

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Kasdi Merbah Ouargla



**Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie des Procédés**

Mémoire

MASTER ACADIMIQUE

Domaine: Science et Technologie

Filière : Génie des Procédés

Spécialité: Génie des chimique

Présenté par :

MESKINE Ahmed El Mahdi

MOHCENE Mohamed Islam

Thème

**Traitement de l'eau de forage par osmose inverse au
niveau du complexe Cal Gaz Ouargla**

Soutenu publiquement le : 10/06/2024

Devant le jury composé de :

CHAIB Hadjira

M.C.B

Université Ouargla

Présidente

HADJI Warda

M.A.B

Université Ouargla

Examinatrice

MOKHBI yasmina

M.C.B

Université Ouargla

Promotrice

Année Universitaire: 2023/ 2024



Dédicaces

**Je remercie Dieu Tout-
Puissant pour son aide dans la
réalisation de cette humble
recherche que je dédie à mon
tour**

**Aux parents généreux qui
m'ont donné leur vie sans fin
et leur amour pour rien.**

**À Notre famille, parents, amis
et professeurs estimés**

Remerciement

**Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et
miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience
d'accomplir ce modeste travail.**

**En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur M^{lle}
MOKHBI Yasmina MCB, pour ses précieux conseils et aides
durant toute la période de notre travail**

**Nous exprimons aussi notre remerciement à tous les membres de
jury et tous les responsables, enseignants et membres du
département Génie des Procèdes.**

**Nos vifs remerciements s'adressent à l'ensemble du personnel de
l'entreprise Cal Gaz surtout les opérateurs de l'unité d'osmose
inverse et toute l'équipe de laboratoire des eaux à l'aide et
l'intérêt qu'ils ont apporté à notre travail.**

**Enfin nos remerciements s'adressent aussi à tous ceux qui ont
contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.**

MESKINE A. et MOHCENE M.

Sommaire

Titre	Page
Dédicaces	
Remerciements	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Abréviations utilisée	
Introduction générale	
Chapitre I Généralités sur l'eau	
I.1- Introduction	3
I.2-Definition de l'eau	3
I.3-Cycle de l'eau	3
I.4- Type de l'eau	4
I.5-Sources des eaux	4
I.5.1- Sources d'eau souterraine	5
I.5.2- Sources d'eau de surface	5
I.5.3- Sources d'eau de pluie	5
I.5.4- Sources d'eau thermique	5
I.6- Composition chimique	5
I.7- Paramètres d'évaluation de la qualité d'eau	6
I.7.1- Paramètres organoleptiques	6
I.7.2- Paramètres physico-chimiques	6
I.7.3- Paramètres microbiologiques	10
I.8- Dosage	10
I.9- Conclusion	10
Chapitre II Généralités sur l'osmose inverse	
II.1- Introduction	12
II.2- Osmose Inverse	12
II.3-Pression Osmotique	13
II.3-1- Expression de la pression Osmotique (Loi de Van't Hoff -)	14
II.4- Membranes d'osmose Inverse	14

II-4-1- Utilisation	14
II-4-1-1-Démonstration des membranes spirales	15
II-5- Types de filtration	16
II-6- Osmose inverse et Filtration (modules membranaires)	17
II-7-Procédés de prétraitement avant osmose inverse	18
II-7-1-Objectifs du prétraitement	19
II-7-2-Prétraitement physique	20
II-7-3-Prétraitement chimique	22
II-7-4-Prétraitement conventionnel	22
II-8-Limitation d'osmose inverse	23
II-8-1- Colmatage des membranes	23
II-8-1-1-Indices et modèles de prédiction du colmatage	23
II-9-Nettoyage des membranes d'osmose inverse	25
II-10-Conclusion	26

Chapitre III Méthodes et matérielles

III-1-Présentation de complexe Cal Gaz	28
III-1-1-Activité et mission de Cal Gaz	28
III-1-2-Situation géographique de l'usine de dessalement	29
III-2-Prélèvement des échantillons d'eau	30
III-3-Mesure des paramètres physico-chimiques	30
III-3-1-Méthodes électrochimiques	30
III-3-2-Méthodes titrimétriques	31
II-4-Conclusion	35

Chapitre IV Résultats et discussions

IV-1-Procédés de traitement de l'eau brute par osmose inverse (complexe Cal Gaz).	37
IV-2-Résultats du suivi des paramètres de qualité physico-chimiques	38
IV-2-1-Potentiel d'hydrogène (pH)	40
IV-2-2- Conductivité	40
IV-2-3-Titre hydrotimétrique total (TH)	41
IV-2-4-Titre alcalimétrique complet (TAC)	42
IV-2-5- Titre alcalimétrique (TA)	43
IV-3-Conclusion	44

Conclusion générale	45
Références Bibliographiques	46
Résumé	48

Liste des figures

Figure I.1 : Cycle de l'eau

Figure I.2 : Composition chimique de l'eau

Figure II.1 : Osmose naturelle

Figure II.2 : Osmose inverse

Figure II.3 : Pression osmotique

Figure II.4 : Schéma générale de traitement de l'eau par osmose inverse

Figure II.5 : Membrane spirale

Figure II.6 : Membrane du osmose inverse

Figure II.7 : Filtration frontale vs filtration tangentielle.

Figure II.8 : Filtre à sable

Figure II.9 : Filtre à cartouche

Figure II.10 : Principe du colmatage des membranes

Figure III.1 : Situation géographique de la complexe Cal Gaz.

Figure IV.1 : Osmose inverse a 2 étages

Figure IV.2 : Variation de pH des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

Figure IV.3 : Variation de la conductivité des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

Figure IV.4 : Variation des valeurs de TH total des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

Figure IV.5 : Evolution des valeurs de TAC des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

Liste des tableaux

Tableau II-1: Procédés mécanomembranaires et rétention des membranes vis-à-vis des différents types de soluté.

Tableau : IV-1-1 : Différents paramètres du traitement de l'eau par osmose inverse dans l'usine cal gaz

Tableau IV-2 : Caractéristiques physico-chimique de l'eau de forage (eau entrée)

Tableau IV-3 : Caractéristiques physico-chimique de l'eau de forage (eau sortie)

Abréviations

°F : Degré Français

Ce : Conductivité électrique

EDTA : sel tétra sodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique

FI : Fouling Index

MES : Matière En Suspension

MF : Microfiltration

N.E.T: Noir Eriochrome Toluène

NF : Nano filtration

OI : Osmose inverse

pH: potentiel d'hydrogène

SDI : Silt Density Index

TA : Titre alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique complet

TH : Titre hydrotimétrique totale

UF : Ultrafiltration

Introduction générale

L'évolution rapide de l'environnement urbain et industriel a engendré d'importants défis en matière de gestion de l'eau à l'échelle mondiale. La demande croissante en eau de qualité, combinée à une pression grandissante sur les ressources, nécessite des solutions novatrices pour garantir un approvisionnement en eau sûr et durable.

Les progrès technologiques dans le domaine de la gestion de l'eau, notamment les procédés membranaires comme l'osmose inverse, l'électrodialyse, la nanofiltration et la distillation, ont ouvert de nouvelles perspectives pour le traitement et la purification de l'eau. Ces avancées offrent des moyens efficaces de produire de l'eau potable à partir de sources non conventionnelles telles que l'eau de mer ou les eaux usées traitées.

L'osmose inverse est largement utilisée pour le dessalement de l'eau de mer afin de répondre aux besoins en eau potable dans les régions arides ou côtières. De même, la nanofiltration et d'autres techniques membranaires sont employées pour la réutilisation de l'eau dans les industries, ce qui contribue à réduire la pression exercée sur les ressources en eau douce.

Ces technologies jouent un rôle crucial dans la gestion durable de l'eau en permettant une utilisation plus efficace et responsable des ressources hydriques. Elles contribuent à répondre à la demande croissante en eau tout en minimisant l'impact environnemental associé à son traitement et à sa distribution. En investissant dans ces technologies innovantes, les pays peuvent renforcer leur résilience face aux défis liés à l'eau et garantir un approvisionnement en eau sûr pour les générations futures.

Le travail présenté dans ce mémoire s'articule sur deux parties principales : une partie théorique et une partie expérimentale. La première partie est consacrée à l'étude bibliographique, elle contient deux chapitres. Dans le premier nous décrivons des généralités sur l'eau, et dans le second nous présentons de façon générale le procédé de dessalement par osmose inverse. La deuxième partie est présentée dans le chapitre III, elle est relative à la partie expérimentale qui porte sur l'exploitation et l'interprétation des résultats. Une conclusion générale regroupe les principales conclusions de ce travail.

CHAPITRE I

Généralités sur l'eau

I- 1 Introduction

Les eaux sont des ressources vitales pour la vie sur Terre, jouant un rôle essentiel dans de nombreux processus naturels et activités humaines. Elles peuvent être classées en différentes catégories telles que les eaux de surface (rivières, lacs, océans) et les eaux souterraines (nappes phréatiques, aquifères). La qualité de l'eau est un aspect crucial à prendre en compte, car elle peut avoir un impact direct sur la santé humaine, la biodiversité et l'environnement. La surveillance et l'analyse de la qualité de l'eau sont donc des préoccupations majeures pour les autorités publiques, les organismes de protection de l'environnement et les scientifiques. Différents paramètres sont mesurés pour évaluer la qualité de l'eau, tels que la température, le pH, la turbidité, les ions nutritifs (phosphate, nitrate), les métaux lourds, les polluants organiques, etc.

I-2- L'eau

L'eau, appelée H_2O dans sa nomenclature chimique, est une solution aqueuse diluée. A l'état liquide, sa présence est nécessaire à la survie de la vie et de tous les organismes vivants connus. L'eau existe sous 3 formes : liquide, solide ou gazeuse. Cependant, elle est le plus souvent définie sous sa forme liquide car c'est la forme d'eau la plus répandue sur Terre. L'eau peut être facilement observée sous forme liquide sur Terre, où l'eau couvre 71 % de la surface terrestre avec 97 % d'eau salée et 3 % d'eau douce provenant de divers réservoirs. À l'état liquide, on le trouve dans les océans, les lacs, les rivières ou les ruisseaux [1].

I-3- Cycle de l'eau

L'eau circule sur Terre sous différentes formes : nuages, pluie, rivières et océans. Il se déplace de la mer à l'air, de l'air à la terre, puis de la terre à la mer, dans un cycle qui se répète à l'infini. Dans un même bassin, tous les milieux aquatiques (lacs, rivières, mers, nappes phréatiques, etc.) sont interconnectés durant ce cycle. Le cycle de l'eau, ou cycle hydrologique, correspond à tous les transferts d'eau (liquide, solide ou gazeuse) entre les réservoirs d'eau de la Terre (océans, atmosphère, lacs, rivières), l'eau, les nappes phréatiques et les glaciers. Le « moteur » de ce cycle est l'énergie solaire qui, en favorisant l'évaporation de l'eau, entraîne tous les autres échanges [2]. La figure I-1 présente le cycle de l'eau.

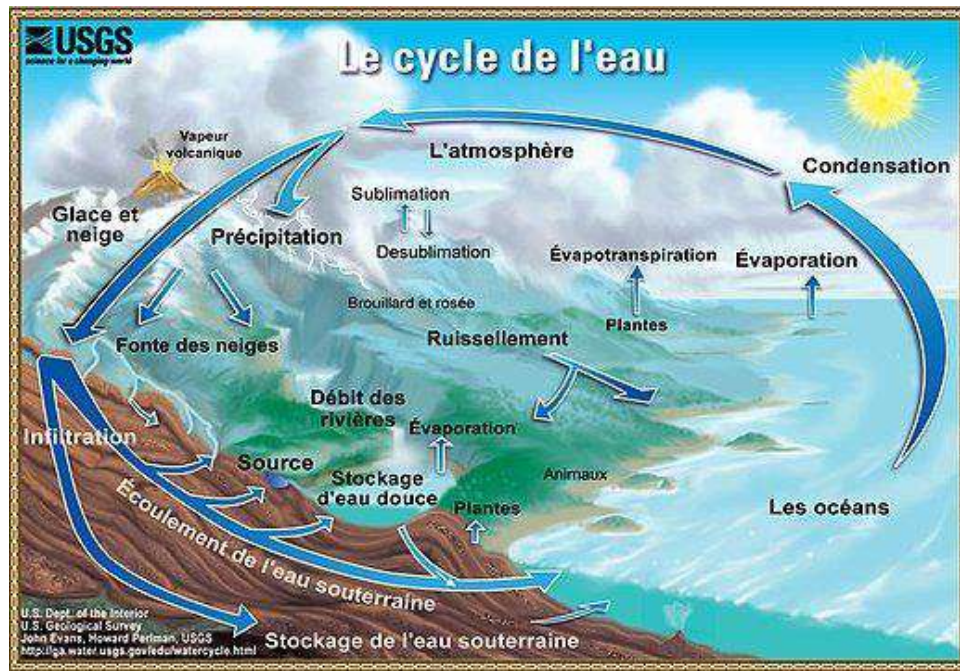


Figure I-1 : Cycle de l'eau

La science qui étudie le cycle de l'eau est l'hydrologie. Elle peut être divisée en hydrogéologie, hydrologie de surface, hydraulique urbaine, etc.

