

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Chadli Bendjedid El-Tarf

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire de Master Professionnel

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Dessalement et Traitement des Eaux

Thème :

*Etude comparative entre les procedes de traitement de
l'eau de barrage et les procedes de dessalement de l'eau de
mer par osmose inverse*

Présenté par :

CHOUABBIA Mohammed Elyacine

Encadré par :

M^{me} DJERIBI Rabiaa

Dr. BINIDIR Sofiane

Soutenue le : .../.../2025 devant le jury composé de :

M ^{me} . NECIB Anissa	Présidente	MAA	Université Chadli ben Djedid El-Tarf
M ^{me} . BENDAIA Marwa	Examinatrice	MCB	Université Chadli ben Djedid El-Tarf
M ^{me} . DJERIBI Rabiaa	Encadreur	MAA	Université Chadli ben Djedid El-Tarf
Dr. BENIDIR Sofiane	Co-Encadreur	MCB	Université Chadli ben Djedid El-Tarf

Année Universitaire : 2024/2025

Remerciements

Remerciements

Je remercie tout d'abord **ALLAH**, le seul Miséricordieux, qui m'a pleinement accordé de l'énergie, de la santé et surtout de la volonté et du courage pour pouvoir terminer ce modeste travail.

Je tiens à remercier sincèrement à mon encadreur, **M^{me}DJERIBI.Rabiaa** pour avoir accepté de m'encadrer et également aussi **M^r Dr. BENIDIR Soufiene**. J'apprécie particulièrement son soutien moral, ses précieux conseils et ses encouragements constants pour mener à bien ce travail.

Nous remercions également les membres du jury de nous avoir honorées de leurs présences et leurs approbations de ce travail « **M^{me} Dr. BENDAIA. Maroua** en tant que présidente et **M^{me}.NESSIB.Anissa** en tant que examinatrice.

J'adresse également mes remerciements aussi à l'ensemble de l'équipe pédagogique de mon université qui m'a soutenu durant le quercus d'étude.

Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Mohammed Elyacine.

Merci à dieu pour tous que nous arrive .

Merci à nos frères

Merci à tous

Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	v
Glossaire des abréviations	vi
Introduction générale	1

Chapitre I : Revue bibliographique sur l'eau

I.1.Introduction	3
I.2. Revu bibliographique sur l'eau	3
I.2.1. Définition de l'eau	3
I.2.2. Structure et composition de l'eau	3
I.2.2.1. Structure de l'eau	3
I.3.2. Composition de l'eau	4
I.4. Cycle de l'eau	5
I.5. Propriétés de l'eau	6
I.5.1. Propriétés physiques	6
I.5.2.Propriétés chimiques	7
I.5.3. Propriétés biologiques	8
I.6. Classification des eaux	8
I.6.1. Les eaux naturelles	8
I.6.3. Les eaux potables	9
I.7. Normes de potabilité	9
I.7.1. Normes des paramètres physico-chimiques	9
I.7.2. Normes des paramètres biologiques et bactériologiques	10
I.7.3. Normes des substances indésirables	11
I.7.4. Normes des substances toxiques	12

Chapitre II : Présentation des procédés de traitements

II.1. Introduction	14
II.2. Présentation des procédés de traitements	14
II.2.1. Traitements classiques des eaux de barrage	14
II.2.1.1. Micro-tamissage	14
II.2.1.2. Coagulations – floculation	15
II.2.1.3. Décantation	19

II.2.1.4. Flottation	23
II.2.1.5. Filtration	24
II.2.1.6. Désinfection	25
II.3. Traitement des eaux par osmose inverse	28
II.3.1. Principe de l'Osmose Inverse	28
II.3.2. Conception d'une usine d'Osmose Inverse	29
II.3.2.1. Description des différents composants	30
II.4. Paramètres influençant le colmatage, l'entartrage et la dégradation des membranes	32
II.4.1. Colmatage des membranes (Fouling)	32
II.4.2. Différents moyens de lutte contre le colmatage	33
II.4.3. L'entartrage (Scaling)	34
II.4.4. Différents moyens de lutte contre l'entartrage	34
II.5. Paramètres influençant le fonctionnement de l'osmoseur	35

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Introduction	38
III.2. Cite d'accueil	38
III.2.1 Stations de traitement mexa eltaref unité anna	38
III.2.2. La station de dessalement d'El Marsa	39
III.3. Matériels et réactifs	39
III.4. Évaluation de la qualité de l'eau	40
III.4.1. Mesure du pH	40
III.4.2. Mesure de la Température	41
III.4.3. Mesure de la conductivité	41
III.4.4. Dosage du titre hydrotimétrique par la méthode complexométrie	42
III.4.5. Dosage du titre alcalimétrique	43
III.4.6. Détermination des chlorures par la méthode de Mohr	44
III.4.7. Détermination d'aluminium par méthode spectrométrique au rouge d'alizarine	45
III.5. Résultats et discussion	46
III.5.1. Evolution de pH	46
III.5.2. Evolution de la conductivité	48
III.5.4. Evolution FER	50
III.5.5. Evolution mg+2 en traitement	54
III.5.6. Evolution Salinité En Traitement	56
	57

Conclusion Générale	
Références bibliographiques	59
Résumé	

Figure 1. Structure de la molécule d'eau.....	3
Figure 2. Cycle général de l'eau.....	6
Figure 3. Représentation schématique d'un décanteur à flux horizontale.....	20
Figure 4. Décanteurs à flux horizontale : (a) configuration rectangulaire (b) configuration circulaire.....	21
Figure 5. Clarificateur à flux vertical rectangulaire.....	22
Figure 6. Représentation schématique d'un décanteur lamellaire (Sédipac D).....	23
Figure 7. Flottation provoquée.....	24
Figure 8. Matériaux filtrants les plus utilisés.....	25
Figure 9. Effet de pH en présence de chlore dans l'eau.....	26
Figure 10. Osmose naturelle.....	28
Figure 11. Equilibre Osmotique.....	29
Figure 12. Osmose inverse.....	29
Figure 13. Schéma de principe d'unité de dessalement base sur le principe d'osmose inverse...	30
Figure 14. Une membrane d'osmose inverse.....	31
Figure 15. Carte de réseau hydrographique de wilaya d'El Tarf.....	38
Figure 16. pH- mètre.....	40
Figure 17. Conductimètre.....	41
Figure 18. Dosage de la dureté totale.....	42
Figure 19. Dosage de l'alcalinité.....	43
Figure 20. Evolution pH traitement classique.....	47
Figure 21. Evolution pH dessalement.....	47
Figure 22. Evolution conductivité en traitement.....	48
Figure 23. Evolution conductivité en dessalement.....	49
Figure 24. Evolution tac en dessalement.....	49
Figure 25. Evolution Tac En Traitement.....	50
Figure 26. Evolution fer traitement classique.....	51
Figure 27. Evolution chlorure dessalement.....	52
Figure 28. Evolution Cl en traitement.....	53
Figure 29. Evolution Ca ⁺² en traitement.....	54

