Professeur	Univ. Ouargla
Co-encadreur :	Mr. ADJOU Zakaria	Doctorant	Univ.Ouargla

Année Universitaire 2021/2022

“ Vis comme si tu devais mourir demain et Apprends comme si tu devais vivre pour toujours ”

Mahatma Gandhi

Remerciements

En premier lieu nous tenons à remercier notre dieu qui nous a donné la puissance et terminer ce travail.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions très chaleureusement et spécialement notre Encadreur, M^{elle} BOUFADES Djamila qui accepté de suivre ce travail, pour sa disponibilité, sa guidance, son écoute et ses conseils précieux grâce à lesquelles nous avons pu préserver et rester toujours motivés. Aussi Nous remercions également notre Co-encadreur Mr ADJOU Zakaria pour sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribués à alimenter notre réflexion.

Nous présentons nos remerciements à Monsieur GHARIB Toufik pour accepter de juger et présider le jury de ce mémoire, Nous exprimons notre gratitude à Monsieur Ali Zerrouki Ahmed d'avoir accepté d'examiner ce travail, Leur présence est garante pour nous d'un examen rigoureux et d'une critique juste de notre travail.

Nous remercions également Monsieur LAFRID le directeur de Département de production TFT. Pour nous accueillir, et pour nous mettre dans les meilleures conditions pour réaliser ce travail.

Nous remercions sincèrement Monsieur Mohamed LACHLAG, Brahim, OULDABDALLAH Aissa, SAKER, et tous l'équipe EP et EXP au niveau de DP TFT. Pour leurs bienveillances et leurs efforts ce qui nous aidé énormément à accomplir ce travail

Et avec un plaisir particulier que nous remercions l'équipe de centre de recherche et développement-(CRD) Boumerdes et surtout Monsieur BELOUNIS Abd el Rahim pour nous mettre sur la bonne voie pour effectuer ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à tous les enseignants qui nous ont enseignés tout le long de notre parcours universitaire et à toute l'équipe Pédagogique de la faculté des hydrocarbures, des énergies renouvelables et de la science de la terre et de l'univers et en particulier celle du département de production.

❖ *Dédicace :*

On dédie ce modeste travail aux

A nos pères, et nos mères pour leurs immenses

Sacrifices, encouragements constants et leurs

Amour inconditionnel. Que Dieu les garde à jamais.

A nos frères et A notre famille

. Que Dieu Miséricordieux les protègent.

A nos chers amis. Que dieu bénisse leurs jours.

Aymen, Mohamed Lokmane, Belkacem wayl

Résumé

Ce travail porte sur l'étude des nouvelles technologies de traitement de l'eau sulfatée qui sont basées sur le principe de filtration sur les membranes polymériques telles que la nanofiltration et l'osmose inverse, ces techniques ont été proposées au niveau de champs de TFT grâce à une forte concentration des ions de sulfates dans l'eau d'injection. L'échantillonnage des eaux de LIAS et celle de l'ORDOVICIEN était nécessaire afin de déterminer la composition élémentaire de ces eaux. Le traitement par la filtration membranaire a montré une efficacité très élevée pour une réduction significative des ions de SO_4^{2-} dans l'eau de LIAS, et enfin l'inhibition de formation des dépôts de sulfates et l'augmentation de la productivité de puit. L'obtention d'une filtration idéale nécessite la maîtrise des paramètres de procédé en utilisant de design de simulation WAVE. La température a été varié de 25°C à 45 °C et son influence sur le taux de récupération de perméat, ainsi sur l'élimination des sulfates a été également étudié. Ce paramètre permet notamment de faire varier la taille des pores des membranes. Les résultats obtenus montrent qu'un taux d'élimination des sulfates élevé (99,9%) pour la technique d'osmose inverse tandis que la nanofiltration reste sélective avec un TDS élevé et une élimination des sulfates jusqu'à presque 98%.

Mots clés : traitement, sulfates, eau d'injection, membranes nanofiltration, osmose inverse, TDS.

Abstract

This work concerns the study of new technologies of treatment of sulphated water which are based on the principle of filtration on polymeric membranes such as nanofiltration and reverse osmosis, these techniques were proposed at the level of TFT fields because of the high concentration of sulphate ions in the injection water. Sampling of LIAS and ORDOVICIEN waters was necessary to determine the elemental composition of these waters. The treatment by membrane filtration showed a very high efficiency for a significant reduction of SO_4^{2-} ions in the LIAS water, and finally the inhibition of the formation of sulfate deposits and the increase of the well productivity. Achieving ideal filtration requires the control of process parameters using WAVE simulation design. The temperature was varied from 25°C to 45°C and its influence on the permeate recovery rate and sulfate removal was also studied. This parameter allows to vary the pore size of the membranes. The results obtained show a high sulfate removal rate (99.9%) for the reverse osmosis technique while nanofiltration remains selective with a high TDS and a sulfate removal up to almost 98%.

Keywords: treatment, sulfates, water for injection, nanofiltration membranes, reverse osmosis, TDS

ملخص

يركز هذا العمل على دراسة التقنيات الجديدة لمعالجة المياه الكبريتية والتي تعتمد على مبدأ الترشيح على الأغشية البوليمرية مثل الترشيح النانوي والتناضح العكسي ، وقد تم اقتراح هذه التقنيات على مستوى حقل TFT . بسبب التركيز العالي من شوارد الكبريتات في ماء الحقن. كان أخذ عينات من مياه LIAS و ORDOVICIEN ضروريًا لتحديد التكوين الأولي لهذه المياه. أظهرت المعالجة بالترشيح الغشائي كفاءة عالية جدًا لتقليل شوارد SO_4^{2-} في مياه LIAS ، وأخيرًا تثبيط تكوين رواسب الكبريتات وزيادة إنتاجية البئر. يتطلب الحصول على ترشيح مثالي إتقان معاملات العملية باستخدام تصميم محاكاة WAVE. تفاوتت درجة الحرارة من 25 درجة مئوية إلى 45 درجة مئوية كما تمت دراسة تأثيرها على معدل استعادة النفاذية ، وكذلك على التخلص من الكبريتات. هذا العامل يجعل من الممكن على وجه الخصوص تغيير حجم مسام الأغشية. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن معدل إزالة الكبريتات مرتفع (9.99%) لتقنية التناضح العكسي بينما يظل الترشيح النانوي انتقائيًا مع نسبة عالية من المواد الصلبة الذائبة وإزالة الكبريتات بنسبة تصل إلى 98% تقريبًا.

الكلمات المفتاحية : المعالجة، الكبريتات، ماء الحقن، الأغشية البوليمرية، الترشيح النانوي، التناضح العكسي.

Liste des figures

Figure I.1: dépôt de Sulfates de baryum ($BaSO_4$).....	4
Figure I.2: Baryum Sulfates minéral	5
Figure I.3 : Différent facies des sulfates de baryum	6
Figure I.4 : Les emplacements possibles de déposition de sulfate de baryum	14
Figure I.5 : Outil de milling	15
Figure I.6 : Broche	15
Figure I.7: Sterling Beads	16
Figure I.8 : L'inhibiteur de dépôt AD32.....	18
Figure I.9 : Représentation schématique de la séparation par membrane	19
Figure I.10 : Propriétés des membranes de chaque processus	20
Figure I.11 : Schéma du principe de l'osmose et l'osmose inverse	21
Figure I.12: Membrane spiralée (membrane utilisée a NF et RO)	22
Figure II.1 : Situation géographique de Tin Fouyé Tabankort	24
Figure II.2 : Coupe stratigraphique du champ de TFT	28
Figure III.1 : schéma simplifié du principe de séparation sélective au niveau des centres de séparations	31
Figure III.2 : la séparation sélective au niveau de CS1	33
Figure III.3 : l'unité pilote de traitement d'eau au niveau de site TAM a TFT	34
Figure III.4 : schéma technique simplifié des composants de l'unité de traitement	34

Liste des tableaux

Tableau I.1 : La solubilité de BaSO ₄	7
Tableau I.2 : la quantité de BaSO ₄ exprimée en mg dans 100 cm ³ d'eau	7
Tableau II.1 : Les dates de découverte de champs de Tin Fouye Tabankort.	26

Abréviations

TFT	Tin foyé tabankourt
AD32	Anti-depots
NF	Nano filtration
RO	Osmose inverse (reverse osmose)
Ppm	Partie par million
SR	Rapport de saturation du tartre
Pi	Le produit ionique
IS	Indice de saturation
MIC	Concentration minimale de l'inhibition
EDTA	Éthylène diamine tetraacetic acide
CS	Centre de séparation
MAP	Manque à produire
CPC TFT	Centre principale collecte tin foyé tabankourt
DTD	La division technologie et développement
UTGA	Unité de traitement gaz associé
cEOR	Chemical enhanced oil recovery
SWCTT	Single well chemical tracer test
LSWF	Low salinity water flooding
CRTE	Centre de recherche des technologies des semi-conducteurs

TDS	Total dissolved solids
ASP	Alkaline – surfactants – polymer
SP	Surfactants – polymer
UF	Ultrafiltration
IER	Ions exchange resin
RR	Recovery ration

NOMENCLATURE

K_{ps}	Produit solubilité	$\text{mol}^2 * \text{l}^{-2}$
C	Concentration	ppm
S	Solubilité	g/l au mol/l
T	Température	°C
V	Volume	L
Q	Débit	m^3/jour
P	Pression	bar
RR	Recovery rate	%
E	Energy consumption	$\text{kw}/\text{h}/\text{m}^3$
MAP	Manque à produire	Dinar algérien ou dollars
CAPEX		Dollars ou DA
OPEX		Dollars/an ou DA/an

Sommaire

Remerciement	ii
Dédicace	iii
Résumé	iv
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	viii
Liste des abréviations	ix
Introduction générale	1

Chapitre I

Introduction.....	3
I.1. Les dépôts des Sulfates de Baryum ($BaSO_4$) :.....	3
I.1.1. L'Origine des sulfates de baryum :.....	4
I.1.2. Caractéristiques des sulfates de baryum :.....	4
I.1.2.1. Propriétés physico-chimiques des sulfates de baryum :.....	4
I.1.2.2. Structure cristalline des sulfates de baryum :.....	5
I.1.2.3. Solubilité du $BaSO_4$	6
I.1.2.4. Taux de Saturation.....	8
I.1.3. Dépôt des sulfates de baryum	8
I.1.3.1. Mécanisme de formation des dépôts	8
I.1.3.2. Les principales causes de formation des dépôts :.....	10
I.1.3.3. Effet des paramètres sur la formation de $BaSO_4$	11
I.1.4. Localisation des dépôts de sulfate baryum	13
I.2. Traitement des sulfates de baryum :.....	14
I.2.1. Traitement curatif	14
I.2.2 Traitement préventif	16
Conclusion	22

Chapitre II

Introduction :.....	24
II.1. Situation et historique de la région de TFT :.....	24

II.2. Situation géologique :26
II.3. Organigramme de la région de TFT :29

Chapitre III

III.1. Traitement de BaSO₄ au niveau de TFT :30
III.1.1. Traitement par des inhibiteurs chimiques30
III.1.2. La séparation sélective :31
Conclusion générale35
Références bibliographiquesa

I

Introduction générale

Introduction

Depuis 1980 et dans le champ de TFT, l'injection de l'eau a été mise en œuvre dans le but d'améliorer la récupération d'huile par le maintien de pression dans le réservoir, cette opération pose le problème des dépôts de sulfates de baryum en contact avec l'eau de gisement [1].