I-4- Types de l'eau

Il existe plusieurs types d'eau en fonction de leur composition et de leur origine. Voici quelques exemples :

- Eau minérale : il s'agit d'une eau naturelle provenant de sources souterraines qui contient des minéraux dissous. Elle est généralement commercialisée pour ses propriétés thérapeutiques et sa pureté.
- Eau de source : similaire à l'eau minérale, l'eau de source provient également de sources souterraines, mais elle peut avoir une composition en minéraux moins réglementée.
- Eau potable : c'est de l'eau traitée pour être consommée par les humains. Elle peut provenir de différentes sources (eau de surface, eau souterraine) et subir divers traitements pour garantir sa qualité.
- Eau distillée : une eau purifiée par distillation, c'est-à-dire en chauffant l'eau pour la transformer en vapeur puis en la refroidissant pour la récupérer sous forme liquide. Cela permet d'éliminer la plupart des impuretés et des minéraux [3].

I-5- Sources des eaux

Voici quelques sources d'eau couramment citées dans la littérature scientifique :

I-5-1- Sources d'eau souterraine

Ces sources sont généralement situées dans des aquifères souterrains et sont souvent utilisées comme sources d'eau potable. Elles peuvent être alimentées par des précipitations qui s'infiltrant dans le sol et se rechargent lentement au fil du temps.

I-5-2- Sources d'eau de surface

Ces sources comprennent les rivières, les lacs, les étangs et les réservoirs. Elles sont souvent alimentées par des précipitations directes ainsi que par le ruissellement des eaux de pluie et la fonte des neiges [4].

I-5-3- Sources d'eau de pluie

Ces sources sont formées par la condensation de l'humidité atmosphérique qui retombe sous forme de précipitations. Elles peuvent être collectées à des fins domestiques ou agricoles, notamment dans les zones où l'accès à l'eau potable est limité [4].

I-5-4- Sources d'eau thermique

Ces sources sont caractérisées par des températures élevées et sont souvent associées à des zones géothermiques. Elles sont utilisées à des fins récréatives, thermales ou médicales en raison de leurs propriétés curatives présumées [4].

I-6- Composition chimique

La composition chimique de l'eau varie énormément d'une région à l'autre et pour une même région d'une saison à l'autre. Ces variations chimiques dépendent de plusieurs paramètres comme la solubilité des sels constituant l'écorce terrestre (CaCO_3 , CaSO_4 , MgCO_3 , NaCl) ainsi la composition physique des roches.

La composition chimique de l'eau est généralement représentée par la formule H_2O , ce qui signifie qu'une molécule d'eau est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène [5].

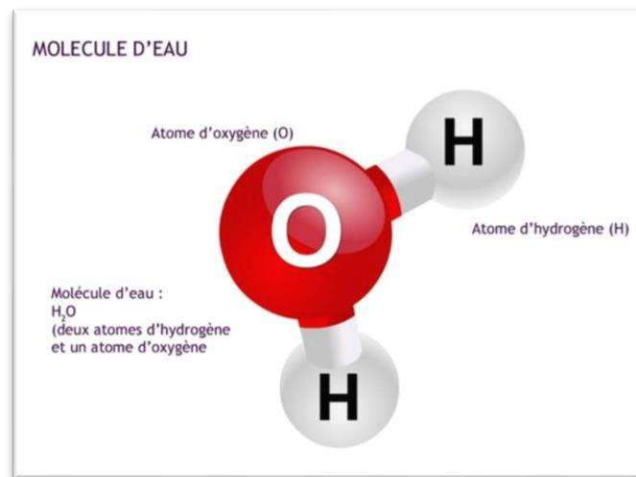


Figure I-2 : Composition chimique de l'eau

I-7- paramètres d'évaluation de la qualité d'eau

I-7-1- Paramètres organoleptiques

Ces paramètres sont généralement effectués sur le site de prélèvement, ils sont perceptibles immédiatement, ils concernent l'odeur et la couleur de l'eau [6].

• Couleur

La coloration d'une eau est due aux substances dissoutes et/ou aux substances en suspension, ces substances sont le plus souvent d'origine naturelle « végétal et minéral », Elle varie pour les eaux naturelles de jaune pale au brun rougeâtre selon la nature et la concentration de la matière colorantes.

• l'odeur

L'odeur est l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles, En effet, leur présence dans l'eau est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition comme les alcools, le dioxyde de soufre, le chlore.

• Goût et saveur

C'est l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçues lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche ; on distingue des saveurs : acide ; amère ; sucrée ; salée, quant au gout on rencontre des goûts : métallique, chloré, de terre,... etc.

I-7-2- Paramètres physico-chimiques

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques ;

- **Potentiel d'Hydrogène (pH)**

Par définition, le pH est égal au cologarithme de l'activité des protons.

$$PH = - \log (H_3O^+)$$

Le pH de l'eau conditionne les équilibres physico-chimiques, en particulier l'équilibre calco - carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt). Le pH de l'eau est acide s'il est inférieur à 8.3 (eaux des aquifères sableux ou granitique), il est alcalin pour des valeurs supérieures à 8.3 (calcaires).

Dans les eaux naturelles, le pH est principalement déterminé par la concentration en dioxyde de carbone dissous (CO_2 , H_2O).

- **Température**

La température influe directement sur les réactions chimiques, et particulièrement la dissolution des gaz et des sels dans l'eau, cette solubilité diminue quand la température augmente. Elle est étroitement liée au pH et à la conductivité électrique.

- **Conductivité**

La conductivité est une grandeur qui permet d'évaluer rapidement la concentration en ions d'une solution, en effet toute espèce solvate chargée est susceptible de transporter du courant électrique au sein d'une solution, elle est exprimée généralement en micro siemens par centimètre ($\mu S/cm$) à 20 °C.

La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu S/cm$.

- **Salinité totale**

La salinité totale est la somme de toutes les concentrations des substances minérales dissoutes dans l'eau. Il existe de nombreuses sources de minéralisation (sédiments de roches, argiles, sables,...). La notion de salinité est importante particulièrement pour les eaux de mer et certaines eaux industrielles, en effet elle permet de procéder à un choix optimal du traitement d'ionisation.

- **Dureté**

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins et du proton. Elle est souvent due aux ions calcium et magnésium. La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. On distingue ;

La dureté totale ou titre hydrotimétrique « TH » qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne ;

La dureté calcique qui correspond à la teneur globale en sels de calcium ;

La dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium.

- **Alcalinité**

L'alcalinité d'une eau est essentiellement due à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes.

Le titre alcalimétrique T.A. d'une eau correspond à la somme des concentrations des ions carbonates (CO_3^{2-}) et des ions hydroxydes (OH^-).

$$\text{T.A.} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \text{ (premier point équivalent).}$$

Le titre alcalimétrique complet T.A.C rend compte de la concentration d'une eau en ions carbonate CO_3^{2-} et en ions hydrogénocarbonate HCO_3^- .

$$\text{T.A.C.} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \text{ (deuxième point équivalent).}$$

- **Teneur en chlorures**

Les chlorures sont toujours présents dans l'eau, mais en proportion variable. Leur concentration est de l'ordre de quelques mg.l^{-1} dans les eaux naturelles de surface alors qu'elle est de l'ordre de 20 g.l^{-1} (Cl^-) dans les eaux marines.

Ainsi les eaux provenant des régions sédimentaires sont très riches en chlorures par rapport aux régions granitiques. Par ailleurs, le taux de chlorure augmente avec le degré de minéralisation d'une eau.

La concentration maximale des chlorures dans l'eau potable ne doit pas dépasser 250 mg/l .

- **Teneur en manganèse**

Le manganèse est présent dans la plus part des sols et sédiments, il existe aussi dans les roches métamorphiques. Le minerai le plus abondant est la pyrolusite MnO_2 , utilisé dans les process industriels des filtres à sables.

Dans une eau sans oxygène, il est rapidement dissous sous forme de sels manganeux (Mn^{+2}) et peut se trouver dans les eaux de puits profonds à une concentration aussi élevée que 2 à 3 mg/l . La concentration limite en manganèse pour une eau potable est $0,005 \text{ mg/l}$.

- **Teneur en silice**

La silice peut exister dans les eaux sous deux états différents : soluble et colloïdal. La silice soluble dans les eaux naturelles est majoritairement sous forme de hydroxyde de silicium Si(OH)_4 , elle tend à se polymériser et à donner des colloïdes. Les silicates sont peu solubles dans l'eau et se présentent à des pH élevés, supérieurs à 10. Leur teneur dans l'eau varie de 1 à 50 mg/l .

- **Teneur en fer**

Le fer peut se rencontrer dans l'eau sous différentes formes. Pour un pH variant entre 4,5 et 9, le fer soluble présent est généralement à l'état ferreux (eaux souterraines). En absence de complexe, le fer ferrique n'est soluble d'une façon significative qu'à des pH inférieurs à 3. Pratiquement, les eaux superficielles n'en contiennent que très peu, rarement plus de 1 mg/l. En effet, sous l'action de l'air, ou par addition d'un oxydant, le fer est oxydé à l'état ferrique et peut être hydrolysé pour donner un hydroxyde de fer insoluble. Ainsi il se trouve à l'état colloïdal, plus au moins combiné à la matière organique, sous forme de complexe organique ou minéral ou sous forme de particules en suspension.

- **Teneur en chlore**

La chloration par le chlore est le procédé de désinfection le plus répandu pour le traitement de l'eau car il sert à la destruction des microorganismes et réagit avec des molécules organiques afin de les dégrader. Le chlore (Cl_2) et les produits chlorés (hypochlorite de sodium ou eau de javel, hypochlorite de calcium) se dissocient immédiatement dans l'eau, en ;

- acide hypochloreux HOCl ;

- ion hypochlorite ClO^- .

C'est essentiellement l'acide hypochloreux qui est le composé le plus actif dans les mécanismes de désinfection, la dissolution dans l'eau du chlore gazeux conduit à sa dismutation en acide hypochloreux (HOCl), ion chlorure (Cl^-) et proton (H^+), selon l'équilibre:



Ainsi, la dissolution de l'hypochlorite de sodium dans l'eau est comme suit :



L'acide hypochloreux est un acide faible qui se dissocie dans l'eau suivant l'équilibre :



La proportion des deux composés (HClO et ClO^-) dépend essentiellement de la valeur du pH de l'eau, pour des pH inférieur à 4, la forme gazeuse est la seule présente, alors qu'à pH compris entre 4 et 6, le chlore est presque entièrement sous forme d'acide hypochloreux. Pour des pH compris entre 6 et 9, le pourcentage d'acide hypochloreux diminue rapidement au profit de l'ion hypochlorite, qui demeure la seule entité présente au-delà de pH 10.

- **Teneur en matières en suspension (MES)**

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les matières organiques et minérales de faible dimension, micro- organismes de l'eau. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière. Les matières en suspensions sont exprimées en mg/L.

I-7-3- Paramètres microbiologiques

Les eaux industrielles qu'elles soient utilisées pour la préparation ou l'entretien (lavage) doivent répondre à des critères bactériologiques précis, car elles peuvent véhiculer des germes dangereux pour la santé en provoquant des maladies fatales comme la typhoïde et le choléra considérées comme des maladies à transmission hydrique. Et généralement les microorganismes les plus recherchés sont :

- Flore totale
- Coliformes
- Clostridium sulfite-réducteurs
- Streptocoques D. [7]

I-8-Dosage

-Dosage du sodium et potassium

-Dosage des ions SO_4^{2-}

-Dosage des ions PO_4^{3-} et NO_3^-

I-9-Conclusion

Les eaux jouent un rôle crucial dans de nombreux processus naturels et activités humaines, étant des ressources essentielles pour la vie sur Terre. Les eaux de surface (rivières, lacs, océans) et les eaux souterraines (nappes phréatiques, aquifères) sont des catégories spécifiques. Il est essentiel de prendre en considération la qualité de l'eau, car elle peut influencer directement la santé humaine, la biodiversité et l'environnement. Les autorités publiques, les organismes de protection de l'environnement et les scientifiques sont donc très préoccupés par la surveillance et l'analyse de la qualité de l'eau.