Tableau 1. Répartition des principaux cations et anions dans l'eau.....	4
Tableau 2. Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS.....	10
Tableau 3. Normes OMS des paramètres bactériologiques pour l'eau potable.....	11
Tableau 4. Normes des substances indésirables.....	11
Tableau 5. Normes des substances toxiques.....	12
Tableau 6. Les étapes de l'agrégation.....	16
Tableau 7. Plage de pH optimale pour l'efficacité des coagulants Al^{3+} et Fe^{3+}.....	16
Tableau 8. Présentation des caractéristiques essentielles des équipements et réactifs utilisés.....	39
Tableau 9. Évolution pH TRAITEMENT	45
Tableau 10. Évolution pH dessalement	46
Tableau 11.Évolution conductivité en traitement	47
Tableau 12. Évolution conductivité en dessalement	48
Tableau 13. Évolution TAC En Traitement	48
Tableau 14.Évolution TAC en dessalement.	49
Tableau 15.Évolution fer traitement classique	50
Tableau 16.Évolution fer dessalement	51
Tableau 17.Évolution chlore traitement classique	51
Tableau 18. Évolution Ca^{+2} en traitement	52
Tableau 19.évolution de Mg^{+2} en traitement	53
Tableau 20.évolution Indice de permanganate en traitement	53
Tableau 21. évolution de Mg^{+2} en traitement	54
Tableau 22. évolution de turbidité en traitement	55
Tableau 23.évolution de turbidité en dessalement	56

OMS :	Organisation mondiale de la Santé
OS :	Osmosinverse
PH	Potentiel d'rogene
TH	Dureté total
TAC	Titre alcalométrique complet
TA	Titre alcalométrique
NG :	Norme guide
CMA :	Concentration maximale admissible
NANOFIX	Kit rapid de test.

®

Introduction générale

Introduction Générale

La terre est riche en eau, couvrant 1,38 milliard de kilomètres carrés. Cependant, la majeure partie est composée d'eau de mer (97,2 %) et de glace (2,15 %) qui ne peuvent pas être utilisées directement. L'eau douce facilement disponible (lacs, rivières, certaines eaux souterraines) ne représente que 0,07 % des ressources totales, soit environ 1 million de kilomètres carrés. Mais la répartition de cette eau est très inégale. En fait, 10 pays se partagent 60 % des réserves d'eau douce et 29 autres pays (principalement en Afrique et au Moyen-Orient) sont confrontés à des pénuries chroniques d'eau douce. Selon les données de l'Institut des ressources en eau, dans ces pays, 250 millions de personnes aujourd'hui ne satisfont pas à la norme minimale d'eau domestique de 1 000 mètres cubes par personne et par an. 400 millions de personnes vivent dans un état de pénurie d'eau, et on estime qu'il y a une pénurie d'eau de 1 000 à 2 000 mètres cubes par habitant chaque année. Et on estime que 2,5 milliards de personnes pourraient souffrir du manque d'eau en 2050 compte-tenu de l'évolution de la démographie et de l'augmentation des consommations d'eau.

Pour faire face à cette pénurie annoncée d'eau, de nouvelles techniques de production d'eau potable devront être mises en place pour satisfaire les besoins de la population croissante. Une des techniques prometteuses pour certains pays est le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres.

Notre étude sera consacrée à l'**Etude comparative entre les procédés de traitement de l'eau de barrage et les procédés de dessalement de l'eau de Mer**. Sur le plan de travail suivant :

- ✚ Introduction Générale
- ✚ Chapitre 1 : Généralités sur l'eau
- ✚ Chapitre 2 : Les procédés de traitement des eaux potables
- ✚ Chapitre 3 : Etude pratique
- ✚ On termine par une conclusion.

CHAPITRE I :

Revue bibliographique sur l'eau

I.1.Introduction

L'eau totalement pure, composée uniquement de la molécule H_2O , n'existe pas à l'état naturel. Son absence totale de minéraux la rend d'ailleurs inadaptée à la consommation humaine. Dans ce chapitre, nous avons défini l'eau, décrit son cycle naturel, exposé ses principales caractéristiques et classifications.

I.2. Revu bibliographique sur l'eau

I.2.1. Définition de l'eau

L'eau est un composé chimique présent partout sur Terre et essentiel à la vie de tous les organismes vivants connus. On le trouve le plus souvent à l'état liquide et possède des propriétés remarquables à température ambiante. En particulier, il agit comme un excellent solvant pour de nombreux solides présents sur Terre, ce qui lui vaut souvent le surnom de « solvant universel ». [1,2]

I.2.2. Structure et composition de l'eau

I.2.2.1. Structure de l'eau

La molécule d'eau est constituée de deux atomes d'hydrogène (symbole H) et d'un atome d'oxygène (symbole O), unis par deux liaisons covalentes simples, formant un angle de $104,5^\circ$. Sa formule chimique est H_2O . Les interactions entre les molécules d'eau sont appelées liaisons hydrogène, qui sont des liaisons physiques relativement faibles (Figure 1.).