Ces dépôts se forment en concrétions très dures, qui au niveau des puits, réduisent le flux d'huile aux abords et bouchent les perforations (endommagement). Et au niveau des installations, bloquent les pipes, les collecteurs (manifolds), les séparateurs et les pompes d'expéditions, et conduisent à la fermeture du centre de séparation et du puits [2].

Alors le problème de dépôt de sulfate de baryum résultant de l'incompatibilité l'eau d'injection et l'eau du réservoir [3] et qui conduit à des problèmes de bouchage dans les installations et par la suite des Manques à produire (MAP) très considérable avec des frais d'intervention très élevés.

Au niveau de champs de TFT, le traitement de ces dépôts est réalisé par la séparation sélective de l'huile ou par l'utilisation des inhibiteurs chimiques, mais ces techniques restent inefficaces pour réduire la formation des dépôts grâce aux fortes concentrations des ions sulfatés dans l'eau d'injection (LIAS) [4].

L'objectif de ce travail est d'étudier les méthodes de traitement des dépôts de sulfates de baryum appliqués sur le champ TFT et par la suite de proposer une nouvelle technologie afin de désulfater l'eau d'injection qui assure la réduction de la formation des dépôts de BaSO₄. Ce travail est une partie de projet SWCTT, LCWF de centre de recherche et de développement (CRD) de Sonatarch -Boumerdes, ce projet a pour but de traiter l'eau d'injection de TFT par deux nouvelles techniques membranaires à savoir la nanofiltration et l'osmose inverse.

Ce mémoire comporte quatre chapitres. Le premier chapitre est consacré à une étude bibliographique sur la déposition des sulfates de baryum, les causes de formation, ainsi les différentes méthodes de traitement utilisées pour prévenir ces dépôts.

Le deuxième chapitre présente la situation géographique de champs de TFT. Le troisième chapitre est consacré tout d'abord aux analyses physico chimiques des eaux de LIAS et ORDOVICIEN de champs de TFT dans le centre CRD. On présente ensuite le traitement de

l'eau sulfatée (LIAS) par la filtration membranaire (NF, RO) et leur efficacité sur la précipitation des sulfates de baryum.

Dans le dernier chapitre nous utilisons le logiciel WAVE pour faire la simulation des techniques de nanofiltration et d'osmose inverse afin de les comparer de point de vue technique et économique.

Ce manuscrit se termine par une conclusion générale qui récapitule les résultats de ce travail accompagnés de quelques perspectives pour les études futures.

Chapitre

I

Etude Bibliographique
Déposition et traitement de
sulfates de baryum

Introduction

Cette introduction bibliographique est très générale s'appuyant sur des illustrations issues de la littérature sur les dépôts de sulfates de baryum, la première partie de ce chapitre présente des généralités sur les dépôts de sulfates de baryum, leur origine, ainsi que leurs caractéristiques physico-chimiques et la solubilité de BaSO_4 , la seconde partie concerne la déposition des sulfates de baryum, l'effet des conditions de réservoir sur leur formation, à la fin nous allons présenter les techniques de traitement utilisées que ce soit curatives ou préventives.

I.1. Les dépôts des Sulfates de Baryum (BaSO_4) :

Ce sont des dépôts les plus incrustants et les plus dangereux parmi les autres dépôts existants dans les champs pétroliers, ces dépôts forment des bouchons imperméables, colmatant, inattaquables à l'acide et aux basses bases.

En générale, les problèmes posés par les dépôts de sulfates de baryum BaSO_4 à cause de l'incompatibilité des deux eaux, l'une de ces eaux (eau de gisement) contiennent des sels de baryum Ba^{2+} en solution. Et l'autre c'est une eau riche en sulfates SO_4^{2-} souvent appelés des eaux sulfatées eau d'injection.

Ce contact peut se produire lors d'un lavage continu pour éliminer les dépôts de sel, ou lors de l'injection d'eau dans le gisement pour maintenir la pression de réservoir. L'eau injectée atteint finalement le puits de production, le contact avec l'eau de formation provoque la précipitation de sulfates de baryum, ces cristaux généralement se collent aux parois de tubing des puits formant un dépôt insoluble et très dense (très compact)[5].

La solubilité de sulfates de baryum dans l'eau douce est de 2 mg/l, c'est-à-dire dix fois inférieure à celle du carbonate de calcium, cent fois inférieure à celle du sulfate de strontium et mille fois inférieure à celle du sulfate de calcium[6].

Le BaSO_4 est insoluble dans l'eau et dans l'éthanol, presque insoluble dans les acides et les solvants organiques. Il est peut-être dissout dans l'acide sulfurique concentré à chaud, la température de décomposition de sulfate de baryum est de 1580-1600°C [5].

Il se forme suivant les réactions :

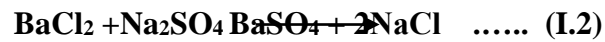


Figure I.1: dépôt de Sulfates de baryum (BaSO_4).

I.1.1 L'Origine des sulfates de baryum :

Les dépôts des sulfates de baryum se forment après l'interaction de l'eau de réservoir (l'eau de gisement qui contient du baryum Ba^{+2}) et de l'eau injectée (l'eau d'injection riche en sulfate SO_4^{-2}), cette formation a des effets nuisibles sur les équipements utilisés dans le processus de dessalage par exemple : le colmatage des puits et la corrosion des installations. Ces deux phénomènes affectent fortement le procédé de récupération du brut [7].

I.1.2 Caractéristiques des sulfates de baryum :

I.1.2.1 Propriétés physico-chimiques des sulfates de baryum :

Le sulfates de baryum BaSO_4 . Il s'agit de cristaux orthorhombiques incolores ou blancs ayant une masse moléculaire relative de **233,4** une densité relative de **4,5 (15 °C)**, un point de fusion de **1580 °C** et un indice de réfraction de **1,637**. Il est presque insoluble dans l'eau avec une solubilité de **0,00022** à **18 °C** et de **0,0041** à **100 °C**[8].

Il est 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 est insoluble dans d'autres types d'acides ou de bases. Dans la nature, il existe sous la forme minérale de baryte[9].



Figure I.2: Baryum Sulfates minéral[10].

I.1.2.2. Structure cristalline des sulfates de baryum :

Les cristaux des sulfates de baryum présentent des faciès différents suivant les conditions thermodynamique et cinétiques du milieu :

- ✓ Influence de la force ionique
- ✓ Influence de la température.

Le sulfates de baryum cristallise dans le système orthorhombique. Ses constantes cristallographiques sont d'après PAULING et EMMET :

$$a = 8,846 \text{ \AA} \quad b = 5,430 \text{ \AA} \quad c = 7,10 \text{ \AA}$$

Quant à RINNE, HENTSCHELL et SCHELBOLD, ils trouvent

$$a=8,88 \text{ \AA} \quad b = 5,45 \text{ \AA} \quad C = 7 \cdot 15 \text{ \AA}$$

L'observation au microscope électronique à balayage a rapidement fait apparaître les différents faciès des sulfates de baryum suivant l'environnement dans lequel il se forme.

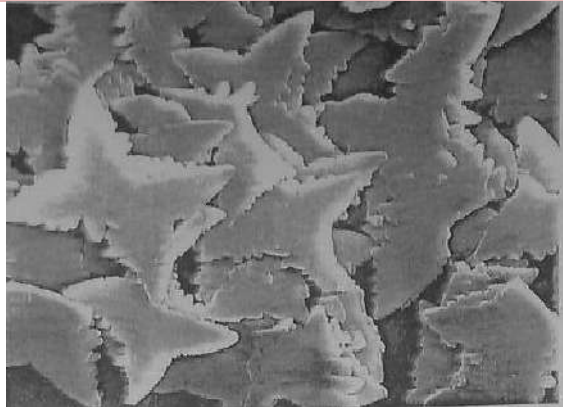


Photo 1. BaSO₄ x 2000
20C°/1bar/J=0.04mole/L



Photo 2. BaSO₄ x 2000
120C°/100bar/J=4.3mole/L

Figure I.3 : Différent faciès des sulfates de baryum[11].

Les études cristallographiques des différents sels naturels ou synthétiques obtenus à partir de mélangés d'eaux complexes a permis de mettre en évidence que les sulfates d'alcalino-terreux apparaissent sous la forme de solutions solides de compositions variables dans le système de cristallisation orthorhombique.[11].

La morphologie des cristaux des sulfates de baryum varie avec la variation de température et de la force ionique .

I.1.2.3 Solubilité du BaSO₄

Le BaSO₄ est le sel qui possède la plus faible solubilité. A 25 °C, Rosseinsky 1958 mesure par conductimétrie et il a trouvé une solubilité égale à $1,04 \times 10^{-5}$ mol/l soit 2,5 mg/l.

Sohnel et al ont trouvé que Le produit de solubilité du BaSO₄ à 25°C est égale à $1,10 \cdot 10^{-10}$ [12].

La solubilité de BaSO₄ dans l'acide sulfurique concentré (densité 1,853) est de 15.89 g dans 100g de solution saturée à 25 °C. La solubilité chute rapidement quand la solution d'acide sulfurique est diluée (0,05 g par 100 g de solution diluée contenant 83 % d'acide concentré)[11].

La solubilité de sulfate de baryum exprimée en mg de sel pour 100 cm³d'eau est la suivante :

Tableau I.1 :La solubilité de BaSO₄ [12].

T(C°)	0.77	3.35	18	26.75	34
BaSO ₄ (mg /100ml)	0.171	0.207	0.230	0.266	0.291

Les valeurs de solubilité ne varient pas beaucoup d'une valeur à l'autre.

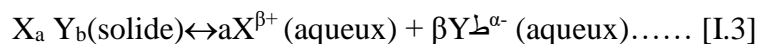
Tableau I.2 :la quantité de BaSO₄ exprimée en mg dans 100 cm³ d'eau[12].

T(C°)	0	10	18	30	50
BaSO ₄ (mg/100ml)	0.115	0.20	0.226	0.285	0.336

- Le produit de solubilité

Le produit de solubilité est la constante d'équilibre correspondant à la dissolution d'un solide dans un solvant

Soit par exemple la dissolution du solide ionique de formule X_a Y_b; la dissolution est décrite par la réaction suivante[12]:



Le produit de solubilité est :

$$K_s = [X^{\beta+}]^a \cdot [Y^{\alpha-}]^{\beta} \dots\dots [I.4]$$

- Le produit ionique

Le produit ionique (Pi) est le produit de concentrations d'espèces ioniques dans une solution saturée ou non saturée. Lorsque seules les solutions saturées sont prises en compte, le produit ionique est appelé produit de solubilité. Le terme produit ionique est applicable à tous les types de solutions[13].