CHAPITRE 2

Généralités sur l'osmose inverse

II-1-Introduction

L'osmose inverse est une méthode de purification de l'eau qui utilise des principes physiques et chimiques essentiels afin de purger l'eau brute des contaminants, des impuretés et des sels dissous. Dans cette approche, une membrane semi-perméable est utilisée pour permettre le passage sélectif des molécules d'eau tout en retenant les particules non désirées. Une pression externe est appliquée à la solution à traiter, ce qui oblige l'eau à traverser la membrane, laissant les contaminants et les impuretés bloqués de l'autre côté.

Cette technologie est largement utilisée dans diverses applications de traitement de l'eau, notamment la production d'eau potable à partir d'eau de mer, d'eau saumâtre, d'eaux souterraines contaminées et d'eaux de surface. Elle est également utilisée dans l'industrie pour le traitement des eaux usées, le recyclage des eaux industrielles, la production d'eau pour l'industrie pharmaceutique et électronique, et d'autres applications spécialisées.

II-2- Osmose Inverse

Afin de déterminer l'osmose inverse, il est nécessaire de débiter par expliquer le processus d'osmose naturelle. L'osmose peut être simplifiée de la manière suivante : lorsque une solution très concentrée, c'est-à-dire contenant de nombreux éléments dissous ou en suspension, et une solution fortement diluée, c'est-à-dire contenant très peu d'éléments dissous ou en suspension, sont séparées par une membrane semi-perméable, qui ne permet pas de passer les éléments dissous et/ou en suspension, l'osmose naturelle permet d'équilibrer les deux solutions en diluant la solution concentrée en passant la solution diluée à travers la membrane semi-perméable. La figure (II-1) présente le processus d'Osmose naturelle.

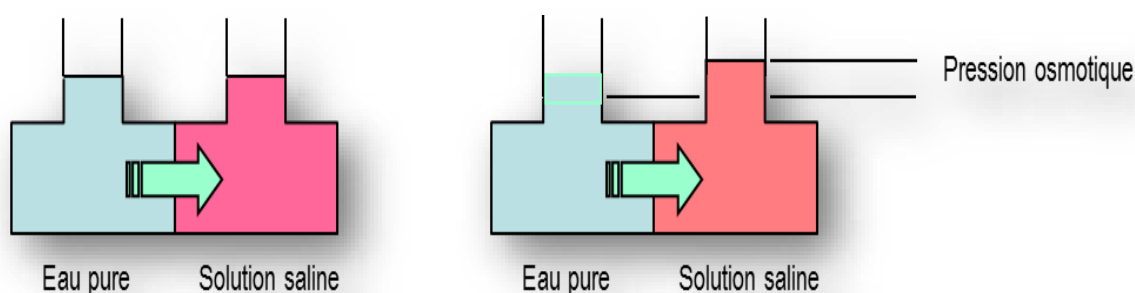


Figure II-1 : Osmose naturelle.

Il est théoriquement possible d'atteindre cet équilibre lorsque les concentrations des deux solutions initialement diluées et concentrées sont devenues équivalentes. Cette dilution de la

solution la plus concentrée entraîne une variation de pression entre l'état initial et l'état final, appelée pression osmotique. En utilisant une pression plus élevée que la pression osmotique, on peut inverser le processus et entraîner le passage de la solution concentrée vers la solution diluée, ce qui empêche la propagation des éléments indésirables et permet une purification de la solution concentrée [10].

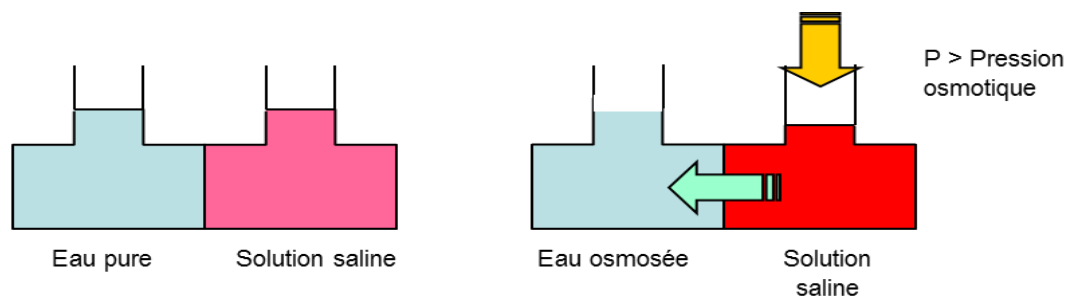


Figure II - 2 : Osmose inverse

II-3-Pression Osmotique

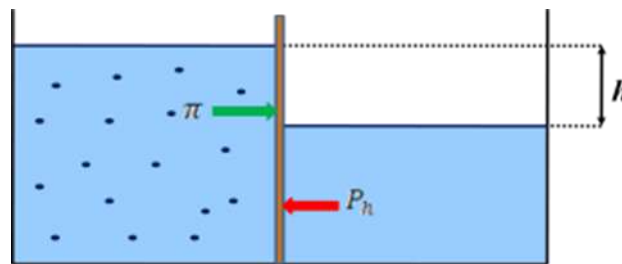


Figure II ,3: la pression osmotique.

On remarque que le solvant passe dans la solution et provoque une pression hydrostatique P_h définie par ' $P_h = \rho gh$ '. Et lorsqu'elle sera suffisante, arrêtera le flux de solvant. Donc la pression hydrostatique est égale à la pression osmotique ; Donc la pression osmotique est, de manière définitive, la force nécessaire pour apporter une solution à un état d'équilibre (= absence de flux net) avec le solvant. De manière différente, la pression osmotique est aussi définie comme la pression minimale nécessaire pour empêcher le passage d'un solvant d'une solution moins concentrée à une solution plus concentrée à travers une membrane semi-perméable. [10]

II-3-1- Expression de la pression Osmotique (Loi de Van't Hoff)

Calcul de la pression osmotique en unités internationale : **Pascal (Pa)**

$$\pi = R.T.\omega \dots\dots\dots \text{Équation II,1}$$

π : Pression osmotique en pascal. (1 atm = 101,3 kPa = 760 mmHg)

R = 8,314 (UI)

T : en Kelvin (0 K = -273,15°C)

ω : Osmolarité (osmol/m³)

V : L'unité internationale de volume est le m³, et non le litre.

II-4-Membranes D'osmose Inverse

Ces membranes se présentent sous la forme de deux couches superposées : une couche poreuse (structure de résistance) d'environ 500 um d'épaisseur et une peau – la membrane proprement dite – de 0,1 à 0,5 um d'épaisseur.

Les matériaux utilisés pour les fabriquer peuvent être l'acétate de cellulose, le polyamide (il existe plusieurs types de poly- mères caractérisés par une liaison amide –CONH– dans la chaîne), le polysulfone (il s'agit de polymères caractérisés par un groupement –SO₂– relié à deux noyaux benzéniques), ou encore des composites de deux couches de polymères (une de polyamide, une de polysulfone) [2-3]. Chaque matériau présente des avantages et des inconvénients (tenue à la pression, tenue à la température, résistance mécanique, sensibilité au chlore, sensibilité au pH, sélectivité...) et un compromis judicieux s'impose entre tous ces paramètres.

II-4-1-Utilisation

Les membranes d'osmose inverse sont utilisées sous forme de modules plans, tubulaires, à fibres creuses ou spiralés et les modules, placés en série ou en parallèle s'insèrent dans le procédé de production comme indiqué sur la figure 4. Dans la majorité des cas, ces modules sont utilisés en filtration tangentielle (le flux de l'eau à traiter circule parallèlement à la membrane, le filtrat ou perméat la traversant perpendiculairement) pour minimiser l'accumulation de sels sur la membrane qui entraîne un colmatage rapide [11].

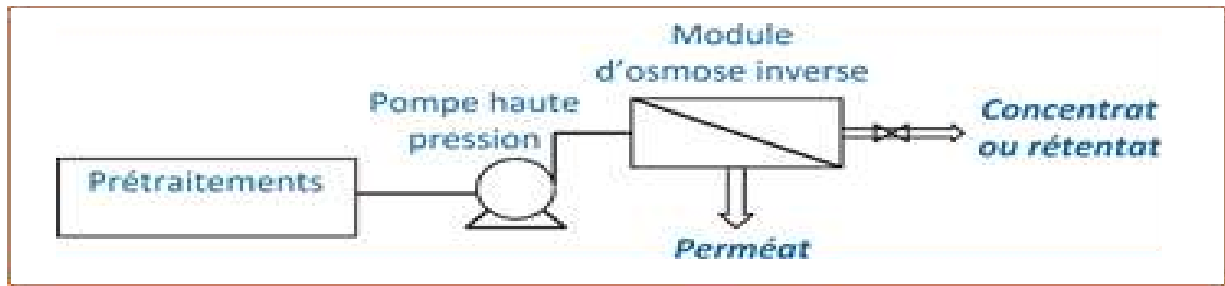
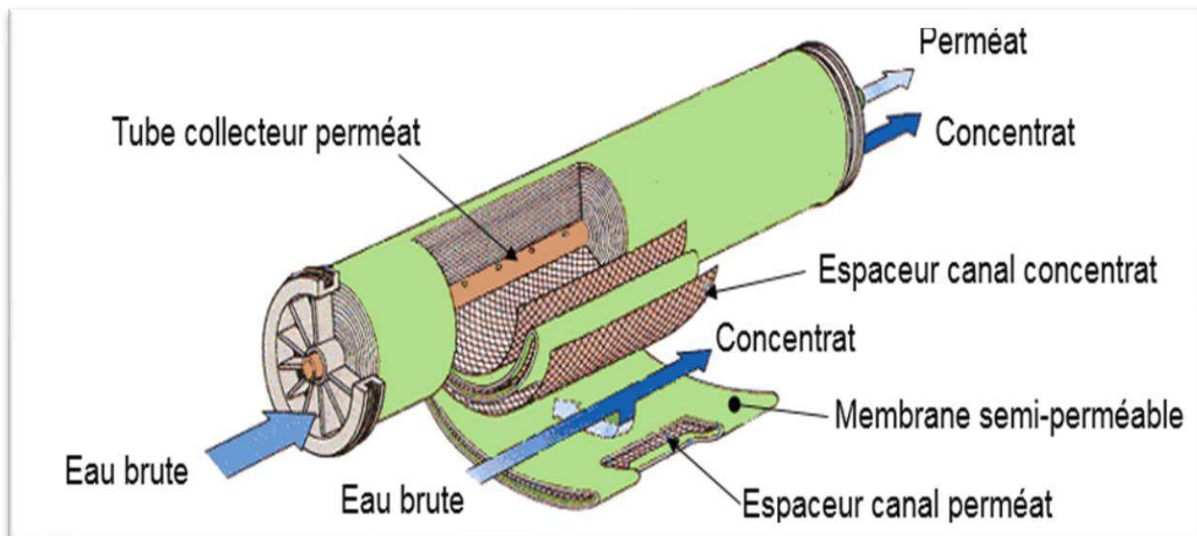


Figure II-4 : Schéma générale de traitement de l'eau par osmose inverse

II-4-1-1-Démonstration des membranes spirales

Les membranes en spirale sont constituées de deux couches de membranes. Ces membranes sont enroulées autour d'un drain central permettant de récupérer le perméat (voir le dessin ci-dessous). De ce fait la densité de l'ensemble est plus élevée.

Les membranes spirales sont uniquement utilisées pour les applications de nanofiltration et d'osmose inverse, les membranes spirales sont montées dans des tubes de pression.