Comme toute molécule, celle de l'eau est électriquement neutre. Elle possède cependant un moment dipolaire important (1,85 D), en raison de la forte électronégativité de l'oxygène. Cette polarité explique en partie la capacité de l'eau à conduire le courant électrique, ainsi que plusieurs de ses propriétés physico-chimiques particulières [3]

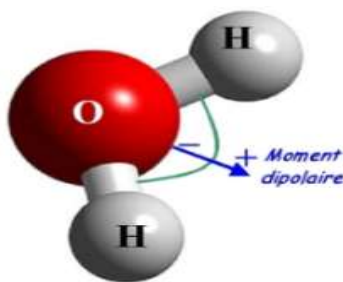


Figure 1. Structure de la molécule d'eau

I.3.2. Composition de l'eau

L'eau naturelle contient des sels minéraux essentiels à la potabilité. Le corps humain tolère différentes compositions, mais une eau totalement déminéralisée peut déséquilibrer l'organisme en provoquant une perte de sels par osmose.

- **Les sels minéraux**

Ils sont composés de cations (chargés positivement) et d'anions (chargés négativement) dissous dans l'eau, les plus courants étant :

Tableau 1. Répartition des principaux cations et anions dans l'eau

Composés de cations		Composés d'anions	
Calcium	Ca^{2+}	Bicarbonate	HCO_3^-
Magnésium	Mg^{2+}	Sulfate	SO_4^{2-}
Sodium	Na^+	Chlorure	Cl^-
Potassium	K^+	Nitrate	NO_3^-
		Fluorure	F^-

Les ions ci-dessus sont bénéfiques ou neutres. Leur concentration varie entre quelques mg/L et quelques centaines de mg/L. Seuls les deux derniers ne devraient pas être présents à forte concentration. C'est surtout le cas du fluorure. Le nitrate est inoffensif pour l'homme adulte, mais peut créer de graves problèmes chez le nourrisson.

- **Autres minéraux et oligo-éléments**

Les eaux contiennent divers éléments en faibles concentrations, notamment des métaux tels que le fer, le zinc ou le cuivre, bénéfiques en petites quantités. D'autres, comme le plomb, le cadmium ou l'uranium (classés parmi les métaux lourds) sont toxiques.

Le terme « oligo-élément », bien que sans définition scientifique précise, désigne des métaux utiles à très faible dose pour la santé. Par ailleurs, certaines substances non métalliques dissoutes, comme l'arsenic, le sélénium ou le bore, peuvent être toxiques selon leur concentration. [4]

- **Autres substances naturelles**

L'eau contient encore d'autres substances naturelles dissoutes notamment : De l'oxygène O_2 ; Du gaz carbonique CO_2 (les bulles de l'eau Perrier) ; De la silice SiO_2 ; Des matières

organiques provenant de la décomposition de végétaux (feuilles, herbe etc.) dans les eaux de surface (rivières, lacs, étangs) ; Des bactéries, dans les eaux de surface également. [4]

I.4. Cycle de l'eau

Le cycle de l'eau, moteur essentiel de la dynamique naturelle, repose sur les échanges constants entre quatre grands réservoirs : les mers et océans, les eaux continentales (de surface et souterraines), l'atmosphère et la biosphère. Ce cycle, dit externe, est activé par l'énergie solaire, qui assure la mise en mouvement permanente de l'eau [5]. Il comprend deux cycles étroitement liés (Figure 2.) :

- **Le cycle atmosphérique**, relatif à la circulation de la vapeur d'eau dans l'air.
- **Le cycle terrestre**, qui concerne les écoulements de l'eau à la surface et dans le sous-sol. [6]

Ce processus se déroule en quatre étapes principales :

1. **L'évaporation** : Sous l'action du soleil, l'eau présente dans les océans, les sols ou les surfaces végétales s'évapore vers l'atmosphère. Ce processus est renforcé par l'évapotranspiration, qui inclut également l'eau rejetée par les plantes [6].
2. **La précipitation** : Sous l'effet du refroidissement, les nuages se condensent, et l'eau retombe sous forme de pluie, neige ou grêle.
3. **Le ruissellement** : Lorsque le sol ne permet pas l'infiltration, l'eau s'écoule en surface, alimentant rivières et fleuves.
4. **L'infiltration** : Une partie de l'eau pénètre dans le sol, contribuant à la recharge des nappes souterraines. [7]

Ce cycle naturel, fondamental à l'équilibre des écosystèmes, est influencé par divers facteurs climatiques tels que le vent, la température et l'ensoleillement [5].

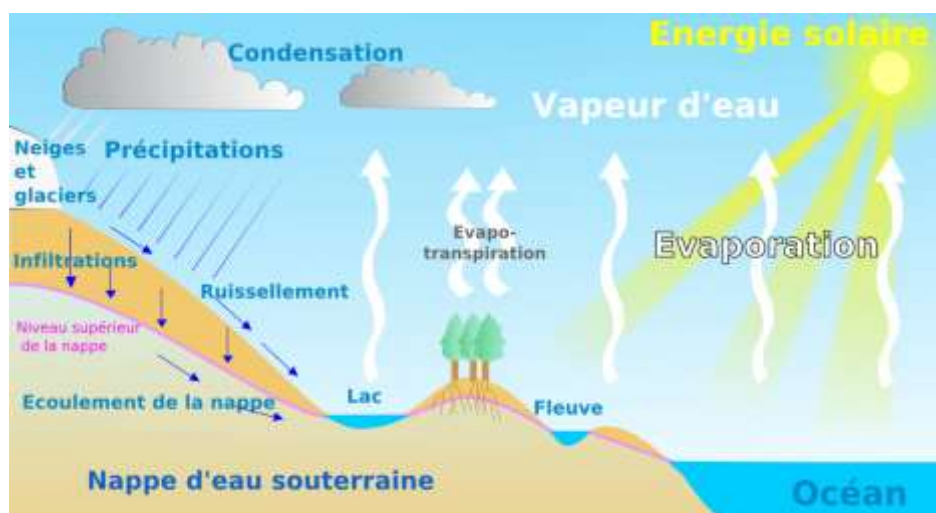


Figure 2. Cycle général de l'eau. [8,9]

I.5. Propriétés de l'eau

L'eau ne représente pas la même chose pour tout le monde. Elle possède des propriétés physiques et chimiques uniques et d'autres propriétés : on peut la faire geler, fondre, évaporer ou chauffer et la mélanger.