- **Conditions de précipitation**
- Si $P_i < K_{ps} \Rightarrow$ pas de précipitation.
- Si $P_i > K_{ps} \Rightarrow$ existante de précipitation

- Si $P_i = K_{ps} \Rightarrow$ limite de précipitation (apparition du précipité)

Par exemple Le produit de solubilité du sulfate de baryum est de :

$$K_{ps} = [Ba^{++}] * [SO_4^{--}] = 1.10^{-10}$$

I.1.2.4. Taux de Saturation

On peut prédire la tendance de formation de tartre en calculant le rapport de saturation de tartre (SR) lorsqu'un sel peu soluble comme le sulfate de baryum ($BaSO_4$) est en solution, dans les ions Ba^{+2} et SO_4^{-2} se dissolvent dans la solution de saumure. Le SR est calculé comme suit : [14]

$$SR = \frac{(Ba^{+2})(SO_4^{-2})}{K_{ps}(T,P)} \dots\dots\dots [I.5]$$

On a (Ba^{+2}) et (SO_4^{-2}) désignent les activités aqueuses du baryum et du sulfates, respectivement, en unités molaires et le $K_{ps}(T, P)$ design le produit de solubilité de sulfates de baryum en fonction de la température et la pression, si le SR est calculé est supérieur à 1, la solution est sursaturée ce qui peut provoquer une précipitation, de suite l'indice de saturation (SI) peut être calculé comme suit : [14]

$$SI = \log_{10}(SR) = \log_{10} \frac{(Ba^{+2})(SO_4^{-2})}{K_{ps}(T,P)} \dots\dots\dots [I.6]$$

- Si le (SI) calculé est nulle, la solution est en équilibre, et l'eau ne peut pas contenir plus du minéral en solution pour une température et une pression donnée
- Si ($SI < 0$) la solution est sous-saturée et l'eau a une capacité d'avoir une dissolution de plus du minéral mais la précipitation n'est pas possible.
- Si ($SI > 0$) la solution est sursaturée donc le minéral peut se précipiter que la concentration en solution atteigne l'équilibre [14]

I.1.3 Déposition des sulfates de baryum

I.1.3.1 Mécanisme de formation des dépôts

Le dépôt peut se produire à cause d'une sursaturation d'eau en sels provoqués par des variations des conditions physiques tels que la température et la pression dans la quelle l'eau existe.

La déposition de tartre a lieu dans les pompes immergées (pompe au fond de puit), les tubings, les dispositifs de chauffage, les équipements de traitements [15].

Dans le cas d'une sursaturation est très importantes la précipitation se produit et elle est accélérée par la présence des points spécifiques qui permettent l'initialisation de la première étape de formation des dépôts, la nucléation c'est la formation de premier germe solide dans la solution suivi par l'étape de germination et enfin l'étape de croissance à cause des conditions thermodynamiques qui favorisent la précipitation [16].

✓ Nucléation

La nucléation est un processus complexe qui correspond à la phase initiale de formation du cristal plus précisément une interaction entre des ions puis entre les molécules ce qui forme un amas qui construit un noyau stable autrement dit le centre de cristallisation. La nucléation peut être spontanée ou provoquée par des conditions externes [17].

✓ Période de germination

La germination est le temps nécessaire pour rassembler des ions (tels que Ba^{+2} et SO_4^{-2}) ou des molécules dans un espace dit sphérique caractérisé par un rayon. Dans les solutions sursaturées par rapport à une certaine phase, celle-ci peut précipiter plus ou moins rapidement, selon les conditions du milieu de croissance :

- Les Valeurs de la sursaturation et de la concentration,
- La nature et la concentration des impuretés, etc.

Il existe deux types de germination :

- Germination Homogène (spontané) dominant à la sursaturation élevée

- Germination Hétérogénéité (induite) par les particules étrangères ou des impuretés dissoutes dans le système[18].

✓ **Période de croissance cristalline :**

Après le processus de nucléation l'étape suivante nécessite la croissance des particules pour obtenir des particules plus grandes. Ce processus est connu sous le nom de croissance cristalline et il est décrit par trois théories : la théorie de la couche d'adsorption et la théorie de la dislocation de la vis. La théorie des dislocations à vis et l'énergie de surface [19].

Lorsque les grains de cristal apparaissent, deux facteurs interviennent :

a. La fréquence avec laquelle de nouveaux ions atteignent la surface des cristaux déjà formés, et cette fréquence est encore plus grande lorsqu'ils sont présents en grande concentration en solution. Si la concentration en ions est plus élevée, les grains auront tendance à grossir plus rapidement.

b. La vitesse à laquelle les ions sont organisés en ordre dans le réseau cristallin. Si le premier facteur prédomine, les grains de précipité grossiront sous ordre vont croître, et l'on obtiendra des cristaux très irréguliers avec des cavités et donc une plus grande surface (cristaux poreux). A l'inverse, si le seconde domine, les cristaux seront réguliers[20].

✓ **Agglomération et agrégation**

Des cristaux peuvent s'associer pour former un ensemble homogène et cohérent. Selon la nature des forces qui lient les cristaux on distingue :

- La coagulation ou floculation qui mettent en jeu des forces faibles de type van der Waals.
- L'agrégation qui consiste en un assemblage rigide de particules cristallines individuelles.
- Les liaisons entre les particules sont alors des ponts cristallins.
- L'agglomération qui est un assemblage plus ou moins lâche de particules.
- L'agglomération peut intervenir en l'absence de sursaturation, ce mécanisme concerne plus particulièrement les particules de tailles inférieures [12].

I.1.3.2. Les principales causes de formation des dépôts :

Les principales causes de formation des dépôts dans les champs pétroliers sont :

➤ Chute de pression :

Pendant le processus de la production, l'eau de formation est soumise à la réduction continue de pression, Lorsque la pression est suffisamment réduite certains gaz dissous s'échappent,

La diminution de la concentration d'un de ces gaz provoque la formation de certains dépôts. Par exemple la diminution de dioxyde de carbone CO_2 perturbe l'équilibre de bicarbonate-carbonate ce qui augmente la probabilité de formation des dépôts de carbonate de calcium [21].

➤ Changement de température :

Certains équipements de surfaces s'échauffent, tels que les moteurs ou les échangeurs de chaleur des pompes ce qui provoque la formation de dépôts[22].

Par exemple la formation de carbonates de calcium dans certains équipements est due à la diminution de sa solubilité et l'augmentation de la température

Par contre le BaSO_4 agisse différemment avec l'augmentation de la température, des études ont montré que la solubilité de sulfates de baryum augmente avec l'augmentation de la température mais ça n'empêche pas la formation de des dépôts de sulfates de baryum [21].

De façon générale, une élévation de température de 40° à 90° C provoque une augmentation de la solubilité de BaSO_4 et une diminution des solubilités de CaSO_4 et de SrSO_4 [23].

➤ Changement des caractéristiques minérales :

Un changement dans les caractéristiques minérales des eaux, pourrait conduire à la formation de dépôts en raison du changement des forces ioniques des ions en solution, d'où La concentration totale des sels contenus dans l'eau constitue un facteur important[12].

➤ **Mélange des eaux incompatibles :**

Lors de la récupération secondaire, l'eau des puits de production, contenant divers minéraux, mélangée après la percée avec de l'eau d'injection qui provoque un changement dans les caractéristiques minérales en raison de l'incompatibilité des deux eaux qui conduit à la formation de dépôt[12]. Dans les champs d'hydrocarbures de l'offshore le mélange des eaux de formation contenant les ions de baryum et l'eau de mer contenant des ions de sulfates provoque directement la formation de dépôts de sulfates de baryum $BaSO_4$ [18].

I.1.3.4 Effet des paramètres sur la formation de $BaSO_4$

Le dépôt peut se produire en amont ou en aval à n'importe quel point du système de production où se produit la sursaturation, cette dernière peut être créée dans une seule eau par une modification des conditions (la pression et la température) ou en mélangeant deux substances incompatibles. Les changements de température, pression, pH et la salinité peuvent également contribuer à la précipitation des dépôts [22].

✓ **Influence de température**

En 1960 une étude sur la solubilité de $BaSO_4$ dans des solutions de chlorure de sodium à 25 °C et à des molalités de chlorure de sodium réalisée par Templeton prouve qu'à une force ionique constante, la solubilité de $BaSO_4$ augmente avec l'augmentation de la température, par contre le $CaSO_4$ réagit à l'inverse [20].

La solubilité du sulfate de baryum augmente avec l'augmentation de la force ionique de la saumure et avec la pression mais la précipitation de sulfate de baryum est fortement plus affectée par la température[25].

Aussi une étude de Jacques et Borland en 1960 concernant la solubilité du sulfate de strontium dans une saumure de chlorure de sodium montre que la solubilité de $SrSO_4$ augmente avec la force ionique et diminue avec la température [26].

✓ **Influence de pression**

Les changements de pression entraînent des variations dans les concentrations de gaz dissous, et Dans ce cas, le déplacement de l'équilibre peut changer les conditions de

précipitation. En effet, des énormes variations de pression se produisent pendant l'écoulement des Effluent vers la surface dans les puits de producteurs, provoquant une évaporation Partielle de l'eau ce qui provoque une précipitation rapide de BaSO_4 et CaSO_4 , d'autre part La réduction de la pression favorise la formation de dépôts de CaCO_3 [27].

Les sels sulfatée tels que le CaSO_4 ; SrSO_4 ; BaSO_4 sont plus solubles a des pressions élevée, par conséquent lorsque la pression est réduite pendant la production, l'eau formation va souvent précipiter des dépôts de sulfates cette déposition de tarte peut avoir lieu au tout du puit, au niveau de perforations ou dans la pompe de fond . La déposition de sulfates de baryum est courante au niveau des perforations ou les duses (chokes), où la pression est considérablement réduite[25].

✓ Influence de pH

La concentration de CO_2 dans l'eau affecte le pH et la solubilité de CaCO_3 , la probabilité de précipitation est réduite à l'inverse plus le pH est élevé la précipitation est plus probable[25].

En effet en présence d'un pH acide le H^+ est fortement actif, elle attaque facilement les dépôts inversement en présence d'un pH basique provoque la formation des oxydes qui augmente la masse des dépôts et diminue la solubilité[27].

✓ Influence de salinité

L'augmentation de la concentration des électrolytes, accélère la vitesse de formation des dépôts. Dans le cas des solutions diluées les activités des différents ions présents peuvent être comparées à leurs concentrations Pour des eaux riches en sels ces ions sont suffisamment proches pour provoquer des interactions électrostatiques importantes entre eux, et l'effet d'autant plus prononcé que le nombre et la charge des ions présentes sont importants., il est défini par la force ionique qui est la demi somme des concentrations de chacun des ions multipliés par les carrés de leurs charges. La force ionique de la solution étant importante donc les ions sont plus prononcés, de sorte que la solubilité du sel peut être augmentée en ajoutant un autre sel tant que les deux cohabitants n'ont pas d'ion commun[27].