FigureII.5 : Membrane spirale

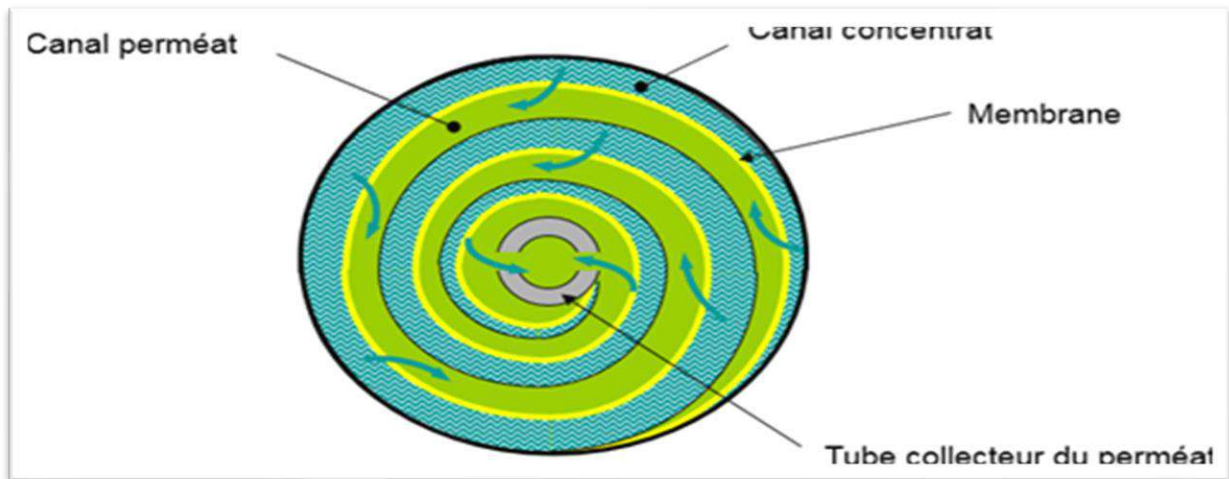


Figure II-6 : Membrane du osmose inverse

II-5- Types de filtration

La filtration peut s'opérer en mode frontal ou en mode tangentiel :

- Dans le mode frontal, l'ensemble du volume est filtré et passe à travers la membrane. Le colmatage est donc de plus en plus important. Au niveau industriel cela requiert de travailler en alternant des séquences de filtration et des séquences de dé colmatage (par rétro lavage, par circulation de bulles).
- Dans le mode tangentiel, une partie seulement de ce qui rentre (alimentation) dans le module membranaire est filtré (perméat) et la partie retenue par la membrane est renvoyée dans le réservoir d'alimentation (retentât). Cela permet d'assurer un balayage tangentiel de la membrane et donc de limiter le colmatage. Le procédé peut alors fonctionner en continu. [12]

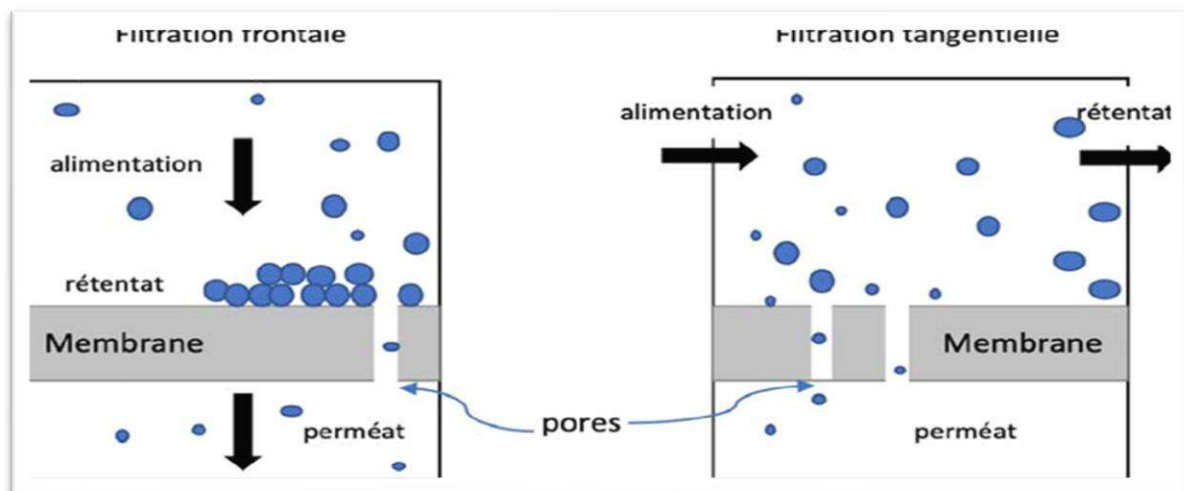


Figure II- 7 : Filtration frontale vs filtration tangentielle.

II-6- Osmose inverse et filtration (Modules membranaires)

En prenant en considération son objectif, l'osmose inverse peut être considérée comme un cas spécifique, extrême, de filtration. On peut en effet classer toutes ces techniques, parfois appelées mécanomembranaires pour les différencier de celles électromembranaire, qui reposent sur un transport induit par une force électrique, en quatre domaines (Tableau N°1). La taille des espèces sélectionnées par le filtre, leur masse molaire M , leur rayon du pore R pores et le gradient de pression (Δp) requis pour les opérations courantes sont utilisés pour effectuer ce découpage. [13]

Tableau II-1: Procédés mécano membranaires et rétention des membranes vis-à-vis des différents types de soluté.

Procédé	Type de membrane	Force motrice	Mécanisme et séparation	Régime de transport	Domaine d'application
Microfiltration	Symétrique microporeuse $R_{\text{pores}} = 0,1 \text{ à } 10 \mu\text{m}$	Différence de pression 0,1 à 2 bar	Tamisage dû aux pores et adsorption (Effet tamis)	Macropores	Stérilisation Filtration Clarification $M > 10^6 \text{ g/mol}$
Ultrafiltration	Asymétrique microporeuse $100 < R_{\text{pores}} < 10^3 \text{ Å}$	Différence de pression 1 à 5 bars	Tamisage et capillarité Convection $J = L \cdot \Delta P$ (Effet tamis)	Mésopores	Filtration des macromolécules $10^6 > M > 10^3 \text{ g/mol}$
Nanofiltration	Asymétrique ou composite $R_{\text{pores}} = 10 \text{ à } 20 \text{ Å}$	Différence de pression 5 à 30 bars	Convectif diffusionnel $J = A(\Delta P - \sigma \Delta \pi)$ (Effet tamis + effet Donnan)	Micropores	Désaliénation partielle de l'eau Séparation de molécules $200 > M > 100 \text{ g/mol}$
Osmose inverse	Membrane à peau superficielle asymétrique (dense) Absence de pores	Différence de pression 20 à 100 bars	Solubilisation diffusion $J = A(\Delta P - \Delta \pi)$	Moléculaire	Filtration des sels micro solutés $M < 100 \text{ g/mol}$

II-7-Procédés de prétraitement avant osmose inverse

Il est impératif de maîtriser la qualité d'eau d'alimentation d'une unité d'osmose inverse.

La priorité sera d'effectuer une analyse de l'eau brute d'alimentation et de connaître ces variations.

Les analyses à effectuer :

- Physicochimique pour déterminer les sels minéraux présents, les métaux, les gaz dissous et éventuellement les hydrocarbures. (Si suspicion au départ)
- Bactériologique pour déceler la présence éventuelle de microorganismes qui pourraient développer des biofilms sur les membranes.

Le prétraitement et la configuration de l'unité d'osmose dépendront de la qualité d'eau brute et de la qualité d'eau osmosée à produire.

II-7-1-Objectifs du prétraitement

La concentration des sels peut entraîner leur précipitation et par conséquent un encrassement des membranes. Un traitement physique ou chimique pourra être mis en œuvre pour éviter cette précipitation. Le rendement de production sera adapté pour respecter la limite de concentration acceptable après traitement [10].

Exemple de traitement : Adoucissement, injection d'acide, antiscalant.

- Les polluants chimiques tels que le chlore ou le fer seront éliminés par un traitement physique ou chimique. La teneur en chlore maximum à l'entrée d'un osmoseur ne dépassera pas 0,1 mg/l voir un taux plus bas suivant les membranes. Certains fabricants demandent un potentiel redox inférieur à 300 mV. La teneur en fer ne devra pas dépasser 0,1 mg/l.

Exemple de traitement : Oxydation + filtration, déchloration chimique, filtres à charbon actif.

- Les gaz dissous présent dans l'eau brute peuvent entraîner des réactions chimiques secondaires en fonction de l'évolution de la concentration en sels ou du PH. (Concentration) Ils peuvent aussi en traversant la membrane polluer le perméat produit. Si nécessaire, ils seront éliminer par des procédés physiques ou chimiques avant osmose inverse.

Exemple de traitement : Injection de soude, membranes dégazantes ou dégazeur, oxydation ou réduction.

- Eliminer la matière organique et les MES contenues dans l'eau pour protéger les membranes.

La matière organique et les matières en suspension présente dans l'eau peut se déposer dans les membranes par phénomène de concentration. Des procédés chimiques et/ou physique seront combinés pour éliminer ces MO et MES avant osmose inverse.

Exemple de traitement : Oxydation, filtres à sable, Ultrafiltration, filtres à charbon actif, filtres à cartouches

- Éliminer les microorganismes pour éviter la formation de biofilms dans les membranes.

La surface membranaire est très élevée (350 à 440 ft²). Les membranes peuvent servir de support de développement de microorganismes, notamment pendant les phases d'arrêt de production. En cas de présence importante dans l'eau brute, un traitement chimique ou physique sera effectué pour les éliminer. Des rinçages réguliers de l'osmoseur permettront de limiter le développement lors des phases d'arrêt de production. Pour tout arrêt prolongé sans possibilité de rinçage ou de production, les membranes seront mises en conservation par injection d'un réactif chimique spécifique.

Exemple de traitement : Stérilisateur Uvc, chloration + déchloration.

II-7-2-Prétraitement physique

- **Filtre à sable**

Passage de l'eau sur un lit de sable .Rétention des matières dans la charge de sable. Finesse de filtration fonction de la vitesse de passage et de la granulométrie du sable de filtration. (Plus le sable de filtration a une granulométrie faible, plus le seuil de filtration sera bas.)

Augmentation de la capacité de filtration par utilisation d'une couche d'hydro anthracite. Densité plus faible que celle du sable, granulométrie plus importante que celle du sable. Filtration en profondeur dans la charge de filtration. Rétention des MES de grosses tailles dans l'hydro anthracite et des plus petites dans le sable [10].

Séquences de lavage : Vidange partielle / Brassage air / Contre courant eau / Rinçage.

Ou : Vidange partielle / Contre courant eau + air / Contre-courant eau / Rinçage



Figure II-8: Filtre à sable

- **Filtre à cartouche**

L'eau est filtrée par passage à travers des cartouches de filtration. Les matières en suspension sont retenues dans les cartouches de filtration. Les matériaux de fabrication des cartouches et leur conception détermineront la capacité de filtration des cartouches (bobinées, plissées, absorbantes...) Une fois encrassées les cartouches doivent être remplacées.

Surveillance de l'encrassement par mesure de pression entrée/sortie.

La construction du carter de filtration sera déterminée en fonction de la nature chimique de l'eau à traiter et la pression de fonctionnement.

Ces filtres sont utilisés en protection devant les unités d'osmose inverse. Le seuil de filtration sera de 5μ au minimum voir de 1μ . (Nominal)



Figure II-9 : Filtre à cartouche

II-7-3-Prétraitement chimique

L'objectif principal des prétraitements chimiques est d'éviter un encrassement des membranes par la précipitation des sels minéraux.

Une injection d'acide permettra de baisser le pH de l'eau et par conséquent d'augmenter la solubilité de certains sels minéraux comme les carbonates de calcium.

Une injection d'un antiscalant permettra de concentrer un sel au-delà de sa limite de solubilité sans précipitation. Le type d'antiscalant sera déterminé en fonction des sels minéraux présents dans l'eau, de leur concentration et de la capacité de production de l'unité d'osmose. Les antiscalants sont des produits instables qui se dégradent avec le temps et perdent de leur efficacité. Le type de molécule utilisée sera déterminant dans la stabilité de fonctionnement de l'osmoseur tant au niveau de la qualité d'eau produite que du débit de production [10].