I.5.1. Propriétés physiques

Le caractère polaire de la molécule d'eau favorise l'association entre les molécules, ce qui engendre plusieurs particularités physiques notables, parmi lesquelles on peut citer brièvement certaines anomalies. [2,10]

a. La température d'ébullition

L'eau présente une température d'ébullition exceptionnellement élevée (100 °C à pression normale) comparée à celle d'autres composés de masse moléculaire similaire contenant plusieurs atomes d'hydrogène.

b. La masse volumique

La densité de l'eau est de 1 g/cm³, mais elle varie en fonction de la température, de la pression et de la concentration en sels dissous.

c. La viscosité

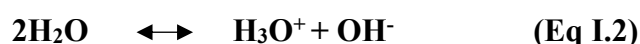
Elle diminue avec l'augmentation de la température, mais augmente avec la salinité. Fait particulier, une pression modérée réduit sa viscosité à basse température, contrairement à d'autres liquides.

d. La tension superficielle

Elle est définie comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface. Elle est extrêmement élevée ; égale à 73 erg/cm à 18 °C.

e. La conductivité électrique

L'eau pure est faiblement conductrice. Sa conductivité, exprimée en $\mu\text{S/cm}$, résulte de la faible dissociation des molécules d'eau selon l'équation (Eq. I.2) :



f. Solvant

L'eau est le plus important solvant de la surface de la planète. Elle se charge donc des minéraux et substances organiques qu'elle croise et dissout.

g. Chaleur spécifique

L'eau est l'élément naturel dont la chaleur spécifique est la plus élevée : $4185 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Elle demande donc beaucoup d'énergie pour être réchauffée et pour être refroidie.

h. Transparence

L'eau est transparente dans le spectre visible, mais elle absorbe le rayonnement infrarouge dès les premiers mètres d'épaisseur, ce qui explique que seules les eaux superficielles se réchauffent.

I.5.2. Propriétés chimiques

L'eau possède une énergie de formation élevée (242 kJ/mol), ce qui lui confère une grande stabilité chimique. Combinée à sa polarité et à sa structure moléculaire particulière, cette stabilité rend l'eau très efficace pour dissoudre une large gamme de substances : gaz, liquides polaires et surtout solides.

Ainsi, la plupart des substances minérales, de nombreux gaz et composés organiques sont solubles dans l'eau. Ce phénomène repose sur le processus de solvation (ou hydratation dans le cas de l'eau), qui consiste à rompre les liaisons électrostatiques entre les atomes ou molécules du soluté pour former de nouvelles liaisons avec les molécules d'eau. Il en résulte parfois une réaction chimique, et une solvation complète correspond à une dissolution.

[2,10]

I.5.3. Propriétés biologiques

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone jouent un rôle crucial en créant des conditions propices au développement des êtres vivants. Un cycle biologique se met en place, permettant des échanges constants grâce à l'eau. Ce dernier constitue le principal composant (en volume) des êtres vivants, en particulier du protoplasme de toutes les cellules. De plus, l'eau constitue une grande part de nos aliments, représentant entre 70 et 95 % de la composition de la plupart des viandes, fruits et légumes. Il est donc évident que "l'eau, c'est la vie", mais il est essentiel de souligner les nombreuses interactions entre l'eau et les êtres vivants [2,10]

I.6. Classification des eaux :

L'eau joue un rôle fondamental dans les écosystèmes, les activités humaines (telles que l'agriculture et l'industrie) ainsi que dans la vie quotidienne. Bien que 97 % des ressources en eau de la planète soient salées, les eaux douces, bien que minoritaires, représentent une source essentielle d'eau potable [10].

I.6.1. Les eaux naturelles

- **Eau souterraine**

Les eaux souterraines, essentielles à l'approvisionnement en eau potable, se répartissent en nappes phréatiques, peu profondes, et en nappes captives, plus profondes et protégées par des couches imperméables. Leur composition chimique dépend du sol traversé. Bien qu'elles soient généralement potables, ces eaux peuvent être contaminées, notamment par des substances chimiques comme les nitrates, hydrocarbures, pesticides, détergents ou métaux lourds, surtout dans les nappes profondes. Celles-ci, bien qu'éloignées des sources de contamination microbienne, restent vulnérables aux polluants chimiques. Lorsqu'elles présentent une richesse en minéraux bénéfiques pour la santé, elles sont alors embouteillées et commercialisées comme eaux minérales. [10-12]

- **Eaux de surface**

Les eaux de surface regroupent l'ensemble des masses d'eau circulant ou stagnantes à la surface des continents, telles que les rivières, fleuves, lacs, étangs, barrages, réservoirs et glaciers. Leur composition chimique dépend largement des terrains qu'elles traversent dans les bassins versants. En raison de leur large exposition au milieu extérieur et des rejets de déchets qu'elles reçoivent, ces eaux sont souvent le siège d'une importante activité

microbienne. Elles sont généralement impropres à la consommation sans traitement préalable, car fréquemment contaminées par différentes formes de pollution : urbaine (rejets des stations d'épuration), industrielle (solvants, hydrocarbures, métaux lourds, produits toxiques), ou agricole (pesticides, herbicides, nitrates, matières organiques) [11,12].

- **Les eaux de mer et eaux saumâtres**

Les eaux de mer et les eaux saumâtres se distinguent par leur forte salinité. Leurs caractéristiques physiques varient selon leur origine (pleine mer, estuaire, estran), incluant la turbidité, la teneur en matières en suspension, la présence de plancton, de sable, ainsi que l'influence des rejets urbains ou industriels, des fleuves, des marées et de la température. En raison de leur teneur élevée en sels, ces eaux ne sont pas potables sans un processus de dessalement complexe. Toutefois, comme l'a démontré Alain Bombard, le jus extrait des poissons reste consommable et potable [11].

I.6.3. Les eaux POTABLES

Une eau potable est une eau douce chimiquement et biologiquement saine, conforme pour un usage lié à la consommation humaine pour éviter toute maladie. Les normes appliquées à une telle eau ne devraient pas être inférieures à celles proposées dans la dernière édition de "Normes internationales pour l'eau potable" publiée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). L'eau du robinet est très utilisée par les ménages car son niveau de potabilité est élevé.