I.1.4. Localisation des dépôts de sulfate baryum

La précipitation de sulfate baryum (BaSO_4) généralement se produit dans plusieurs endroits dans les champs pétroliers tels que :

- dans les réservoirs des hydrocarbures
- dans le fond du puit, tubing
- dans les installations de surface
- les équipements de la raffinerie pour le traitement du pétrole brut[28].

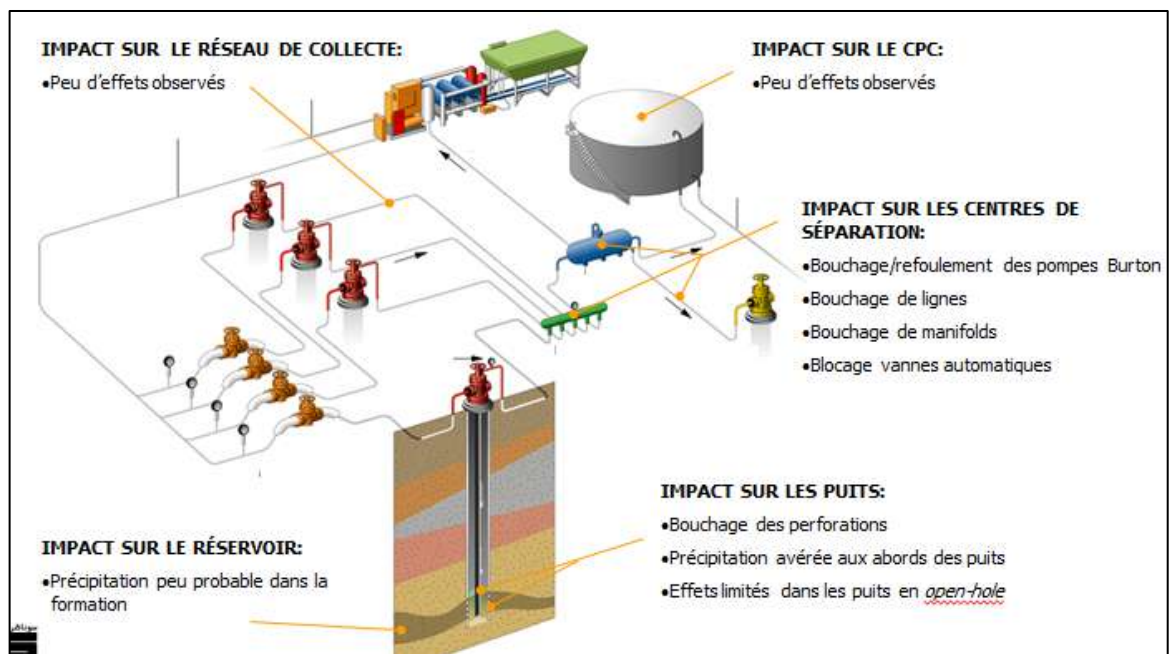


Figure I.4 : Les emplacements possibles de déposition de sulfate de baryum[1].

I.2 Traitement des sulfates de baryum :

I.2.1 Traitement curatif

➤ Milling :

C'est l'une des premières méthodes utilisées pour briser les écailles minces et fragiles. Elle s'effectue par battage mécanique à l'aide de racleur, cette méthode est utilisée pour gratter les parois sur lesquels est déposé le sulfate de baryum mais il peut causer des fissures au niveau de tubing au cours de l'opération. Cette opération est réalisée par les unités Wire line, Work Over, snubbing [29].



Figure I.5 : Outil de milling[30].

➤ **Broche**

Une broche est un outil de fond monté sur un câble mécanique utilisé pour éliminer le tartre au niveau de partie supérieure de tubing dans le but d'augmenté le diamètre interne ce qui permet au câble d'atteindre les parties plus profondes. L'utilisation des broches consiste à faire des multi passages de haut en bas avec des broches de diamètre extérieure croissante pour éliminer toute l'accumulation de tartre sur la paroi du tubing[31].



Figure I.6: Broche[31].

➤ **Scale Blaster**

Scale Blaster est un traitement mécanique par l'unité coiled tubing employé principalement pour le nettoyage des dépôts de sulfate de baryum au niveau des perforations et des obstructions à l'intérieur de tubing, il consiste à utiliser un fluide visqueux avec un sable à haute pression[32].

Scale Blaster = Jet Blaster + gel + sable artificiel (Sterling Beads) lingBeads)

Les propriétés de Sterling Beads :

- ✓ N'est pas abrasive
- ✓ Très efficace sur, les dépôts très durs et les bouchons de ciment
- ✓ Élimination des dépôts durs (enlever les dépôts), et inertes tels que BaSO_4
- ✓ Nettoyage positif et par un seul passage.
- ✓ Technique sécurisée.



Figure I.7: Sterling Beads[32].

➤ Jett Blaster

Les outils pour l'opération Scale Blast se compose d'un nozzle en tête qui assure leur passage, deux (2) nozzles latérale qui provoquent la rotation et la dérive de l'outil pour le contrôle du nettoyage[33].

- Une surveillance à 360 degrés du puits est assurée par une rotation commandée de l'axe.
- L'axe est rempli de fluide visqueux briseur.
- Fournit une puissance hydraulique puissante aux Jettingnozzles.
- Nettoyage unique (un seul passage positif).
- Contrôler la taille des éléments coupants (incisives)[33].

I.2.2 Traitement préventif

➤ Traitement de BaSO₄ par Inhibition :

La morphologie, la composition, le nombre et la taille des cristaux de barytine sont affectés par la présence de l'inhibiteur de dépôt à une concentration supérieure, égale ou inférieure à la concentration minimum en inhibiteur MIC[34].

✓ Inhibiteurs de dépôt

Les inhibiteurs sont des produits chimiques spéciales utilisés principalement pour ralentir ou prévenir la formation du tartre au niveau des systèmes d'eau [35].

Parmi ses inhibiteurs on peut citer l'Acide Ethylène Diamino-tétra-acétique (EDTA) qui est l'agent de contrôle des ions métalliques le plus utilisé pour lutter contre la formation du BaSO₄[36].

Il existe deux types d'inhibiteurs : inhibiteurs organiques et inorganiques

Ces derniers (les inhibiteurs inorganiques) ont une très bonne efficacité mais leurs applications peuvent être limitées par une faible solubilité ou une stabilité thermique inférieure à celle des inhibiteurs à base de phosphonate[37].

Leur potentiel d'inhibition est significativement affecté par l'augmentation de température[38].

D'autre part le poly (acide acrylique) (PAA), l'acide phosphinocarboxylique, les polymères sulfonés et les phosphonates sont les inhibiteurs organiques disponibles [39].

✓ L'inhibiteur AD32

Les inhibiteurs AD32 sont des inhibiteurs de tartre utilisés pour traiter les circuits d'eau afin d'empêcher la précipitation du calcium, du strontium, du baryum, du fer et d'autres sels cationiques en combinaison avec des sulfates, des carbonates et des oxydes. Les inhibiteurs AD32 sont particulièrement recommandés pour les conduites d'huile et les circuits d'injection d'eau pour contrôler la formation des dépôts, pompes, conduites, [03].



Figure I.8: L'inhibiteur de dépôt AD32.

- **Traitement par désulfatation des eaux d'injection**
- ✓ **La filtration membranaire :**

La technologie membranaire est devenue une véritable technologie de séparation au cours de la dernière décennie. La principale force de la technologie membranaire est qu'elle fonctionne sans ajout de produits chimiques et consomme relativement peu d'énergie ainsi elle dispose d'un contrôle de processus simple et clair.

La filtration membranaire est de plus en plus utilisée comme procédé de séparation dans de nombreux domaines, notamment dans les cycles de l'eau (potabilisation, traitement des eaux usées, réutilisation de l'eau, adoucissement, dessalement, etc.). Elle est basée sur l'application de différence de pression qui permettent le transfert du solvant à travers des membranes de la taille des pores qui assurent la rétention du soluté[04].

Les opérations de la filtration membranaire sont classées selon la section des pores, on peut citer, la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse. Ces procédés sont matures technologiquement mais encore en plein développement industriel.

Le principe de la filtration membranaire est très simple. Les membranes agissent comme des filtres très spéciaux qui laissent passer l'eau tout en retenant les solides en suspension et autres substances[04].

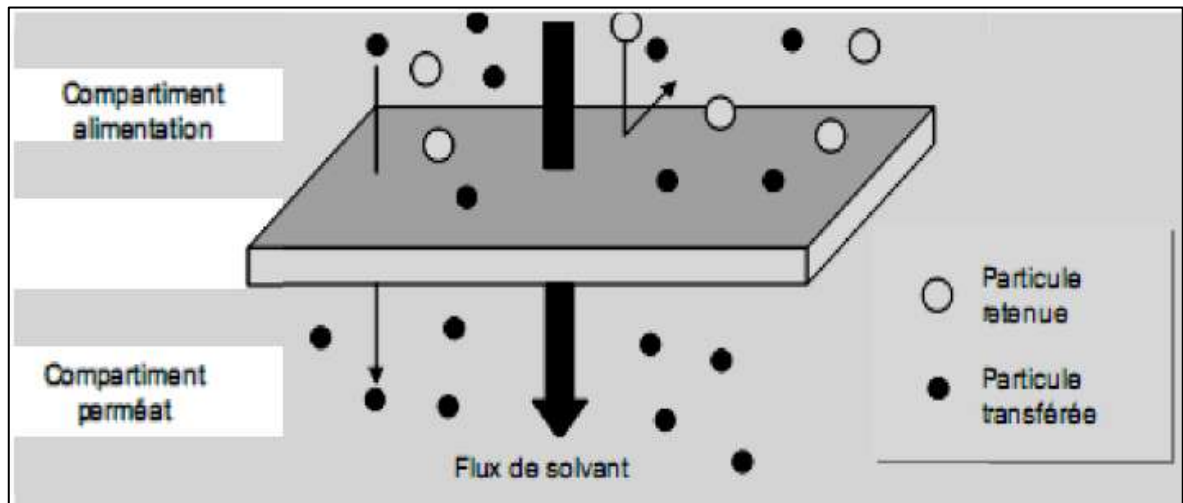


Figure I.9 : Représentation schématique de la séparation par membrane[04].

Lorsque la filtration sur membrane est utilisée pour éliminer les particules de taille relativement importante on utilise la micro filtration ou l'ultra filtration, dans ce cas, la différence de pression est faible et la productivité est élevée. Lorsqu'on doit éliminer les sels dans l'eau, on utilise la nanofiltration ou l'osmose inverse. Les membranes de nanofiltration et d'osmose inverse ne fonctionnent pas selon le principe des pores, la séparation s'effectue par diffusion à travers la membrane.