II-7-4-Prétraitement conventionnel

Le prétraitement conventionnel est une étape essentielle dans le processus de traitement de l'eau avant l'osmose inverse. Cette méthode utilise une combinaison de techniques physiques, chimiques et biologiques pour éliminer les impuretés et les contaminants de l'eau brute. Voici quelques-unes des techniques de prétraitement conventionnelles couramment utilisées :

- Coagulation-floculation : Ajoute des produits chimiques coagulants tels que le sulfate d'aluminium ou le chlorure ferrique à l'eau brute pour agglomérer les particules en suspension en floccs plus gros, facilitant ainsi leur élimination par décantation ou filtration.
- Décantation : Permet aux floccs formés lors de la coagulation-floculation de se déposer au fond d'un bassin de décantation, où ils peuvent être retirés de l'eau clarifiée.
- Désinfection : Utilise des agents désinfectants tels que le chlore, le dioxyde de chlore ou l'ozone pour tuer les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau brute, assurant ainsi sa sécurité microbiologique.
- Ajustement du pH : Contrôle et ajuste le pH de l'eau brute pour optimiser l'efficacité des étapes de coagulation-floculation et de désinfection.

En combinant ces différentes techniques de prétraitement, le prétraitement conventionnel vise à éliminer efficacement les impuretés, les particules en suspension, les matières organiques et les micro-organismes de l'eau brute, préparant ainsi l'eau à passer à l'étape suivante du traitement par osmose inverse. [10]

II-8-Limitation d'osmose inverse

L'osmose inverse (OI) présente plusieurs limitations et l'un des problèmes majeurs rencontrés est le colmatage des membranes .

II-8-1- Colmatage des membranes

Le colmatage ou contamination de la membrane, se produit lorsque des solides en suspension ou dissous s'accumulent sur la surface de la membrane externe (généralisant un gâteau) ou sur / dans les pores (obturation ou blocage des pores). Le colmatage entraîne une plus grande utilisation d'énergie pour pousser le fluide, une réduction du flux de perméat au fil du temps, une fréquence de nettoyage plus élevée et une durée de vie plus courte de la membrane (durée de vie moyenne de la membrane de trois à six ans)

Le colmatage peut être contrôlé avant qu'il ne se produit. Alternativement, les membranes peuvent être nettoyées après le colmatage. Plusieurs méthodes de contrôle, telles que le prétraitement de l'alimentation, le choix du matériau et la modification de la surface de la membrane peuvent être appliquées. Les méthodes de nettoyage peuvent être classées en plusieurs techniques: méthodes de nettoyage chimique, mécanique, hydrodynamique [14].

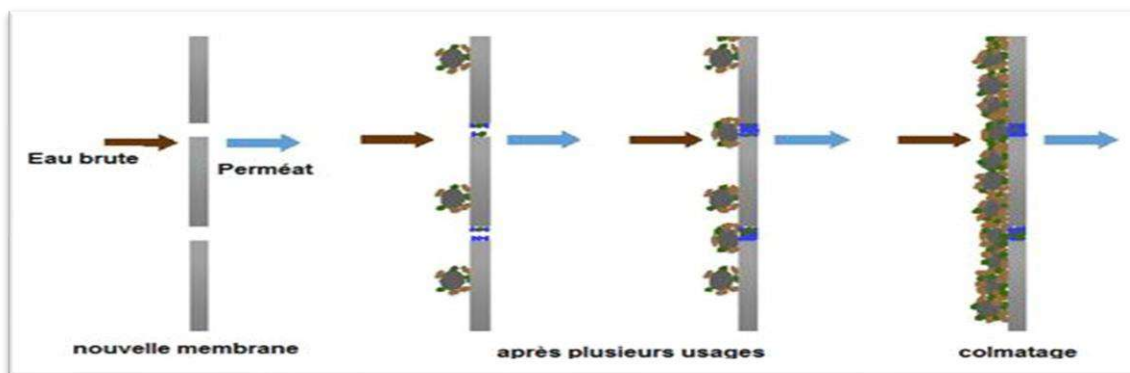


Figure II- 10: Principe du colmatage des membranes

II-8-1-1-Indices et modèles de prédiction du colmatage

Différents indices de colmatage sont utilisés pour caractériser et prédire le pouvoir colmatant d'une eau. Les indices le plus souvent utilisés sont le Silt Density Index (SDI) ou le Fouling Index (FI) ; Le Silt Density Index (SDI) est un indice utilisé pour évaluer la tendance au colmatage des membranes en osmose inverse. Il mesure la quantité de particules en suspension dans l'eau brute qui peuvent potentiellement obstruer les pores des membranes. Voici comment le SDI est généralement calculé :

- Préparation de l'échantillon : Un échantillon d'eau brute est prélevé et filtré à travers une membrane spécifique à une pression constante pendant une période de temps définie.
- Mesure de la perte de pression : La perte de pression à travers la membrane est mesurée pendant le processus de filtration. Cette perte de pression est causée par l'accumulation de particules en suspension sur la surface de la membrane.
- Calcul du SDI : Le SDI est calculé en divisant la perte de pression mesurée par la durée de filtration, généralement exprimée en psi/minute ou kPa/minute.

Un SDI élevé indique une concentration élevée de particules en suspension dans l'eau brute, ce qui suggère un risque plus élevé de colmatage des membranes. En revanche, un SDI plus faible indique une eau brute moins susceptible de causer des problèmes de colmatage. [15]

L'équation de SdI est :

$$SDI = \frac{\left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right) \times 100}{t}$$

Équation II-2

Avec :

SDI Silt Densité Index (% min⁻¹)

t₁ temps initial pour filtrer un échantillon de 500 ml (sec) t temps après le départ de la mesure (min)

t₂ temps pour filtrer un échantillon de 500 ml après le temps t (sec)

t : temps total (t₁ + t₂)

Le fouling index est un autre indice utilisé pour évaluer le colmatage des membranes en osmose inverse. Il mesure la quantité de dépôt ou d'encrassement sur les membranes, ce qui peut réduire leur efficacité de filtration.

Il existe plusieurs méthodes pour calculer le fouling index, et chacune peut être adaptée en fonction des caractéristiques spécifiques du système de traitement de l'eau. Une approche courante consiste à comparer les mesures de la perte de flux (flux rate decline) ou de la perte de perméabilité (permeability decline) des membranes avant et après une période de fonctionnement.

Une formule simplifiée pour calculer le fouling index peut être :

Fouling Index=perte de flux avec certain temps*100/flux initiale.

Cette formule donne un pourcentage représentant la réduction du flux à travers les membranes due au colmatage. Un fouling index élevé indique un colmatage important et peut nécessiter des mesures correctives telles que le nettoyage des membranes ou l'ajustement des conditions opérationnelles.

II-9-Nettoyage des membranes d'osmose inverse

Le nettoyage des membranes d'osmose inverse est une procédure essentielle pour garantir leur bon fonctionnement et prolonger leur durée de vie. Ce processus commence par l'arrêt du système d'osmose inverse et la fermeture des vannes appropriées pour assurer la sécurité pendant le nettoyage. Ensuite, les membranes sont soigneusement rincées avec de l'eau propre pour éliminer les particules et les impuretés en suspension qui pourraient obstruer les pores des membranes. Après ce rinçage initial, une solution de nettoyage chimique recommandée par le fabricant est préparée et appliquée sur les membranes. Cette solution peut varier en composition selon les types de contaminants à éliminer, et il est crucial de suivre scrupuleusement les instructions du fabricant concernant la concentration, la température et la durée du nettoyage. Après le nettoyage chimique, les membranes sont à nouveau rincées avec de l'eau propre pour éliminer les résidus de solution de nettoyage et les contaminants dissous. Dans certains cas, un nettoyage à l'air est également effectué pour éliminer les dépôts de particules non solubles des membranes. Enfin, un dernier rinçage est réalisé pour s'assurer que les membranes sont propres et prêtes pour une utilisation ultérieure. En suivant rigoureusement ces étapes de nettoyage, il est possible de maintenir les performances des membranes d'osmose inverse et de garantir la qualité de l'eau produite. [16]

II-10-Conclusion

Le traitement de l'eau par osmose inverse est une méthode efficace pour produire de l'eau purifiée en éliminant les contaminants à l'aide de membranes semi-perméables. Cependant, pour assurer le bon fonctionnement de ce processus, un prétraitement est nécessaire pour éliminer les particules en suspension, les matières organiques et autres contaminants de l'eau brute. Des méthodes telles que la filtration sur sable, la coagulation-floculation et la filtration sur média granulaire sont utilisées pour cela. En combinant le traitement par osmose inverse avec un prétraitement adéquat, il est possible de produire de l'eau de haute qualité pour diverses applications. Ce processus contribue à assurer un approvisionnement en eau propre et sûr pour répondre aux besoins de la société tout en préservant les ressources en eau.

CHAPTER 3

Méthodes et matérielles

III-1-Présentation de l'organisme d'accueil complexe Cal Gaz:

- **Présentation de complexe Cal Gaz :**

CALGAZ Algérie est une nouvelle entreprise Algérienne filiale du groupe K3A qui assure à travers ses deux unités la production, la commercialisation et la distribution des gaz de l'air sur tout le territoire national.

Présente dans l'une des principales zones pétrolières et gazières d'Algérie, les usines de Laghouat et Ouargla ont la capacité d'alimenter en azote et oxygène liquéfiés et d'accompagner dans le développement tous les acteurs économiques du pays (Oil & Ga, pétrochimie, Métallurgie, Sidérurgie...).

Fournir les structures hospitalières en oxygène liquide ainsi que les sociétés d'agroalimentaire font partie des objectifs de CALGAZ Algérie.

Nous fournissons des gaz, des équipements et des services associés dans divers secteurs d'activité.

CALGAZ Algérie dispose d'une capacité de production journalière de 334 tonnes et d'une large flotte de distribution pour assurer l'acheminement de ses produits vers tous ses clients.

III-1-1-Activité et mission de Cal Gaz

- **Production de l'azote liquide**

Dans la complexe cal gaz, l'air comprimé est nettoyé, puis compressé. Cet air comprimé est ensuite réfrigéré à très basse température ($77.36\text{K} / -195.79^{\circ}\text{C}$). Cet air est ensuite comprimé à nouveau pour le liquéfier et le séparer par distillation en azote et autres gaz.

- **Production d'oxygène liquide**

L'oxygène liquide est l'oxygène refroidi au-dessous de son point de condensation, soit $90,188\text{K}$ ($-182,96^{\circ}\text{C}$). C'est un liquide cryogénique qui a un coefficient d'expansion de 860:1 à 20°C . De nos jours, l'oxygène liquide est utilisé comme comburant avec le RP-1 et l'hydrogène liquide dans un grand nombre de lanceurs. On l'obtient par distillation fractionnée à partir de l'air dont il le second plus grand constituant avec une concentration de 21%, Il est souvent désigné par l'acronyme *LOX*.

III-1-2-Situation géographique de l'usine de dessalement

L'usine de Cal Gaz se trouve dans la wilaya d'Ouargla, dans la Daïra d'OUARGLA, la Commune d'OUARGLA, à la sortie de la ville de (HAI EL NASSR).

Cette localité se trouve à environ 15 km du chef-lieu de wilaya et à environ 180 km de la wilaya de Ghardaïa. Elle est bordée par la Route Nationale RN°49 qui part d'OUARGLA et se dirige vers GHARDAYA. Il est situé en face du centre de production de Guelala et à environ 3 km de celui-ci. Il est également à environ 20 km du bassin de production pétrolière de Berkaoui en direction de la wilaya de Ghardaïa.



Figure III-1 : Situation géographique du complexe Cal Gaz.

III-2-Prélèvement des échantillons d'eau

Le prélèvement d'échantillons est une étape critique dans l'analyse de l'eau et doit être réalisé avec soin pour garantir des résultats précis et représentatifs ; Les prélèvements de l'eau au niveau des sites d'études, consiste à ouvrir une vanne de sortie d'eau, puis laisser couler l'eau quelques minutes, l'eau sera prélevée et mise directement dans des bouteilles en verre de 500 ml étiquetées (nom de site et la date de prélèvement). Les échantillons récupérés sont immédiatement acheminés au laboratoire d'unité osmose inverse de l'entreprise Cal Gaz pour différentes analyses physico-chimiques.

III-3-Mesure des paramètres physico-chimiques

III-3-1-Méthodes électrochimiques

✓ Mesure de potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est une mesure de l'acidité ou de la basicité d'une solution. Il est défini comme le logarithme négatif de la concentration en ions hydrogène (H^+) dans une solution. La formule générale pour calculer le pH est :

$$pH = -\log [H^+]$$

Plus la concentration en ions H^+ est élevée, plus la solution est acide et plus le pH est bas. À l'inverse, plus la concentration en ions H^+ est faible, plus la solution est basique ou alcaline et plus le pH est élevé [17].