L'eau potable est une eau non salée, une eau douce suffisamment sûre et saine pour être consommée par les humains ou utilisée avec un faible risque de préjudice immédiat ou à long terme. [13]

I.7. Normes de potabilité

Des normes spécifiques sont établies pour garantir la qualité d'une eau destinée à la consommation. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) propose des seuils relativement larges afin de tenir compte des réalités des pays en développement, où l'eau est souvent de mauvaise qualité et les moyens techniques pour un traitement adéquat font défaut. Le tableau ci-dessous présente une comparaison des normes de potabilité de l'eau en Algérie et celles recommandées par l'OMS. [14]

I.7.1. Normes des paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques permettant de définir les normes de potabilité des eaux qui sont : le pH, la conductivité électrique, turbidité, concentration en sulfates, chlorures, etc. C'est différentes normes sont consignées dans le tableau 2.

Tableau 2. Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS [14].

Paramètres	Unité	Norme algérienne	Norme de l'OMS
PH	/	6,5-8,5	6,5-9,2
Température	C°	25	/
Conductivité	µs/cm	2800	/
Résidu sec a 180°C	mg/L	2000	1500
Turbidité	NTU	2	5
Dureté total (TH)	mg/L	500	500
Calcium	mg/L	200	/
Magnésium	mg/L	150	150
Sodium	mg/L	200	/
Potassium	mg/L	20	/
Sulfate	mg/L	400	250
Chlorure	mg/L	500	250
Nitrate	mg/L	50	50
Nitrite	mg/L	0,1	0,1
Aluminium	mg/L	0,2	0,2
Phosphate	mg/L	0,5	0,5
Ammonium	mg/L	0,5	/
Matières organique	mg/L	0,3	/
Métaux	mg/L	0,3	/
Fer	mg/L	0,3	0,3
Manganèse	mg/L	0,5	0,1

I.7.2. Normes des paramètres biologiques et bactériologiques:

Les paramètres biologiques et bactériologiques identifient les micro-organismes présents dans le milieu et donnent une estimation de leur Concentration [9].

L'analyse bactériologique de l'eau a pour but de mettre en évidence la présence des bactéries qui modifient l'aptitude d'une eau à une utilisation donnée, ces organismes possèdent plusieurs caractéristiques telles que :

- La provenance exclusive des matières fécales des animaux à sang chaud.
- La résistance aux antiseptiques voisins de ceux des bactéries pathogènes.
- Leur non-prolifération anarchique dans la nature.
- La production des réactions simples et spécifiques au cours de leur étude.
- Leur apparition en très grand nombre dans le milieu par rapport aux germes pathogènes.

En général, les germes utilisés sont les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux [15]

Tableau 3. Normes OMS des paramètres bactériologiques pour l'eau potable [9]

Variable	Concentration maximale admissible (eau désinfectée)
Coliformes totaux /100 ml	0
Coliformes fécaux /100 ml	0
Streptocoques fécaux/100 ml	0

I.7.3. Normes des substances indésirables

Les substances indésirables sont des substances dont sa présence est tolérée en faible concentration exigée par une réglementation. Parmi ces substances, on peut trouver des éléments qui ne causent que des désagréments pour l'utilisateur (Tableau 4); mais d'autres peuvent avoir une incidence sur la santé.

Tableau 4. Normes des substances indésirables [10].

Paramètres	Unités	Normes				
		U. Européen	OMS	Suisse	France	USA

		NG	CMA	CMA	NG	CMA	CMA	CMA
<i>Ammonium</i>	mg/L	0,05	0,5	0,5	<0,05	0,1-0,5	0,1	-
<i>Argent</i>	µg/L	-	10	10	-	0,1	-	0,1
<i>Cuivre soluble</i>	mg/L	-	1	1	<0,005(source)	1,5	2	1,3
<i>Fer soluble</i>	mg/L	50	0,2	0,2	<0,005(dissous)	0,3(total)	0,2	0,3
<i>Fluorures</i>	mg/L	-	1,5	-	<0,5	1,5	1,5	-
<i>Manganèse</i>	mg/L	200	0,05	0,05	<0,02(dissous)	0,05(total)	0,05	0,05
<i>Nitrates</i>	mg/L	25	50	50	<25	40	50	45
<i>Nitrites</i>	mg/L	-	0,1	0,1	<0,01	0,1	0,1	3
<i>Oxydabilité (O₂)</i>	mg/L d'O ₂	-	5	-	<3	-	5	-
<i>Zinc</i>	mg/L	-	5	5	<0,01(source)	5	5	5

NG : Niveau Guide

CMA : Concentration Maximale Admissible

I.7.4. Normes des substances toxiques

Les normes fixées (Tableau 5) sont sensiblement inférieures aux seuils considérés comme acceptables en toxicologie, C'est pourquoi les teneurs tolérées sont extrêmement faibles. Ces paramètres concernent le plomb et le chrome entre autres [10].

Tableau 5. Normes des substances toxiques [10].

Paramètres	Unités	Normes				
		U. Européenne	OMS	Suisse	France	USA
		CMA	CMA	CMA	CMA	CMA
<i>Arsenic</i>	µg/L	50	50	<2	10	50
<i>Cadmium</i>	µg/L	5	5	<0,5	5	5
<i>Chrome soluble</i>	µg/L	50	50	<1	50	100

<i>Cyanures</i>	µg/L	50	50	/	50	200
<i>Mercure</i>	µg/L	1	1	<0,1	1	2
<i>Nickel</i>	µg/L	50	50	-	20	-
<i>Phosphore</i>	mg/L	5	5	-	-	-
<i>Plomb</i>	µg/L	50	50	0,001	10	15

CMA : Concentration Maximale Admissible.

CHAPITRE II :

Présentation des procédés de traitements

II.1. Introduction :

Le traitement de l'eau est un processus fondamental pour fournir une eau de qualité destinée à la consommation humaine ou à d'autres usages agricoles et industriels.

Ce traitement vise à éliminer les solides en suspension, les produits chimiques indésirables, les micro-organismes et les contaminants afin de rendre l'eau conforme aux exigences sanitaires et environnementales. L'eau potable est une eau consommable sans risque pour la santé. Pour encadrer cette définition de l'eau potable, des normes strictes existent. Elles fixent les teneurs limites qu'une eau potable ne doit pas dépasser. Ces limites concernent des substances considérées comme nocives pour la santé à certaines doses. Si elle peut être bue par tous, une eau potable n'est cependant pas pour autant totalement exempte d'éléments polluants. Cela signifie que leur concentration est assez faible pour préserver la santé des consommateurs.