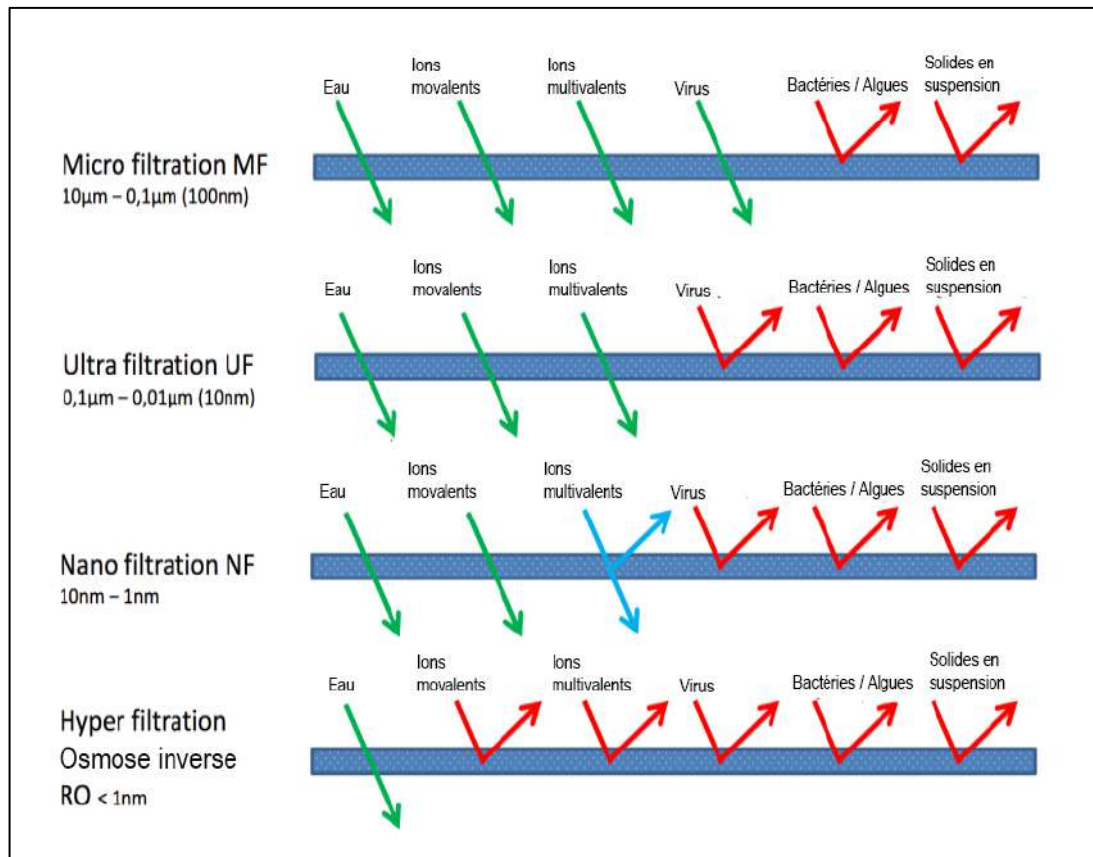


Figure I.10 : Propriétés des membranes de chaque processus [40].

La pression requise pour réaliser la nanofiltration ou l'osmose inverse est plus élevée que la pression requise pour la micro ou l'ultrafiltration tandis que la productivité est beaucoup plus faible[4].

Les types de procédés membranaires les plus utilisés pour la désulfatation des eaux d'injection :

- **Nanofiltration :**

La nanofiltration est un procédé membranaire sous pression qui se situe entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration. La membrane de NF possède des pores d'environ 0,001 micron(1 nanomètre) et a un rejet élevé pour les sels à anion di- et multivalent et les matières organiques. La technique de nanofiltration est souvent utilisée pour l'élimination de la dureté, du radium et du sulfate des eaux de puits, l'élimination du sulfate de l'eau de mer et l'élimination simultanée du chlorure de sodium et de la concentration des matières organiques dans les industries alimentaires et pharmaceutique [41].

- **Osmose inverse :**

Les membranes d'osmose inverse ont des pores d'environ 0,0001 micron (0,1 nanomètre). Lorsque l'eau passe à travers le filtre à osmose inverse, elle devient essentiellement de l'eau pure. En plus d'éliminer toutes les molécules organiques et les virus, l'osmose inverse élimine également la plupart des minéraux présents dans l'eau. Elle élimine les ions monovalents. C'est-à-dire dessaler l'eau[4].

Pour comprendre le principe de fonctionnement de l'osmose inverse il est utile de comprendre le principe d'osmose.

L'osmose, se produit naturellement lorsque la membrane semi-perméable sépare deux solutions salines de concentrations différentes par la migration de l'eau d'une solution à faible concentration vers une solution à forte concentration, jusqu'au point d'équilibre des deux concentrations. C-à-dire des concentrations égales[4].

Les membranes semi-perméables de l'osmose ont une propriété de laisser l'eau passer à travers les pores mais non pas les sels.

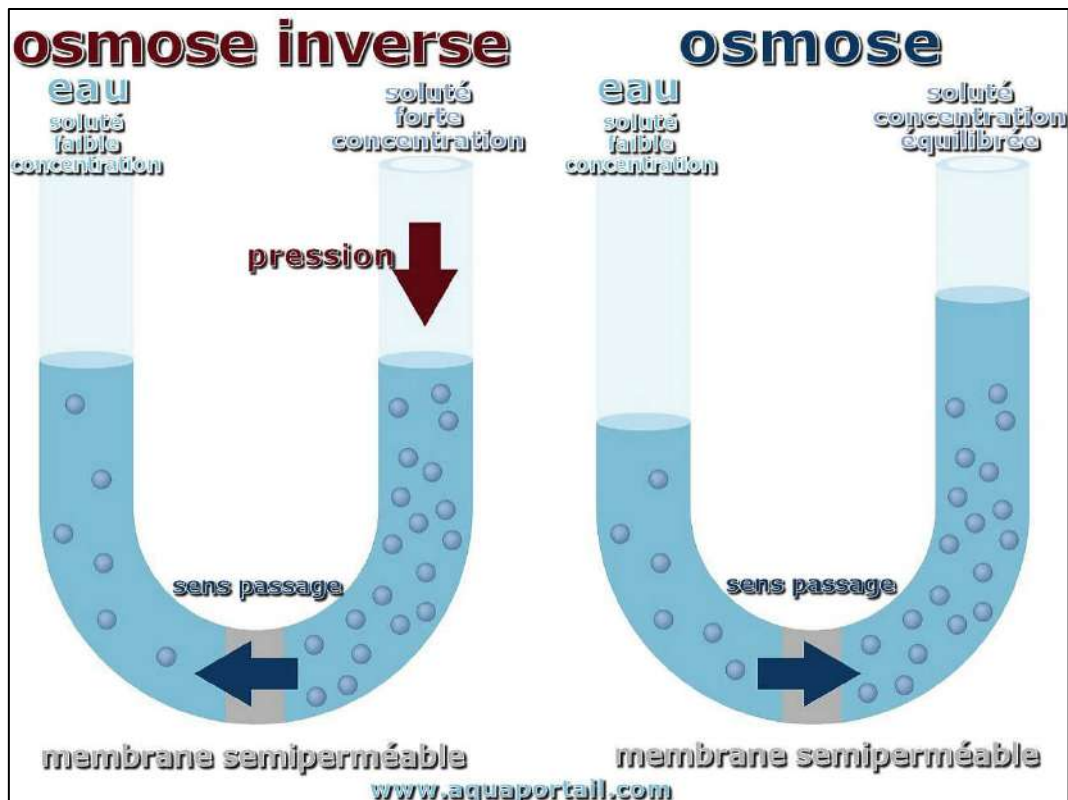
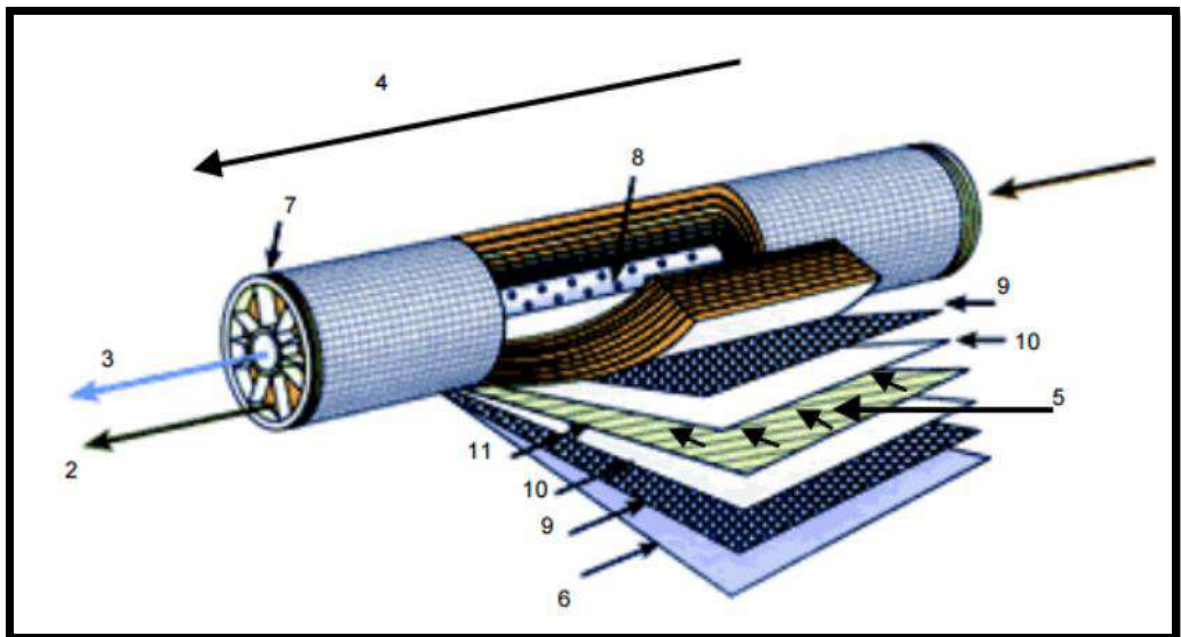


Figure I.11 : Schéma du principe de l'osmose et l'osmose inverse[45].

En osmose inverse, les deux solutions sont toujours séparées par une membrane semi-perméable, mais dans ce cas on applique une pression pour inverser l'écoulement naturel de l'eau, ceci force l'eau de passer de la solution plus concentrée à la solution moins concentrée. Alors, les contaminants finissent sur un côté de la membrane semi-perméable et l'eau pure est sur l'autre côté [4].

La figure suivante montre la structure des membranes utilisés dans les techniques de nanofiltration et d'osmose inverse :



- | | |
|---|---|
| 1- Entrée d'eau | 7 -Joint d'étanchéité entre module et enveloppe |
| 2- Sortie concentrat | 8- Perforation collectant le perméat |
| 3 -Sortie du perméat | 9 -Espaceur |
| 4- Sens de l'écoulement de l'eau brute. | 10- Membrane |
| 5- Sens de l'écoulement du perméat | 11 -Collecteur de perméat |
| 6 -Matériau de protection | |

Figure I.12 : Membrane spiralée(membrane utilisée a NF et RO)[43].