• Mode opératoire

Pour déterminer le pH à l'aide d'un pH-mètre, commencez par préparer l'appareil en le mettant sous tension et en le laissant s'équilibrer conformément aux instructions du fabricant. Assurez-vous que l'électrode du pH-mètre est propre et en bon état. Si nécessaire, nettoyez-la avec de l'eau distillée et séchez-la avec un chiffon doux. Ensuite, procédez à la calibration du pH-mètre en utilisant des solutions tampons de pH connu (pH 4, pH 7 et pH 10). Plongez l'électrode dans la solution tampon de pH 7 et ajustez le pH-mètre pour qu'il indique exactement 7. Répétez cette étape avec les solutions tampons de pH 4 et pH 10 pour une calibration complète. Une fois le pH-mètre calibré, prélevez un échantillon d'eau (100ml) à analyser dans un bécher propre. Plongez l'électrode du pH-mètre dans l'échantillon d'eau et attendez que la lecture se stabilise. Remuez doucement l'échantillon pendant la mesure pour éviter les gradients de pH. Notez la valeur affichée sur le pH-mètre, qui indique le degré

d'acidité ou de basicité de l'eau. Un pH inférieur à 7 indique une solution acide, un pH égal à 7 indique une solution neutre, et un pH supérieur à 7 indique une solution basique ou alcaline. Après chaque utilisation, rincez soigneusement l'électrode du pH-mètre avec de l'eau distillée pour éliminer tout résidu d'échantillon, et stockez l'électrode correctement pour éviter tout endommagement. Ce processus vous permettra de déterminer avec précision le pH de l'eau pour diverses applications.

✓ **Mesure de la conductivité**

✓ **Principe**

La conductivité est la capacité d'un matériau à permettre le passage du courant électrique. Elle est définie comme l'inverse de la résistivité d'un matériau et est mesurée en siemens par mètre (S/m). Plus un matériau est conducteur, plus sa conductivité est élevée. La conductivité est influencée par divers facteurs, tels que la concentration d'ions dans une solution, la température et la structure moléculaire du matériau [18].

• **Mode opératoire**

Pour mesurer la conductivité à l'aide d'un conductimètre, commencez par préparer l'appareil en l'allumant et en le laissant s'équilibrer selon les instructions du fabricant. Assurez-vous que les électrodes du conductimètre sont propres et en bon état en les nettoyant avec de l'eau distillée si nécessaire. Ensuite, procédez à la calibration du conductimètre en utilisant des solutions tampons de conductivité connue. Plongez les électrodes dans la solution tampon à 1 uS/cm et ajustez le conductimètre pour qu'il affiche une lecture de 1 uS/cm. Répétez cette étape avec la solution tampon à 10 uS/cm pour une calibration complète. Une fois le conductimètre calibré, prélevez un échantillon de solution à analyser dans un bécher propre. Plongez les électrodes du conductimètre dans l'échantillon et attendez que la lecture se stabilise. Remuez doucement l'échantillon pendant la mesure pour assurer une répartition uniforme des ions. Notez la valeur affichée sur le conductimètre, qui indique la conductivité électrique de la solution en uS/cm.

III-3-2-Méthodes titrimétriques

✓ **Titre hydrotimétrique totale (TH Totale)**

- Titre hydrotimétrique total, également connu sous le nom de dureté totale de l'eau, est une mesure de la concentration totale d'ions calcium et magnésium présents dans

une solution aqueuse. Cette mesure est souvent exprimée en unités de concentration telles que les milligrammes par litre (mg/L) ou les degrés français (°f) ou allemands (°dH). La dureté totale de l'eau peut avoir un impact sur de nombreuses applications, notamment l'approvisionnement en eau potable, l'agriculture, le traitement des eaux et l'industrie [19].

En considérons que :

- de 0 à 8° f une eau est très douce, soit de 0 à 0,8 mmol/litre,
- de 8 à 15° f une eau est douce, soit de 0,8 à 1,5 mmol/litre,
- de 15 à 30° f une eau est moyennement dure, soit de 1,5 à 3,0 mmol/litre,
- à plus de 30° f une eau est très dure, soit plus de 3,0 mmol/litre.

TH calcique : totalité des sels de calcium.

TH magnésien : totalité des sels de magnésium

- **Mode opératoire (TH Totale)**

Prendre 50 ml de l'eau à analyser dans un erlenmeyer, ajouter 15 gouttes de tampon ammoniacal $\text{pH}=10$ et ajouter 5 gouttes de NET (Noir Eriochrome T) et mélanger (on peut accélérer la réaction en chauffant légèrement, surtout si l'eau est très froide)

La solution se colore en rouge vineux (présence d'ions de Ca^{+2} et Mg^{+2})

Après on remplit la burette avec la solution d'EDTA ((sel tétra sodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique)) jusqu'au trait zéro ; Verser goutte la solution d'EDTA au mélange (avec agitation) jusqu'au virage du rouge vineux au bleu franc

On lit sur la burette le nombre de graduations coulées puis on multiplie le résultat obtenu par 2 et on obtient le titre hydrotimétrique total TH exprimé en degré français.

$$[\text{TH}] = V_{\text{Edta}} . 2$$

- ✓ **Titre alcalimétrique (TA)**

- ✓ Titre alcalimétrique total (TA) est une mesure de la capacité d'une solution à neutraliser les acides. Il représente la somme des bases présentes dans une solution, notamment les ions hydroxyde (OH^-) et les ions carbonate (CO_3^{2-}) [20].
- ✓ TA est généralement déterminé par titrage avec une solution acide de concentration connue, en utilisant un indicateur coloré pour détecter le point d'équivalence, En

ajoutant un acide fort dans l'eau, les hydrates alcalins en solution sont neutralisés, et les carbonates alcalins et alcalino-terreux sont transformés en bicarbonates [10].

✓ **Mode opératoire (TA)**

Remplir la burette avec de la solution d'acide chlorhydrique ($\text{HCl}=0.02 \text{ N}$) jusqu'à trait zéro.

Prendre 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, verser trois gouttes de phénolphthaléine (un indicateur de pH) et agiter puis, avec la burette et goutte à goutte, ajouter la solution l'acide chlorhydrique ($\text{HCL}=0.02 \text{ N}$) jusqu'au virage du rose à l'incolore.

On lit sur la burette le nombre de graduations coulées puis on multiplie le résultat obtenu par 2 et on obtient le titre alcalimétrique simple TA exprimé en degrés français.

Si la solution reste incolore après addition du phénolphthaléine (un indicateur de pH), le TA est égal à zéro : C'est le cas général pour les eaux naturelles dont le pH est inférieur à 8.3.

✓ **Titre alcalimétrique complet (TAC)**

- Titre alcalimétrique complet (TAC) est une mesure de la concentration totale des substances alcalines présentes dans l'eau, notamment les bicarbonates (HCO_3^-), les carbonates (CO_3^{2-}) et les hydroxydes (OH^-). Le TAC est exprimé en milligrammes par litre (mg/L) de carbonate de calcium (CaCO_3) et reflète la capacité de l'eau à neutraliser les acides, jouant ainsi un rôle important dans le maintien du pH de l'eau. Cette mesure est cruciale pour évaluer la qualité de l'eau dans divers contextes, tels que l'approvisionnement en eau potable, l'agriculture, et les processus industriels [21].
- La totalité des hydrates, phosphates, carbonates et bicarbonates alcalins et alcalino-terreux en solution dans l'eau est neutralisée par un acide fort [10]

• **Mode opératoire(TAC)**

Après la mesure du TA continuer le dosage avec la burette du Réactif ($\text{HCl}=0.02 \text{ N}$).

Dans l'échantillon à analyser, verser trois gouttes de solution méthylorange, puis, avec la burette et goutte à goutte, ajouter du acide chlorhydrique ($\text{HCl}=0.02 \text{ N}$) jusqu'au virage du jaune à l'orangé.

On lit sur la burette le nombre de graduations coulées puis on multiplie le résultat obtenu par 2 et on obtient le titre alcalimétrique complet TAC exprimé en degrés

français et qui correspond à la totalité des graduations coulées depuis le début de la titration

Détermination de la teneur en chlorures

✓ **Principe :** Les ions chlorures forment avec les ions mercuriques un complexe soluble peu ionisé. L'excès d'ions mercurique est mis en évidence par le diphénylcarbazone

✓ **Mode opératoire**

Remplir la burette avec la solution de nitrate de mercure $[\text{Hg}(\text{NO}_3)_2]$ 0,01 N jusqu'au trait zéro.

Dans 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, verser 1 demi-jauge de de l'indicateur diphénylcarbazone. La coloration doit être bleu – violet. Ajouter d'acide nitrique dilué (HNO_3 0,1 N) jusqu'à apparition d'une teinte jaune.

Verser goutte à goutte avec la solution de nitrate de mercure $[\text{Hg}(\text{NO}_3)_2]$ 0,01 N. en agitant énergiquement après chaque addition, jusqu'à ce que la solution vire du jaune au violet.

On lit sur la burette le nombre de graduations coulées puis on multiplie le résultat obtenu par 2 et on obtient la concentration en ions chlorures Cl^- exprimée en degrés français.

NB : le nombre de degrés de chlorures multiplié par 7,1 donne la concentration en ions chlorures exprimée en mg/L

II-4-Conclusion

En conclusion, les analyses du TAC, TA, TH et des ions chlorure fournissent une vue d'ensemble complète de la qualité de l'eau. Ces paramètres permettent de prévenir les problèmes potentiels liés à l'utilisation de l'eau, qu'ils soient techniques, environnementaux ou sanitaires. Une surveillance régulière et une gestion appropriée des résultats de ces analyses sont indispensables pour maintenir des standards élevés de qualité de l'eau et garantir sa sécurité pour tous les usages.

CHAPITRE IV

Résultats et discussion

IV-1-Procèdes de traitement de l'eau brute par osmose inverse (complexe Cal Gaz).

Les éléments essentiels d'une installation d'osmose inverse comprennent : • Les membranes et les modules.

- Pompe à pression élevée
 - De nombreuses cuves de stockage, ainsi que tous les instruments de mesure requis (conductimètre, débitmètre, manomètre, thermomètre,...)
 - les pompes de mesure • la station de prétraitement • pompes doseuse. • Filtre à sable • filtre à cartouche
- Le processus de traitement de l'eau commence par forage de l'eau brute, qui est ensuite stockée dans un réservoir d'une capacité de 500 mètres cubes. La quantité d'eau brute est estimée à 100 mètres cubes par jour.
 - Ensuite, nous ajoutons de l'eau de Javel à 48° chlorométrique au réservoir d'eau brute à raison de 10 ml/m³. Ensuite, l'eau est pompée vers un filtre à sable où les impuretés et les particules en suspension sont éliminées. L'eau entre à un débit de 26 m³/h et sort à un débit de 21 m³/h. Ensuite, l'eau passe à travers trois filtres cartouche, deux d'entre eux ont une taille 5 um de pore et un avec une taille de pore de 1 um.
 - Ensuite, l'antiscalant est ajouté à l'eau avant qu'elle n'entre dans l'osmoseur, à raison de 6 ml/m³, où il aide à inhiber la formation de dépôts de calcium et de minéraux dans le système d'osmose inverse. Le bisulfite de sodium est également ajouté à l'eau à raison de 8ml/m³. le bisulfite de sodium agit également comme un agent antioxydant en empêchant l'oxydation des composés présents dans l'eau, ce qui peut aider à préserver la qualité de l'eau traitée et à prolonger la durée de vie des équipements de traitement (les membranes d'osmose inverse)
 - L'eau filtrée parcourt le 1er étage de l'osmoseur sous pression de l'ordre de (10.2) bars exercés par pompe à haute pression.
 - Le perméat (eau osmosée) est stocké dans un bac de 500 m³, et les rejets de 1er sont introduits dans le 2eme étage de l'osmoseur sous une pression de (9.1) bars et sortie sous pression de (8.2)bars.