II.2. Présentation des procédés de traitements

II.2.1. Traitements classiques des eaux de barrage :

Pour rendre l'eau potable, on lui applique des traitements variés qui obéissent tous au même principe : éliminer les éléments de matière contenus dans l'eau par étapes successives, jusqu'aux organismes microscopiques comme les virus et les microbes. Tout cela se fait dans une station de traitement d'eau potable.

II.2.1.1. :

II.2.1.2. Coagulations – floculation

Le processus de coagulation-floculation consiste à introduire des substances chimiques favorisant l'agrégation des particules fines en floes de plus grande taille, facilitant ainsi leur séparation de l'eau. La coagulation, en tant qu'étape chimique, vise à neutraliser les charges négatives des colloïdes. Ce procédé peut être intégré en amont ou entre d'autres étapes de traitement de l'eau et des eaux usées, telles que la sédimentation ou la filtration. Les coagulants les plus couramment employés sont des sels métalliques, notamment ceux à base de fer ou d'aluminium.

L'efficacité de la coagulation dépend de plusieurs facteurs, parmi lesquels le type et la quantité de coagulant utilisé, le mode de mélange, le pH, la turbidité initiale de l'eau ainsi que la nature des contaminants. Par ailleurs, des traitements préalables, comme l'oxydation, peuvent également influencer positivement le rendement du processus. [16]

a. Mécanismes

Dans une suspension colloïdale, les particules restent en suspension pendant une longue durée, voire indéfiniment, en raison de leur charge électrique qui entraîne des forces de répulsion entre elles. Pour provoquer leur agglomération, on introduit un coagulant, généralement un sel métallique ayant une charge opposée, afin de neutraliser les charges négatives et ainsi déstabiliser le système colloïdal. Par exemple, l'ajout de sulfate d'alumine libère des ions positifs qui compensent les charges négatives présentes. Une fois cette neutralisation effectuée, les forces de Van der Waals entrent en jeu, permettant aux particules de s'associer et de former des microflocs. Le tableau 1 illustre les différentes étapes de ce mécanisme de coagulation.

Tableau 6. Les étapes de l'agrégation

Stade	Phénomènes	Terminologie
AJOUT DU COAGULANT	Réaction avec l'eau, hydrolyse, polymérisation	HYDROLYSE
DESTABILISATION	Compression de la double couche	COAGULATION
	Absorption spécifique d'ions du coagulant à la surface de la particule	
	Liaison spécifique d'ions ou d'espèces à la surface de la particule	
	Inclusion du colloïde dans un précipité d'hydroxyde	
	Liaison inter-particulaire par des espèces polymériques du coagulant	
TRANSPORT	Mouvement brownien	FLOCCULATION PERICINETIQUE
	Énergie dissipée (gradient de vitesse)	FLOCCULATION ORTHOCINETIQUE

Les critères de choix d'un coagulant sont nombreux. Son efficacité à réduire la couleur, la turbidité et les matières organiques d'une eau est essentielle. Néanmoins, on ne peut négliger son prix et les effets secondaires comme les fuites en Fe^{3+} et Al^{3+} .

Les coagulants minéraux par suite de leur hydrolyse modifient les caractéristiques physicochimiques de l'eau à traiter (pH, conductivité).

Le pH est un paramètre primordial pour l'élimination des colloïdes, le pH optimal constitue un compromis entre le pH nécessaire pour la coagulation (lié à la nature des colloïdes) et le pH nécessaire à la floculation (lié à la croissance du floc d'hydroxyde de fer ou d'aluminium), Il correspond en général au minimum de solubilité de l'hydroxyde considéré (optimisation de la phase floculation). Ce pH et la solubilité minimale sont fortement influencés par la force ionique et la présence de composés organiques tels que les acides humiques.

Tableau 7. Plage de pH optimale pour l'efficacité des coagulants Al^{3+} et Fe^{3+}

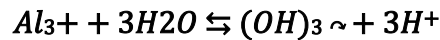
Cation	pH optimal de Coagulation - floculation
Al^{3+}	6,0 – 7,4
Fe^{3+}	Supérieur à 5

Le pH de coagulation peut être ajusté par ajout d'acide ou de base.

b. Les coagulants minéraux

- **Sels d'aluminium :**

Lors de l'ajout de l'ion dans l'eau il se forme un précipité d'hydroxyde d'aluminium avec la libération d'une certaine acidité selon la réaction suivante :



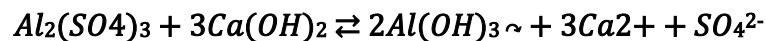
Cette acidité réagit sur certaines espèces en solution notamment les ions hydrogénocarbonates.

- **Sulfate d'aluminium** (forme liquide ou solide)

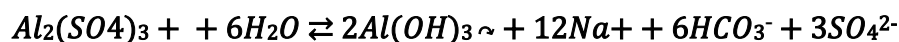


En clarification des eaux de surface, 10 à 150g/m³ exprimés en produit commercial ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$), et de 50 à 300g/m³ pour le traitement des eaux résiduaires. Cette quantité dépend de la turbidité d'eau.

Pour compenser l'acidité il faut en chaux environ le tiers de sulfate d'aluminium exprimé en produit solide.



Cette acidité peut être compensée par le carbonate de sodium, deux types de réactions peuvent se produire selon la neutralisation des ions carbonates, en hydrogénocarbonates ou en CO_2 libre :

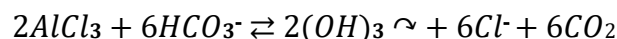


Ou



Il faut en carbonate de sodium entre 50 et 100% de la dose de sulfate d'aluminium, on définit cette quantité avec le jar test.

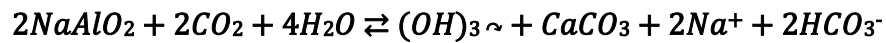
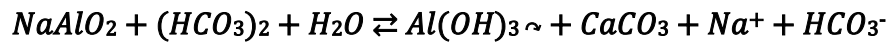
- **Chlorure d'aluminium**



Pour ne pas contaminer l'eau potable par de l'aluminium et pour une bonne coagulation, le pH du processus de coagulation doit être bien maîtrisé, de même que les doses utilisées [17].