Conclusion

Pour conclure ce chapitre qui constitue une étude bibliographique sur les dépôts de sulfates de baryum et en particulier les causes de leur déposition ainsi leur traitement, nous pouvons affirmer que malgré plusieurs méthodes de traitement ont été utilisées, il reste toujours le problème de dépôt de sulfates de baryum soit au niveau de puit ou sur la surface à cause de l'incompatibilité des eaux d'injection et de formation.

Dans les chapitres suivants nous allons étudier une nouvelle technologie pour désulfater l'eau d'injection et puis minimiser le maximum le taux de déposition de BaSO₄.

Chapitre

II

*Présentation de champs
TFT*

Introduction :

Dans ce chapitre nous présentons la situation géographique de la région TFT, la Direction Régionale de Tin Fouyé Tabankort (TFT) fait partie de la Division Production de Sonatrach Exploration-Production. Elle est chargée de la production des hydrocarbures (pétrole et gaz sur les périmètres TFT).

II.1. Situation et historique de la région de TFT :

La région de Tin Fouyé Tabankort est située dans la partie Nord-Ouest du bassin d'Illizi, plus précisément à 300 Km au Nord-Ouest d'In-Amenas, à 500 km au Sud-Est de Hassi Messaoud sur la route national N°3, à 1300 km d'Alger et dépend administrativement de la W, d'Illizi.

La région se trouve sur une altitude de 432 m avec une température ambiante qui varie entre 0°C et 45°C durant l'année [44].

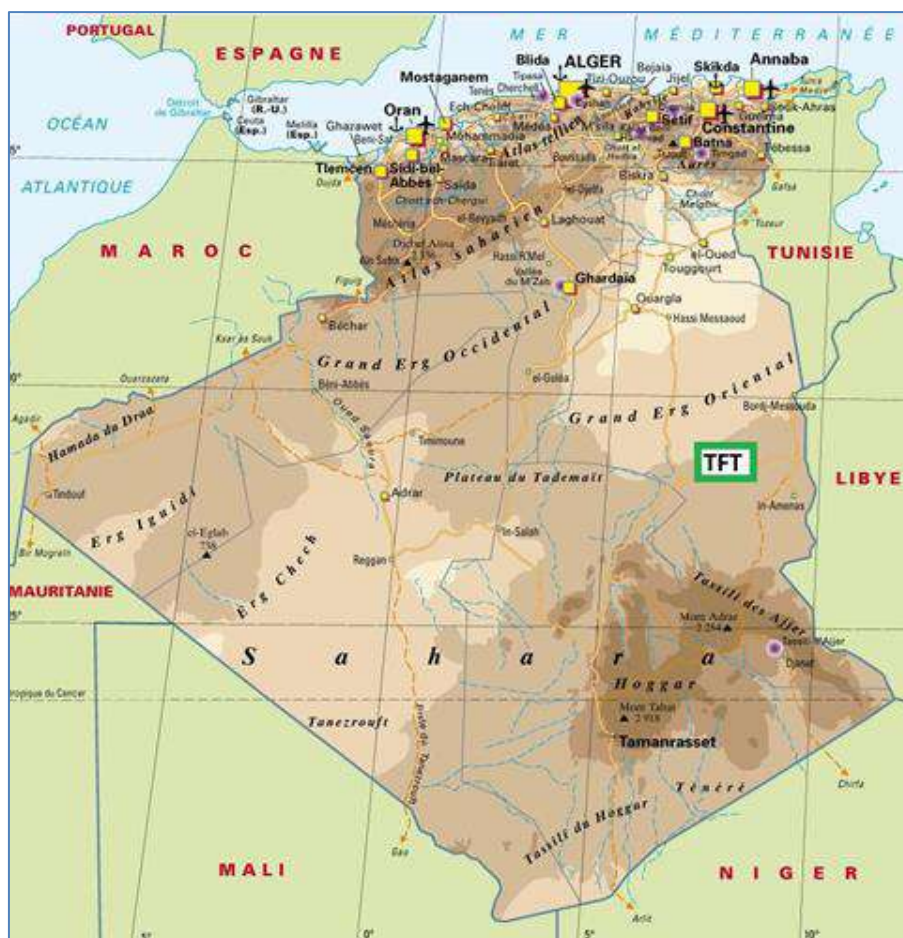


Figure II.1 : Situation géographique de Tin Fouyé Tabankort [44].

La région de TFT se trouve sur la partie ouest du plateau de Tin-Hert.

L'ordovicien est le principal réservoir de la région, il a été découvert en 1967, ce réservoir s'étend sur 7 à 15 km du Nord au Sud et 25 km d'Est à l'Ouest, il est d'une profondeur de 2200 m en moyenne [44].

La production du secteur Nord est traitée par 5 centres de séparation (gaz, huile, eau) dénommés CS1, CS2, CS3, CS4 et CS5 ainsi que les centres de TAMENDJELT, AMASSAK, DJOUA et un centre de stockage principal de collecte et d'expédition d'huile (CPC TFT).

La production du secteur Sud est traitée par les centres de séparation (gaz, huile, eau) dénommés MF1, 2, 3, 4 et 5 ainsi que les centres de CTFN, HMZ Sud, HMZ Nord ; HMZB et un centre de stockage principal de collecte et d'expédition d'huile (CPC TFY) [44].

La découverte des champs et leurs mises en production sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.1 : Les dates de découverte de champs de Tin Fouye Tabankort [44].

CHAMPS		Date de découverte	Date de mise en production
Secteur Sud	TIN FOUYE	1961	1963
	HASSI MAZOULA SUD	1963	1966
	HASSI MAZOULA B	1966	1966
	TIN FOUYE NORD	1966	1967
	HASSIMAZOULA NORD	1959	1963
Secteur nord	TFT PUIITS 100	1966	1967
	DJOUA OUEST	1966	1968
	TFT ORDOVICIEN	1967	1968
	TFT ZONE EST	1968	1968
	TAMENDJELT	1970	1974
	AMASSAK	1970	1974

II.2. Situation géologique :

La coupe géologique établie sur l'axe allant du nord de la région de TFT jusqu'aux dunes de sables de Mazoula, montre les différentes couches géologiques appartenant au crétacé (affleurant en surface et disparaissant au Sud) [44].

Selon l'ordre chronologique de ces couches du plus récent au plus ancien sont :

- **Le sénonien** : composé d'argile à gypse, de dolomie, de calcaire gréseux, et d'une couche de marne.

- **Le cénomanien (200 m d'épaisseur)** : Il est constitué :

De 0 à 200 m: c'est des calcaires de couleur blanc-jaunâtre à beige durs et de marnes plastique.

De 100 à 200 m: de calcaire argilo-gréseux grisâtre, beige ou blanchâtre et des argiles plastique bariolées avec intercalation de banc de gypse blanc fibreux.

- **L'albien (zone aquifère à 70 m d'épaisseur)** : Il est constitué d'alternation de grès fins à moyen, d'argile verte plastique et de sable grossier mal classé.
- **Le barrémien (zone aquifère de 160 m d'épaisseur)** : Il est constitué de sable translucide à opaque, à grain fins à grossiers avec intercalation d'argile bariolée, brun, rouge ou verte avec une passe des grès fins.

ERE	SYST	ETAGES	NOMENCLATURE A L'AFFLEUREMENT	EPmoy (m)	DESCRIPTION		
MESOZOIQUE	CRETACE	SENONIEN	ARGILO-GYPSEUX	120	Alternance de dolomie calcaire, gypse et argile.		
		TURONIEN	CALCAIRE	81	Calcaire, marne et argile.		
			MARNEUX				
		CENOMANIEN	DALLE CALCAIRE	176	Argile avec passées de calcaire et de gypse.		
			IN-AKAMIL				
		ALBIEN	TAOURATINE SUPÉRIEUR	71	Grès, argile.		
		APTIEN	TAOURATINE MOYEN	28	Argile carbonatée, passées de dolomie.		
	BARREMIEN	TAOURATINE INFÉRIEUR	296	Grès et sable avec passées d'argile et de calcaire.			
	NEOCOMIEN + MALM		188	Intercalations de sable et d'argile. Traces de lignite.			
	JURASSIQUE	DOGGER	ZARZAITINE SUPÉRIEUR ET MOYEN	195	Sable, silt, grès, argile. Présence de lignite et pyrite.		
		LIAS		99	Alternance de sable et de grès. Présence de dolomie et pyrite.		
		TRIAS	discordance hercynienne	ZARZAITINE INFÉRIEUR	30	Argile, grès.	
	CARBO-NIFERE	VISEEN & TOURNAISIEN	SÉRIE DES GRÈS D'ISSENDJEL	47	Argile, grès.		
PALEOZOIQUE	DEVONIEN	SUP	STRUNIEN RESERVOIR "F2"	SÉRIE DE LA GARA MAS. MELLOUKI	65	Argile, grès.	
			SERIE ARGILEUSE	154	Argile avec présence de silt, passées de calcaire.		
		INF	UNITE C3 - I	RESERVOIR "F6"	BARRE SUPÉRIEURE	10	Grès, argile. Pyrite.
			UNITE C2 - II		TROTTOIRS	25	Argile, silt, grès.
			UNITE C1 - III		BARRE MOYENNE	15	Grès, argile.
	GOTHLANDIEN	GOTHLANDIEN ARGILO-GRESEUX	UNITE B2 - IV-V	RESERVOIR "F6"	TALUS A	60	Grès, argile.
			UNITE B2 - VI		TIGILLITES	17	Grès.
			UNITE B1 - VII		74	Grès, argile.	
			UNITE A - VIII		BARRE INFÉRIEURE	100	Grès, silt, argile.
			UNITE M2 - IX		FORMATION D'ATAFAITAFA	54	Argile, grès.
			UNITE M1 - X		56	Grès, argile.	
		GOTHLANDIEN ARGILEUX	195	Argile avec passées de grès au sommet.			
	CAMBRO-ORDOVICIEN	UNITÉ IV - 3	"COMPLEXE TERMINAL" OU "FORMATION DE TAMADJERT"	15	Grès.		
		UNITÉ IV - 2		24	Argilo-gréseux.		
		UNITÉ III - 3	FORMATION D'IR TAHOUIE	17	Grès, argile. Tigillites.		
		UNITÉ III - 2	"QUARTZITE D'HAMRA" OU "BANQUETTE"	25	Grès quartzitique. Tigillites.		
SOCLE					Roches éruptives (gabbro).		

Figure II.2 : Coupe stratigraphique du champ de TFT [44].

II.3. La structure de la région de TFT :

La direction régionale de Tin Fouyé Tabankort (TFT), fait partie de la division production de l'entreprise SONATRACH. Elle est chargée de la production du pétrole du champ de TFT et de la gestion de toutes les divisions qui lui sont rattachées.

La Direction Régionale de TFT est structurée en plusieurs divisions qui prennent en charge chacune une partie de l'activité qui lui dévolue [44].