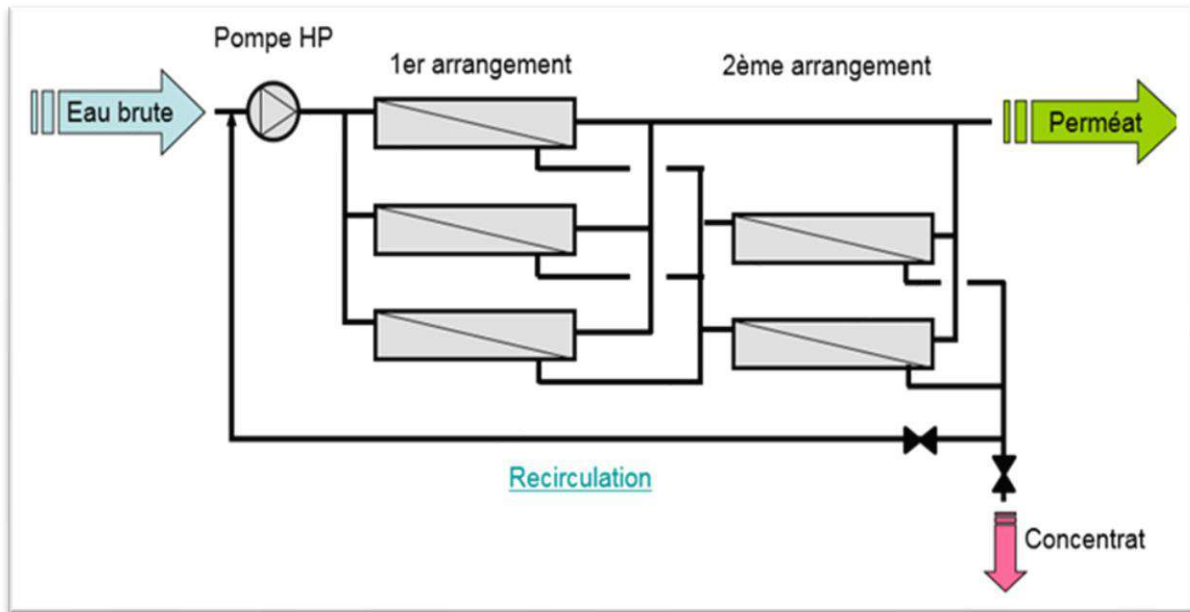


Figure IV.1 : Osmose inverse à 2 étages

Tableau : IV-1-Déférents paramètres du traitement de l'eau par osmose inverse dans l'usine Cal Gaz

Osmoseur 1	Valeur mesurée
Pression entrée filtre 5 μ S/cm	2,4 bars
Pression sortie filtre 5 μ S/cm	2,3 bars
Pression sortie filtre 1 μ S/cm	2,1 bars
Pression entrée 1 ^{er} étage	10,2 bars
Pression entrée 2 ^{ème} étage	9,1 Bars
Pression sortie 2 ^{ème} étage	8,2 bars
ΔP membranes 1 ^{er} étage	1,1 bar
ΔP membranes 2 ^{ème} étage	0,9 bar
Débit entrée filtre sable	26 m ³ /h
Débit perméat	20,75 m ³ /h
Débit concentrate	6 m ³ /h
Rendement	77%
Température du perméat	26,6°C
Conductivité sortie perméat	27,86 μ S/cm

IV-2-Résultats du suivi des paramètres de qualité physico-chimiques

Afin d'effectuer une analyse approfondie des résultats obtenus, enregistrés dans les tableaux ci-dessous, et d'approfondir notre compréhension de la qualité de l'eau à travers les différentes étapes de

traitement, ainsi que de l'efficacité du procédé d'osmose inverse, nous avons réalisé des histogrammes qui déterminent les différents paramètres de ce traitement. Les paramètres et les résultats d'analyses physico-chimiques sur l'eau de forage pendant et après le traitement sont résumés dans les tableaux suivants :

Tableau IV.2 : Caractéristiques physico-chimique de l'eau de forage (Eau entré)

Paramètre	pH	Conductivité	TH total	TA	TAC	Cl ⁻
Norme / Unité	6.8 - 8	< 2800 µS /cm	< 90 °F	0 °F	5<TAC< 20 °F	200<Cl-< 400 Mg/l
Oct/2023	7,5	2702	95	00	15	355
Nov/2023	7.85	2650	70.4	00	08	325.7
Dec/2023	7.65	2311	70	00	09	205
Jan/2024	7.2	2557	86	00	08	454.4
Fev/2024	7.63	2600	76	00	07	251

Tableau IV.3 : Résultats d'analyses physico-chimique de l'eau osmosée (Eau de sortie)

Paramètre	PH	Conductivité	TH total	TAC	TA
Norme/ Unité	6 -7	<50 µS /cm	< 1 °F	0<TAC<2 °F	0 °F
Oct/2023	6.9	28	0.7	1.8	00
Nov/2023	6.9	29.7	0.8	1.5	00
Dec/2023	6.7	18	0.53	1	00
Jan/2024	7	31.72	0.68	2	00
Fev/2024	6.8	22	0.47	1	00

IV-2-1-Potentiel d'hydrogène (pH)

Les variations du pH des eaux analysées (eau d'entrée et eau de sortie) sont mentionnées dans la figure suivante :

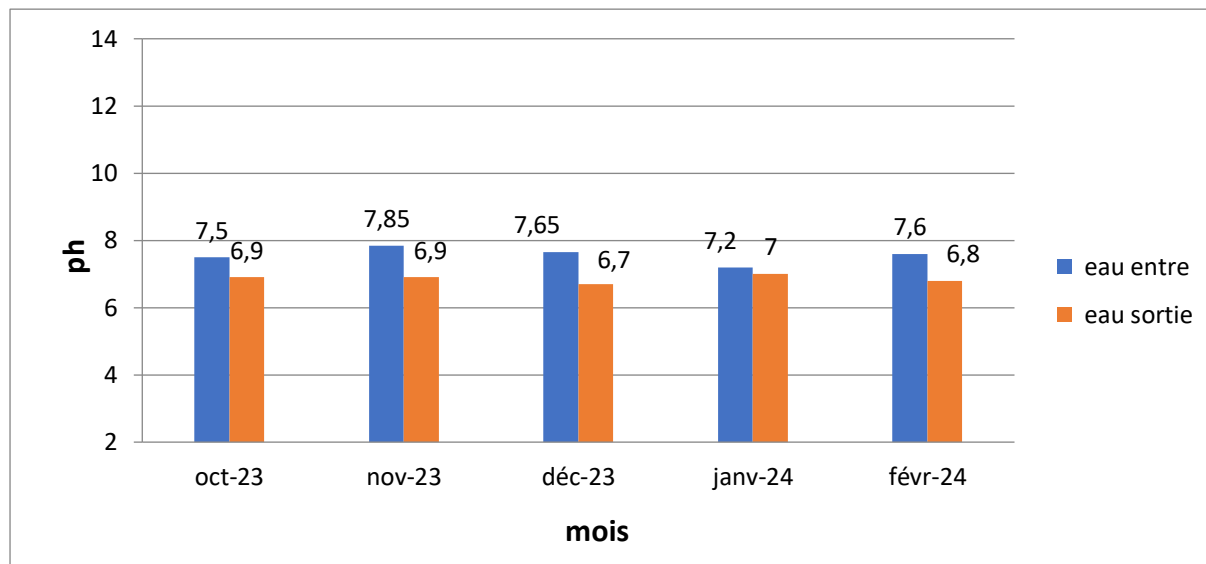


Figure IV. 2 : Variation de pH des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

Ce diagramme à barres montre les niveaux de pH de l'eau de forage (eau entre) et de l'eau osmosée (eau sortie) sur une période de cinq mois, d'octobre 2023 à février 2024 (résultats des tableaux 2,3). En octobre 2023, l'eau entrante avait un pH de 7,5 tandis que l'eau sortante avait un pH de 6,9. En novembre 2023, l'eau entrante avait un pH de 7,85 alors que l'eau sortante restait à 6,9. En décembre 2023, le pH de l'eau entrante était de 7,65, contre 6,7 pour l'eau sortante. En janvier 2024, les niveaux de pH étaient de 7,2 pour l'eau entrante et de 7,0 pour l'eau sortante. Enfin, en février 2024, l'eau entrante avait un pH de 7,6 et l'eau sortante un pH de 6,8. En général, l'eau sortante a un niveau de pH constamment plus bas que celui de l'eau entrante, ce qui indique une légère acidification au cours du processus, cette variation est due principalement à la déminéralisation de l'eau, ce qui montre l'efficacité des membranes d'osmose inverse à retenir les sels minéraux (l'augmentation de pH due à la présence des sels minéraux tels que Ca^{+2} , CO_3^{+2} , etc.).

IV-2-2- Conductivité

La figure illustre les résultats de la conductivité des différents échantillons d'eaux analysées

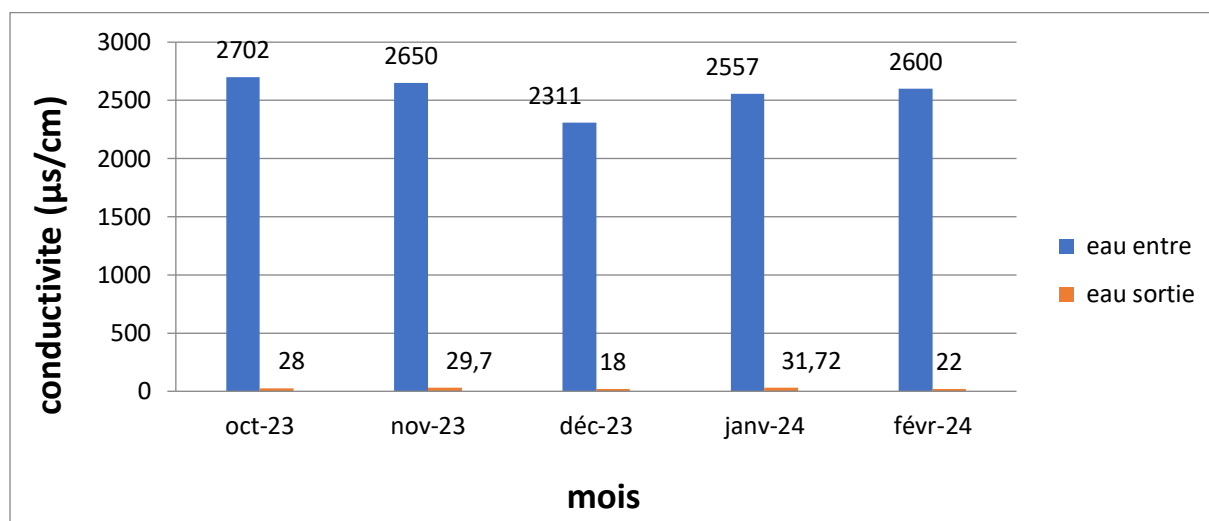


Figure IV. 3 : Variation de la conductivité des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

Les tableaux 2 et 3 révèlent une variation significative entre les valeurs de conductivité mesurées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse sur une période de cinq mois, d'octobre 2023 à février 2024. Avant la filtration membranaire, les valeurs de conductivité sont considérablement plus élevées qu'après le traitement. Pour les eaux d'entrée, les valeurs maximales et minimales enregistrées sont respectivement de 2702 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 2311 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec une moyenne de 2564 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette conductivité élevée est due à la forte concentration d'ions minéraux dans l'eau de forage. En revanche, l'eau traitée par osmose inverse affiche une moyenne de 25.884 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les résultats obtenus respectent les normes en vigueur, avec des valeurs inférieures à 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$

IV-2-3-Titre hydrotimétrique total (TH)

Les mesures du TH des différentes eaux analysées sont illustrées dans la figure

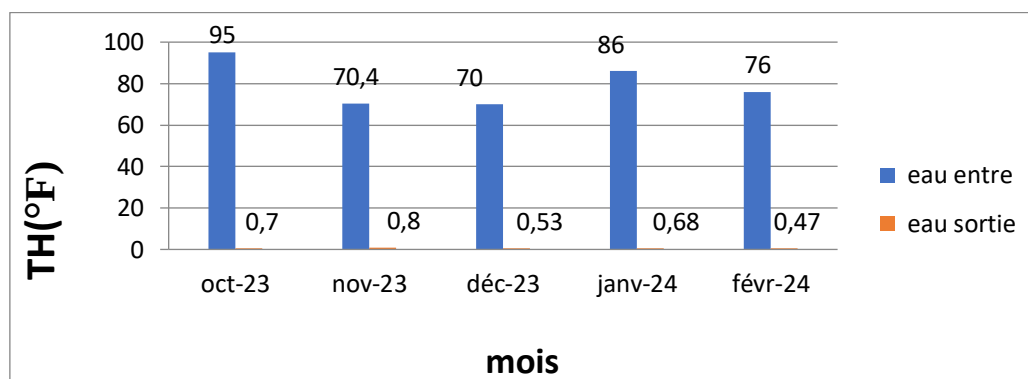


Figure IV. 4 : Variation des valeurs de TH total des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