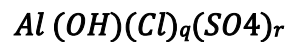
- **Aluminate de sodium**

Contrairement au cas précédent l'aluminium est sous forme basique, il peut déplacer les ions hydrogénocarbonates et le CO_2 dissous selon les réactions suivantes :



- **Polymères d'aluminium**

L'usage des polymères d'aluminium permet la neutralisation et le pontage des colloïdes qui conduisent à une coagulation plus efficace, l'unité de base serait $Al_6(OH)_{12}^{6+}$, cette polymérisation est initiée par une réaction de pontage, la forme générale de ces produits est :

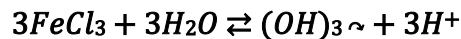


Ces polymères sont moins acides que les sels d'aluminium classiques, leur stabilité est souvent assurée par la présence d'ions sulfates qui inhibent la polymérisation spontanée du produit, leur utilisation conduit souvent à un taux de traitement inférieur à celui de sulfate d'aluminium (exprimé en Al_3^+).

La cohésion de boue est toujours meilleure, mais un adjuvant de floculation est souvent nécessaire, les produits commerciaux sont en évolution continue, on peut citer : PAC (Poly Aluminium Chloride), Aqualec, Alpoclar (des noms commercial).

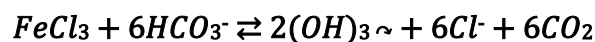
- **Sels de fer**

Le principe de la réaction est le même que pour le sel d'aluminium avec :



- **Chlorure ferrique**

En clarification des eaux de surface, 5 à 150g/m³ de chlorure commercial solide ($FeCl_3, 6H_2O$)



Il existe aussi d'autres sels de fer utilisés autrefois tel que le sulfate ferrique et le sulfate ferreux, mais ils sont de moins en moins utilisés.

Les floes formés ne sont pas assez gros et leur élimination peut être difficile, des adjuvants sont ajoutés pour agglomérer d'avantage les particules en les transformant en floes facilement séparables.

La floculation est un procédé qui favorise le rassemblement des petites particules (microfloes formés par coagulation) en particules de dimensions plus importantes qui peuvent être éliminées par les procédés de séparation liquide – solide [18].

Smoluchowski (1917) a observé que les petites particules subissent un mouvement brownien aléatoire en raison des collisions avec des molécules fluides et que ces mouvements entraînent des collisions de particules à particules. Langelier (1921) a observé que l'agitation de l'eau contenant des particules crée des gradients de vitesse qui provoquent des collisions de particules. Ces observations fournissent la base pour décrire les mécanismes de floculation [18].

La floculation de petites particules (moins de $0,1 \mu\text{m}$ de diamètre) est causée par la diffusion. Le taux de floculation est relatif à la vitesse à laquelle les particules diffusent. Ainsi, le mécanisme principal d'agrégation se fait par le mouvement brownien. Cette agrégation est appelée floculation à micro-échelle ou floculation péricinétique. Après quelques secondes, la taille des microflocs varie de 1 à environ $100 \mu\text{m}$ de diamètre.

L'agitation est le principal mécanisme de floculation pour les particules supérieures à $1 \mu\text{m}$ de diamètre. Ce mécanisme est connu sous le nom de floculation à l'échelle macroscopique ou floculation orthocinétique. L'agitation mécanique est utilisée pour réaliser la floculation orthocinétique. [18]

- **Floculants** (Aide-coagulants)

Des polymères minéraux (silice activée) et des polymères naturels (amidon, alginate) ont d'abord été utilisés. Mais l'apparition de polymères de synthèse très diversifiés a fait évoluer les performances de floculation.

Les polymères organiques de synthèse sont des macromolécules à longue chaîne obtenues par association de monomères synthétiques, dont certains possèdent des charges électriques ou des groupements ionisables. Ce sont des produits à très haute masse molaire qui ont permis d'atteindre des performances remarquables généralement très supérieures à celles des polymères naturels.

Leur classification se fait selon l'ionocité du polymère : Anioniques, neutres et cationiques [18]

II.2.1.3. Décantation

Un des objectifs de la coagulation-floculation est d'augmenter la taille des particules en suspension afin que ces dernières décantent dans une période de temps raisonnable. Une fois les particules et précipités sont formés, le moyen le plus courant de les retirer de l'eau est par décantation dans un bassin de sédimentation, également appelé clarificateur ou décanteur [19].

Les ingénieurs et les chercheurs dans le domaine de l'eau rencontrent des difficultés à décrire théoriquement les mécanismes de séparation des particules en raison de l'irrégularité de leur forme, densité et taille. Malgré cela, les modèles basés sur des systèmes idéalisés restent des outils précieux pour mieux comprendre et interpréter les comportements observés dans des situations plus complexes et réalistes.

- **Type de décanteur**

La décantation a lieu dans des ouvrages spécifiques appelés décanteurs, dont il existe une variété de formes et de configurations. Le choix de leur type ainsi que leur dimensionnement dépendent de la quantité et de la qualité de l'eau à traiter. Ces décanteurs interviennent généralement lors des étapes de prétraitement, comme le débouage ou la décantation primaire, dans le but d'éliminer les matières en suspension susceptibles de se déposer naturellement.

Le processus de séparation le plus simple à développer pour la clarification continue des particules présentes dans l'eau est un décanteur horizontal.

Les clarificateurs à flux horizontale de configuration rectangulaire ou circulaire étaient le processus de clarification standard le plus utilisés dans le monde, ils sont encore utilisés en Amérique du Nord.