Ces structures sont :

- Division Engineering production
- Division Exploitation
- Division Maintenance
- Division Réalisation
- Division Sécurité
- Division Personnel
- Division Approvisionnement et Transport
- Division Intendance
- Division Finance

Chapitre

III

*Analyse et traitement de
l'eau par filtration
membranaire*

Introduction

Au niveau de champs de TFT le problème des dépôts de sulfates de baryum pose un problème majeur, des méthodes de traitement ont été appliquées pour minimiser la déposition de BaSO₄ comme la séparation sélective et l'utilisation des inhibiteurs, ces deux méthodes ne sont pas efficaces.

Pour résoudre ce problème, il est nécessaire de connaître la nature et la composition chimique des deux eaux (Lias, Ordovicien), pour cela, un suivi des analyses physico-chimiques a été réalisé au niveau de centre de recherche et de Développement (CRD) - Sonatrach -Boumerdes, afin de trouver la technique adéquate pour le traitement. Les résultats d'analyses physico-chimiques des échantillons d'eau prélevés au niveau du champ de TFT ont été interprétés.

III.1. Traitement de BaSO₄ au niveau de TFT :

III.1.1. Traitement par des inhibiteurs chimiques

Pour faire face au problème de dépôts au niveau des installations de la région TFT, plusieurs études ont été faites :

- Réalisation de tests de sélection des inhibiteurs de dépôts sur les eaux dans les conditions de surface (Température ambiante et pression atmosphérique) et conditions de fond (T=80 ~ 85°C et pression=120 bars).
- 33 produits ont été testés à différentes concentrations sur un taux de mélange critique qui est de 60% eau de gisement et 40% eau d'injection (précipitation maximale du BaSO₄)
- Sur toute la gamme de produits testés, seul l'AQUAPROX MD1000 (à base des phosphonates) a donné une efficacité relative de 45% après 6 heures de contact avec un dosage de 200 ppm des BaSO₄.
- Il est noté que la présence de l'ion Fe²⁺ en grande quantité dans l'eau de gisement (200mg/l) perturbe fortement l'efficacité de l'inhibiteur en fonction du temps. L'inhibiteur réagit avec le fer en le complexant, ce qui entraîne un surdosage de l'inhibiteur d'où un surcoût.

- La solution d'inhibiteurs chimique a été abandonnée pour des raisons liées au coût et à la difficulté de mise en œuvre technique [28].

III.1.2. La séparation sélective :

En 1996, pour résoudre le problème du BaSO_4 dans les installations de surface, une séparation sélective a été adoptée en séparant les puits producteurs d'huile sulfatés (atteints par l'injection d'eau) des puits producteurs d'huile barytés (non atteints par l'eau d'injection) et qui produisent de l'eau de l'aquifère pour éviter le mélange en surface des deux eaux incompatibles, et cela en créant une ligne sélective dans les manifolds principaux et une batterie de séparateurs sélectifs [2].

La solution de séparation sélective consistant à séparer physiquement les puits barytés et sulfatés.

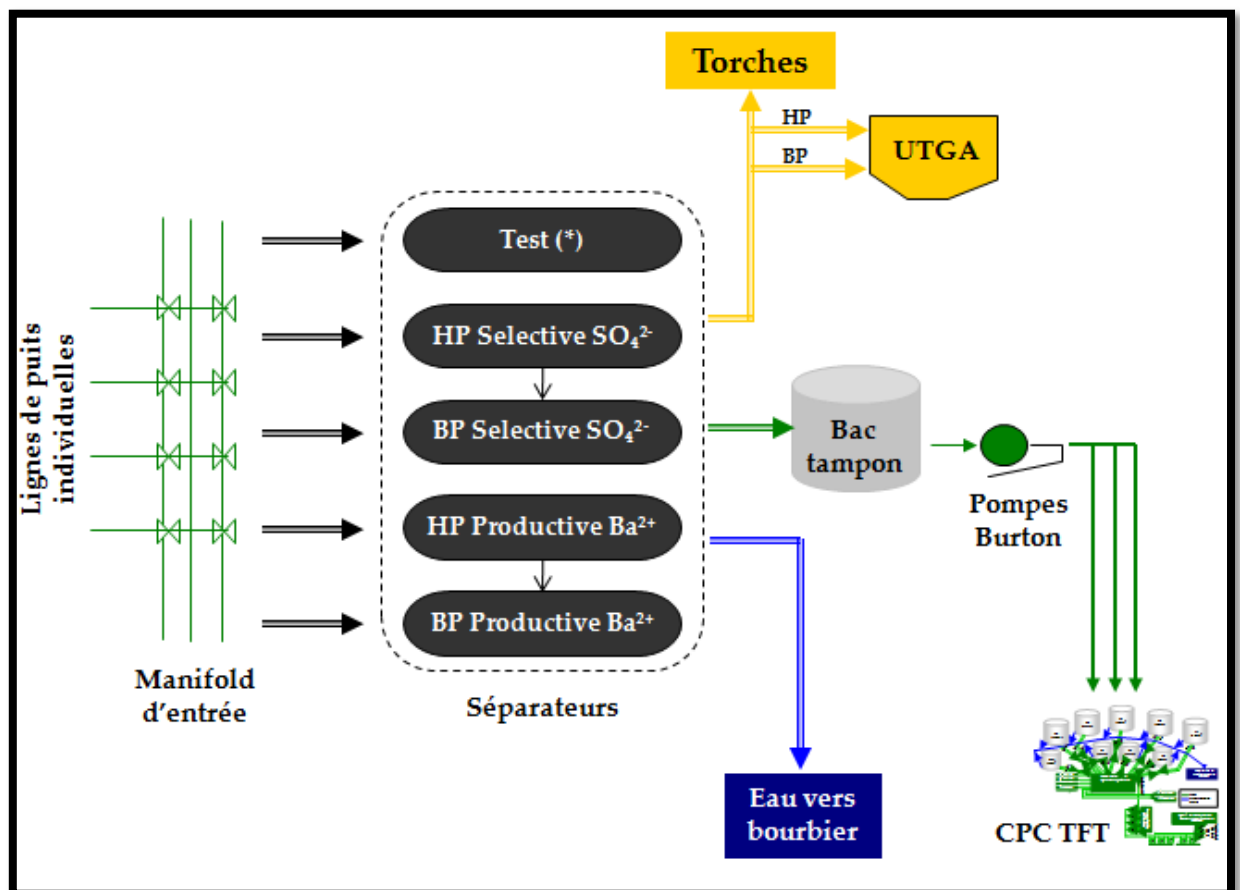


Figure III.1 : Schéma simplifié du principe de séparation sélective au niveau des centres de séparations [2].

Mais, malheureusement cette solution s'avère insuffisante et cela dû à :

- Une surveillance insuffisante des puits conduit au mélange des flux d'eau barytée et d'eau sulfatée.
- La nature de l'eau d'un puits peut changer d'un moment à l'autre, et la fréquence de test des puits n'est pas suffisante pour remarquer ce changement.
- Sans une action immédiate pour réorienter les puits ou les manifolds satellites au rythme de leur changement de nature, les eaux barytées et les eaux sulfatées se mélangent.
- L'existence d'une seule ligne entre les manifolds satellites et les manifolds principaux entravent la séparation sélective des puits.
- Certains puits ne sont pas branchés sur la bonne batterie, même si leur changement de nature a été correctement identifié.
- Toutes les zones exposées au problème de dépôts, qui se trouve avant la ligne sélective et la batterie sélective ne sont pas protégées par cette méthode, on peut citer comme simple exemple le fond du puits.

Cette technique n'est pas satisfaisante vu que le problème de dépôt persiste. En conséquence TFT cherche toujours la solution idéale pour remédier à ce problème.



Figure III.2 : La séparation sélective au niveau de CS1

Le moyen le plus efficace pour éviter le problème de dépôts du sulfate de baryum est de prévoir la précipitation avant qu'elle se manifeste. La solution idéale de lutte contre ce dépôt est de traiter l'eau avant qu'elle soit injectée, c'est-à-dire éliminer les ions sulfates.

Pour un traitement sélectif de l'eau d'injection de TFT, le centre de recherche et de développement a pris cette charge et la méthode de filtration membranaire a été proposée.

L'installation de filtration membranaire a été réalisée au niveau de centre TAM EAU à TFT en 04 Mars 2020, mais seulement des essais ont été effectués sur cette installation [45].



Figure III.3 : Unité pilote de traitement d'eau au niveau de site TAM a TFT

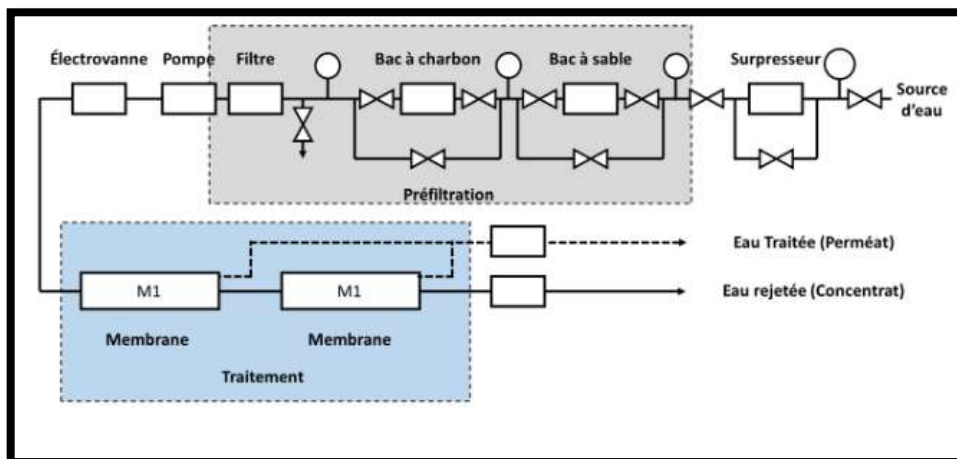


Figure III.4 : Schéma technique simplifié des composants de l'unité de traitement [45].

C

*Conclusion générale
et recommandations*

Conclusion générale

Ce travail s'est articulé sur le traitement de l'eau d'injection par différentes méthodes afin de réduire la déposition des sulfates de baryum au niveau de champs pétrolier de TFT - Ain Aminas.

Dans notre étude nous avons tout d'abord analysé l'eau d'injection (LIAS) et l'eau de gisement (ORDOVICIEN) au niveau de CRD -Boumerdes, les résultats ont montré que l'eau de LIAS contient une concentration très élevée des sulfates (1250+100 ppm), et l'eau de gisement (ORDOVICIEN) contient une concentration de 1120 ppm de Baryum, le contact entre ces deux eaux provoque un problème des dépôts soit au niveau de puit ou sur le centre de séparation, la séparation sélective et l'utilisation des inhibiteurs ne sont pas suffisantes pour réduire ces dépôts de sulfates au champs TFT.

Par la suite il a été proposé deux méthodes pour le traitement de l'eau de LIAS par la filtration membranaire à savoir la nanofiltration ou l'osmose inverse, et les résultats étaient satisfaisantes par un taux d'élimination des sulfates dans l'eau de LIAS de 97,9 % pour la nanofiltration et 99,9 % pour l'osmose inverse. Avec ces teneurs de sulfates, l'eau d'injection devient compatible avec l'eau de formation et ne provoque aucun problème de précipitation de sels surtout les dépôts de sulfates de baryum.