Le graphique présente l'évolution du titre hydrothermique total (TH) de l'eau entrante (eau de forage) et sortante (eau osmose) après traitement par osmose inverse d'octobre 2023 à février 2024 (résultats des tableaux 2, 3.). Le TH de l'eau entrante varie entre 70 et 95, tandis que celui de l'eau sortante reste constamment bas, oscillant entre 0,47 et 0,8. Cela montre une efficacité élevée du système d'osmose inverse pour éliminer les minéraux et les sels de l'eau; Cette diminution s'explique par l'élimination de la quasi-totalité des ions carbonates de calcium et de magnésium contenus dans les eaux d'entrée de forage. Les résultats obtenus sont conformes aux normes de l'entreprise $0 < TH < 1^\circ F$

IV-2-4-Titre alcalimétrique complet (TAC)

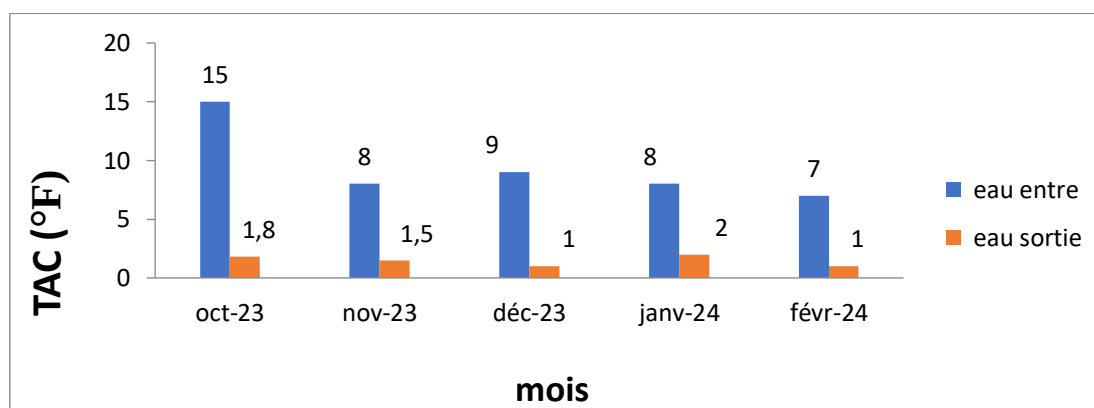


Figure IV.5 : Evolution des valeurs de TAC des eaux analysées à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse.

Le graphique montre les valeurs du Titre Alcalimétrique Complet (TAC) pour l'eau entrante et sortante du système d'osmose inverse de octobre 2023 à février 2024 (Résultats des tableaux 2, 3). Les données révèlent une réduction significative du TAC après le traitement. En octobre 2023, le TAC de l'eau entrante est de 15, tandis que celui de l'eau sortante est de 1,8, indiquant une réduction de 88%. En novembre 2023, le TAC passe de 8 à 1,5, soit une diminution de 81,25%. Pour décembre 2023, la valeur du TAC de l'eau entrante est de 9 et celle de l'eau sortante est de 1, ce qui représente une réduction de 88,89%. En janvier 2024, le TAC de l'eau entrante est de 8 et celui de l'eau sortante est de 2, marquant une diminution de 75%. Enfin, en février 2024, le TAC de l'eau entrante est de 7 et celui de l'eau sortante est de 1, soit une réduction de 85,71%. En moyenne, le système d'osmose inverse montre une réduction efficace du TAC, variant entre 75% et 88,89%, démontrant une performance stable et fiable dans la réduction de l'alcalinité de l'eau, cette diminution est due au bon fonctionnement des membranes d'osmoseur à retenir les ions carbonates et hydrogénocarbonates. Les résultats obtenus sont conformes aux normes de l'entreprise $0 < TAC < 2^\circ F$

IV-2-5- Titre alcalimétrique (TA)

Selon les résultats présentés dans les tableaux 2 et 3, le titre alcalimétrique de tous les échantillons d'eau analysés est nul durant la période d'étude. Cela s'explique par le fait que les valeurs de pH des eaux analysées, sont inférieures à 8,3. Par conséquent, il n'y a pas de bases fortes, de carbonates ni d'alcalins libres présents dans les échantillons d'eau analysés.

IV-3-Conclusion

Les analyses réalisées au cours de ce travail ont démontré que les osmoseurs de l'unité d'osmose inverse produisent une eau osmosée de très bonne qualité. Les valeurs des différents paramètres tels que le pH, la conductivité, le TAC, le TH, la concentration de Cl⁻ sont toutes excellentes et respectent les normes établies. Globalement, les résultats de cette étude attestent de la haute qualité de l'eau osmosée produite, confirmée par la conformité des analyses physico-chimiques et microbiologiques, prouvant ainsi l'efficacité des traitements appliqués à chaque étape du processus.

Conclusion Générale

Dans ce mémoire, nous avons étudié le traitement des eaux souterraines par osmose inverse. La société Cal Gaz réalise ce processus au niveau de son usine, où les eaux souterraines sont introduites dans le système et traitées pour éliminer les impuretés et les polluants. La technologie de l'osmose inverse est l'une des méthodes les plus efficaces pour purifier l'eau, reposant sur l'utilisation d'une membrane semi-perméable qui permet le passage de l'eau pure tout en retenant les grosses molécules et les polluants. Le processus comprend plusieurs étapes, en commençant par une filtration préliminaire pour éliminer les grosses particules, puis l'eau passe à travers une pompe haute pression qui la pousse à travers les membranes. Ensuite, l'eau pure est collectée dans un réservoir de stockage, tandis que l'eau concentrée en polluants est rejetée. Cette eau pure est utilisée dans diverses applications industrielles, agricoles et même pour la consommation après un traitement supplémentaire.

L'eau traitée est utilisée dans le processus de refroidissement de l'air pour produire de l'oxygène médical et de l'hélium. Pour refroidir l'air efficacement, l'eau utilisée dans le processus de refroidissement doit répondre à certaines exigences spécifiques selon les normes de l'usine. Pour cela, nous réalisons des analyses périodiques des eaux souterraines et des eaux traitées. Ces analyses concernent le pH, la conductivité, la dureté totale (TH), l'alcalinité totale (TA), l'alcalinité des carbonates (TAC) et la concentration des chlorures (Cl⁻). Ces analyses garantissent que l'eau utilisée respecte toutes les normes nécessaires pour assurer la qualité du processus de refroidissement et l'efficacité de la production d'oxygène médical et d'hélium.

- [1]-Alphas., F, (2005). Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDMSA dans la Rille de Bamako. Thèse Doctorat en pharmacie, Université de Bamako.
- [2]-Gleick, P.H. (1996). "Water resources." In Encyclopedia of Climate and Weather. New York: Oxford University Press.
- [3]-Encyclopédie. (2006). L'eau. Edition. Encarta.
- [4]- Tardart M, (1994). La chimie de l'eau. Edition Griffon d'argile, Québec.
- [5]- Rodier J. (1996). L'analyse de l'eau : eau naturelles, eau résiduaires, eau de mer. Edition Dunod, France.
- [6]-Thomas O. (1995). Métrologie des eaux résiduaires. Edition Tec et Doc Lavoisier, France.
- [7]- Cojan et Renard M. (2003). Sédimentologie. Edition Dunod, France.
- [8]- Kemmer (1984). Manuel de l'eau Tec et Doc Lavoisier, France 930 pages.
- [9]- Kettab A. (1982). Les eaux potables .In : traitement des eaux. Edition Office des publications Universitaires, Alger.
- [10] Documents de cal gaz (osmose inverse)
- [11] l'actualité chimique - février 2016 - n° 404(Jean Nahmias).
- [12] Agregation concours interne et caer (Les membranes en chimie : propriétés et utilisations)
- [13] OULD ABDERRAHMANE BERRAHO /Amina Manel Abderrahmane El Nacer, Amélioration de l'efficacité du nettoyage en place des membranes d'osmose inverse utilisées pour le traitement des eaux saumâtres dans l'industrie laitière de Sidi Saada (mémoire master) Mostaganem Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem (2019).
- [14] Par Mr Abdallah AMMI SAID sous le thème Valorisation des ressources hydriques et production de l'eau purifiée par les procédés membranaires (mémoire doctorat) Alger Université UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENE (USTHB) ALGER 2019
- [15] par Gaëlle Collet , Étude et modélisation du colmatage de membrane par des suspensions de matières organiques et de particules minérales(doctorat mémoire) École nationale supérieure d'ingénieurs, 2013.

- [16] "Membrane Fouling and Cleaning in Reverse Osmosis Systems" par Angelo Basile et Alfredo Cassano
- [17] Tro, Nivaldo J. (2017). Principles of Chemistry: A Molecular Approach. Pearson.
- [18] Ouellette, Robert J., et al. (2017). "Conductivity". Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/conductivity-physics>.
- [19] American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA-AWWA-WEF.
- [20] Skoog, Douglas A., et al. (2013). Principles of Instrumental Analysis. Cengage Learning.
- [21] Rodier, J., Legube, B., Merlet, N. (2009). L'analyse de l'eau. Dunod.

Résumé

L'étude s'est concentrée sur l'évaluation de la performance des osmoseurs présents dans l'unité d'osmose inverse du complexe Cal Gaz. Les paramètres physico-chimiques analysés ont révélé que l'eau osmosée obtenue est d'une qualité remarquable. Ce résultat est attribuable, d'un côté, à l'entretien constant des installations d'osmose inverse et de leurs membranes, et de l'autre, au système de prétraitement mis en place. De plus, l'efficacité de ces processus contribue non seulement à la qualité de l'eau produite, mais aussi à la durabilité et à la longévité des équipements, réduisant ainsi les coûts opérationnels et améliorant l'efficacité énergétique de l'ensemble du système. Cette étude souligne l'importance de combiner des techniques avancées de traitement de l'eau avec une maintenance rigoureuse pour garantir une production optimale dans les industries.

Mots clés : Eau, osmose, osmose inverse, membrane, analyses, traitement, procédés, paramètres physico-chimiques, Prétraitement

Abstract

The study focused on evaluating the performance of the osmosis units present in the reverse osmosis unit of the Cal Gaz complex. The physicochemical parameters analyzed revealed that the osmosis water obtained is of remarkable quality. This result is attributable, on the one hand, to the constant maintenance of the reverse osmosis installations and their membranes, and on the other, to the pretreatment system put in place. Furthermore, the efficiency of these processes contributes not only to the quality of the water produced, but also to the durability and longevity of the equipment, thereby reducing operational costs and improving the energy efficiency of the entire system. . This study highlights the importance of combining advanced water treatment techniques with rigorous maintenance to ensure optimal production in industries

Key words: Water, osmosis, reverse osmosis, membrane, analyzes, treatment, processes, physico-chemical parameters, Pre-treatment

ملخص

ركزت الدراسة على تقييم أداء وحدات التناضح الموجودة في وحدة التناضح العكسي بمجمع كال غاز. كشفت المعلمات الفيزيائية والكيميائية التي تم تحليلها أن المياه التناضحية التي تم الحصول عليها ذات جودة رائعة. وتعزى هذه النتيجة، من ناحية، إلى الصيانة المستمرة لمنشآت التناضح العكسي وأغشيتها، ومن ناحية أخرى، إلى نظام المعالجة المسبقة المطبق. علاوة على ذلك، فإن كفاءة هذه العمليات لا تساهم فقط في جودة المياه المنتجة، ولكن أيضاً في متانة المعدات وطول عمرها، وبالتالي تقليل تكاليف التشغيل وتحسين كفاءة استخدام الطاقة للنظام بأكمله. تسلط هذه الدراسة الضوء على أهمية الجمع بين تقنيات معالجة المياه المتقدمة والصيانة الصارمة لضمان الإنتاج الأمثل في الصناعات

الكلمات المفتاحية: الماء، التناضح، التناضح العكسي، الغشاء، التحليلات، المعالجة، العمليات، المعلمات الفيزيائية والكيميائية، المعالجة المسبقة