Une simulation de ces méthodes par le design WAVE ont été effectués pour avoir la technique la plus sélective et la plus économique. Les résultats ont montré que le procédé RO est un peu plus efficace que la NF de point de vue de l'élimination des ions de sulfates par contre la méthode RO réduit le TDS ce qui affecte négativement sur la récupération tertiaire par la voie chimique (cEOR). De plus, la membrane **RO** consomme environ 50 % d'énergie plus que la **NF** à la pression d'alimentation optimale. Donc on peut conclure que la technologie nanofiltration est le processus le plus adéquat pour le traitement de l'eau d'injection et qui répond plus à l'exigence de ce projet ainsi présente la solution Idéale pour remédier les problèmes causés par la formation des dépôts de BaSO₄ au niveau du champs TFT.

Bien que ces deux méthodes de traitement de l'eau aient été menées à bien et aient donné des résultats prometteurs, il reste beaucoup d'avenues à explorer qui sont :

- Réalisation d'un système de préfiltration efficace pour réduire le colmatage afin d'augmenter la durée de vie des membranes.

Conclusion générale

- Automatisation du système de régénération des filtres et le rinçage chimique des membranes.
- Mise en place des points d'échantillonnage et faire des analyses périodiques pour la vérification de La qualité d'eau en amont et en aval.
- Prévoir une procédure de traitement de rejet qui représente (25 %) de la charge pour la protection de l'environnement. Le chauffage de l'eau jusqu'à sa vaporisation par le rayonnement solaire (appelée Distillation Solaire) est une solution écologique avec une très bonne rentabilité économique. La vapeur d'eau issue de ce procédé sera condensée à l'aide d'un refroidisseur à air puis réintégrée dans l'unité.
- Une autre perspective, faire une étude économique plus profonde afin de réduire significativement le MAP.

R

*Références
bibliographiques*

- [1] Déploiement du programme «Reservoir- to- Tank » Amélioration du système-production TFT-ORDOVICIEN.2009. TFT AIN AMINAS
- [2] Le système réseau de collecte – CS, Déploiement du programme « Reservoir-to-Tank » Amélioration du système-production de TFT-Ordovicien. Sonatrach/ActivitéAmont /Divisions PED et Production Tin Fouyé Tabankort, le 9 avril 2009.
- [3] Ali, A. M., & Messaoud, H. Barium Sulphate Deposits. Energy Procedia, 157. 2019.
- [4] Mme. KENZA KECHID : « Revamping de la batterie de filtration Au niveau de la station d'injection d'eau CS2 » Projet de fin de formation. DIVISION EXPLOITATION TFT.
- [5] MATRIX TRAITEMENT GUIDE SCHLUMBERGER.
- [6] Sous-commission production du comité des techniciens de la chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel, « Manuel de traitement des eaux d'injection », Technip, Paris, (1973), page 105.
- [7] He, S. L.; Kan, A. T.; Tomson, M. B. "Mathematical Inhibitor Model for Barium Sulfate Scale Control»; Langmuir 1996, 12, 1901-1905.
- [8] O.Bukuaghangin , The kinetics of barium sulphate scale formation and inhibition in the bulk solution and on surfaces, degree of Doctor of Philosophy, The University of Leeds School of Mechanical Engineering Leeds, UK, September, 2017.)
- [9][https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_cb9854295.htm/\(14/04/2020\) Barium sulfate Chemical Properties, Uses, and Production.](https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_cb9854295.htm/(14/04/2020) Barium sulfate Chemical Properties, Uses, and Production)
- [10] https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:S%C3%ADran_barnat%C3%BD.PNG&oldid=478810219
- [11] mr ouldabdallah aissa. Étude de l'impact de sulfate de baryum sur la production de TFT.projet professionnel de fin de formation pour l'obtention du diplôme d'ingénieur spécialisé ; 2017.TFT AIN AMINAS.
- [12] Larbaoui-Djallal Karima, Étude de l'efficacité des inhibiteurs de dépôts de Sulfate de Baryum par les méthodes électrochimiques et gravimétrique, Thèse de doctorat, (2017)

- [13] Helmenstine, Anne Marie, Ph.D. "Solubility Product Definition." ThoughtCo, Jan. 29, 2020, [thoughtco.com/definition-of-solubility-product-605921](https://www.thoughtco.com/definition-of-solubility-product-605921).
- [14] Zhang, P., Kan, A. T., & Tomson, M. B., Oil Field Mineral Scale Control. Mineral Scales and Deposits, 603–617, 2015.
- [15] A.B.B. Merdhah, A.A.M. Yassin, Laboratory Study on Precipitation of Barium Sulphate in Malaysia Sandstone Cores, University Technology Malaysia. 81310, 2, 1-11, 2009.
- [16] Charlot, Gaston, Les méthodes de la chimie analytique, analyse quantitative minérale.
- [17] Mullin, J.W., Crystallisation, 4th Edition. Organic Process Research & Development, 6(2): p. 201-202, 2001.
- [18] Bader M.S.H Sulfate scale problems in oil fields water injection operations, Desalination 201, (2006).
- [19] O.Bukuaghangin , The kinetics of barium sulphate scale formation and inhibition in the bulk solution and on surfaces, degree of Doctor of Philosophy, The University of Leeds School of Mechanical Engineering Leeds, UK, September, 2017.
- [20] Z. Lalmi, «inhibition de la déposition des sels insolubles au niveau des installations industrielles et des puits pétroliers de la région Ourhoud», Mémoire magister, Chimie, Université Kasdi Merbah Ouargla (2008). Page 09-13-15.
- [21] Boak L.S. Factors that impact scale inhibitor mechanisms, Institute of Petroleum Engineering, Heriot-Watt University, October (2012).
- [22] JORDAN .M Graff, C.J. and Cooper, K.N.: "Development and Deployment of a Scale Squeeze Enhancer and Oil-Soluble Scale Inhibitor to Avoid Deferred Oil Production Losses During Squeezing Low-water Cut Wells, North Slope, Alaska", SPE 58725, SPE International Symposium on Formation damage control, Lafayette, Louisiana, 23-24 February 2000
- [23] Inhibition of barium sulfate scale thugh barium formation water, Journal of Petroleum Science and Engineering, 2012

- [24] A.B.B. Merdhah, A.A.M. Yassin, Strontium Sulphate Scale Formation in Oil Reservoir during Water Injection at High-Salinity Formation Water. Asian Journal of Applied Sciences, 2: 300-317, 2009.
- [25] YM Al Rawahi, F Shaik, LN Rao, Studies on Scale Deposition in Oil Industries & Their Control, Caledonian College of Engineering, Sultanate of Oman, International Journal for Innovative Research in Science & Technology, ISSN 2349-6010, May 2017.
- [26] Jacques, D. F. & Bourland, B. I.. A study of solubility of strontium sulfate. Society of Petroleum Engineers Journal, 23, 292-300, 1983.
- [27] M khalida,,contribution à l'étude de l'incompatibilité entre un inhibiteur de corrosion et un inhibiteur de dépôt, Mémoire de Magister, Boumerdes,2014.
- [28] Imhamed SAA. Application of magnetic susceptibility measurements to oilfield scale management, Institute of Petroleum Engineering Heriot-Watt, University Edinburgh, Scotl and, UK April 2012.
- [29] Welltec,Milling Solutions,2012.Welltec :<http://www.welltec.com/Milling-Solutions.aspx?ID=37>.
- [30] ARBAOUI Mostapha, MOUSSA Abdennour, MANSOURI Med Yassin « Optimisation De Traitement Des Dépôts De Sulfate De Baryum Dans Le Champ de Hassi Messaoud Par L'utilisation De La Nouvelle Technique ENMAX » mémoire 2ememaster production Université de Ouargla, 2017
- [31] Margrethe Tunesvik , The scale problem, scale control and evaluation of wireline milling for scale Removal, of degree MASTER, Faculty of Science and Technology, spring semester, 2013.
- [32] Schlumberger,"Blaster Services" présentation.
- [33] BOUTERCHA Hanane, LAHBIL Nassira « Les problèmes de récupération secondaire de pétrole en Algérie étude de cas du champ HMD » mémoire 2eme master production, Université de Ouargla,2016.
- [34] Plasari E., David R., Villermaux J., A simultaneous determination of nucleation and growth rates from batch spontaneous precipitation, J. Chem. Eng. Sci. 54 (1999) 1161.

- [35] Alzahrani, Salem; Mohammad, Abdul Wahab "Challenges and trends in membrane technology implementation for produced water treatment: A review". Journal of Water Process Engineering. 4: 107–133. 2014-12-01.
- [36] Amjad, Z. (Ed.). Mineral Scale Formation and Inhibition. (1995).
- [37] Wang Y, Li A, Yang H. Effects of substitution degree and molecular weight of carboxymethyl starch on its scale inhibition. Desalination; 408:60–9. 2017.
- [38] Zhang B, Zhang L, Li F, Hu W, Hannam PM. Testing the formation of Ca– phosphonate precipitates and evaluating the anionic polymers as Ca–phosphonate precipitates and CaCO₃ scale inhibitor in simulated cooling water. 2010
- [39] Mpelwa, M., & Tang, S.-F. State of the art of synthetic threshold scale inhibitors for mineral scaling in the petroleum industry: a review. Petroleum (2019).
- [40] <https://www.cap-recifal.com/articles.html/materiel/production-deau-osmos%C3%A9-r106/>
- [41] ERIKSSON, Peter. Nanofiltration extends the range of membrane filtration. Environmental Progress, 1988, vol. 7, no, p. 58-62.
- [42] <https://www.aquaportail.com/definition-14730-osmose-inverse.html/> JUIN 2022
- [43] Jean-Marc BERLAND et Catherine JUERY. DOCUMENT TECHNIQUE FNDAE. Office International de l'Eau SNIDE.
- [44] Présentation générale de la région de TFT. Diagnostic et réfection des réseaux d ' AEP et d 'assainissement de la nouvelle base de vie TFT.
- [45] Projet Pilote Traitement des eaux pour des applications dans : SWCTT, LSWF et Désulfatation, Le centre de recherche des technologies des semi-conducteur, 2021.
- [46] Rapport CRD rapport CTE/TCF/AUI/ N⁰02-2015/16.1004
- [47] AL-OBAIDI, Mudhar A., KARA-ZAÏTRI, Chakib, et MUJTABA, Iqbal M. Simultaneous removal of organic compounds from wastewater using reverse osmosis process: modelling,

simulation, and optimisation. In : *Computer Aided Chemical Engineering*. Elsevier, 2018. p. 1867-1872.

[48] Hai Quang Dang, William E. Price, Long Duc Nghiem, The effects of feed solution temperature on pore size and trace organic contaminant rejection by the nanofiltration membrane NF270, *Separation and Purification Technology*, Volume 125, 2014, Pages 43-51.