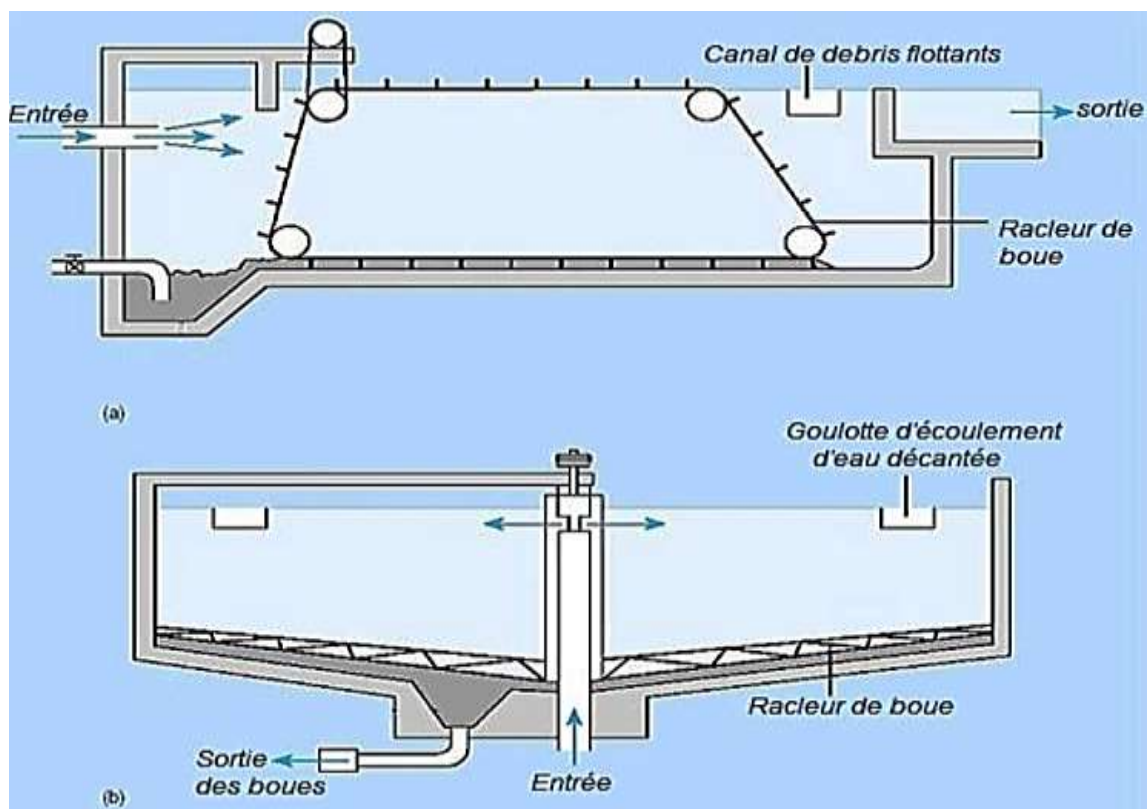


Figure 4. Décanteurs à flux horizontale : – (a) configuration rectangulaire – (b) configuration circulaire

Dans les bassins rectangulaires, la vitesse de débordement est de 1 à 2 m/h pour les eaux coagulées, avec un temps de rétention de 2 à 3 heures, les principaux problèmes de conception concernent la bonne répartition du débit à l'entrée avec un minimum de turbulence pour éviter le cisaillement des floccs. Idéalement, les conditions d'écoulement nécessitent un rapport longueur/Largeur de 20, en pratique les rapports supérieurs à 5 ont tendance à être suffisants.

La boue est raclée tout au long du fond du bassin vers une évacuation ou elle est pompée vers l'épaississement et le traitement des boues. Les clarificateurs circulaires opèrent à partir d'un puits d'alimentation centrale vers des déversoirs de telle sorte que la vitesse diminue progressivement, généralement à fond incliné et un pont racleur pour conduire la boue vers le centre du fond du bassin ou elle sera soutirée. Le profil de vitesse décroissant permet un débordement légèrement plus élevé que les réservoirs rectangulaires et un temps de séjour légèrement plus court [20].

Initialement le **clarificateur à flux vertical** sont des bassins rectangulaires avec une trémie en forme de pyramide inversée (**Figure 5**).

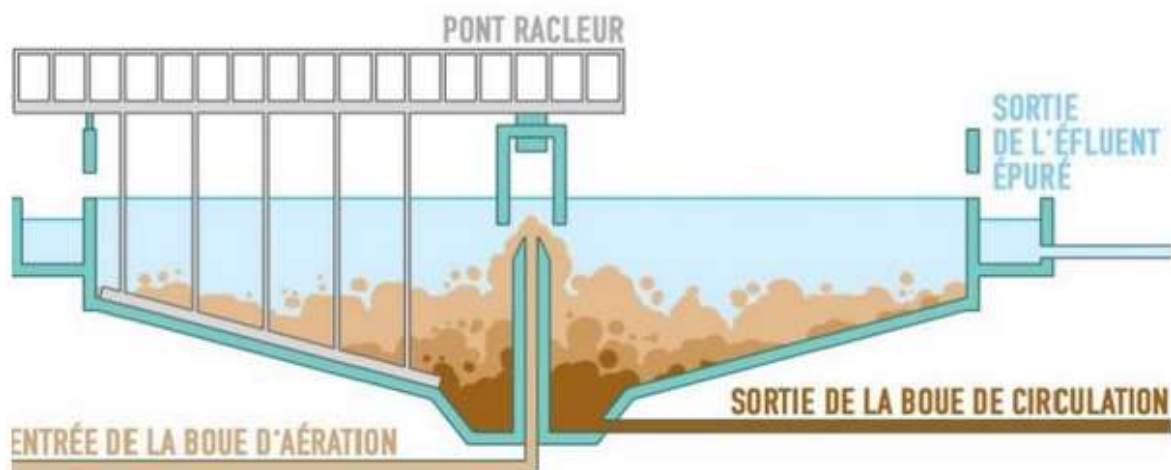


Figure 5. Clarificateur à flux vertical rectangulaire [21]

Les **décanteurs lamellaires** (**Figure 6**) où des plaques parallèles sont installées permettant de multiplier les surfaces de décantation et donc réduire l'espace nécessaire pour la séparation, l'eau s'écoule verticalement à travers les plaques parallèles, les particules sont interceptées par les plaques et glissent sur elles et retombent vers le fond. Dans la pratique les

plaques sont inclinées de 50 à 60°, la surface active considérée est la surface projetée, en multipliant la surface de la lamelle par le cosinus de l'angle d'inclinaison. Le taux de débordement par rapport à cette surface projetée est appelé vitesse de Hazen [22].

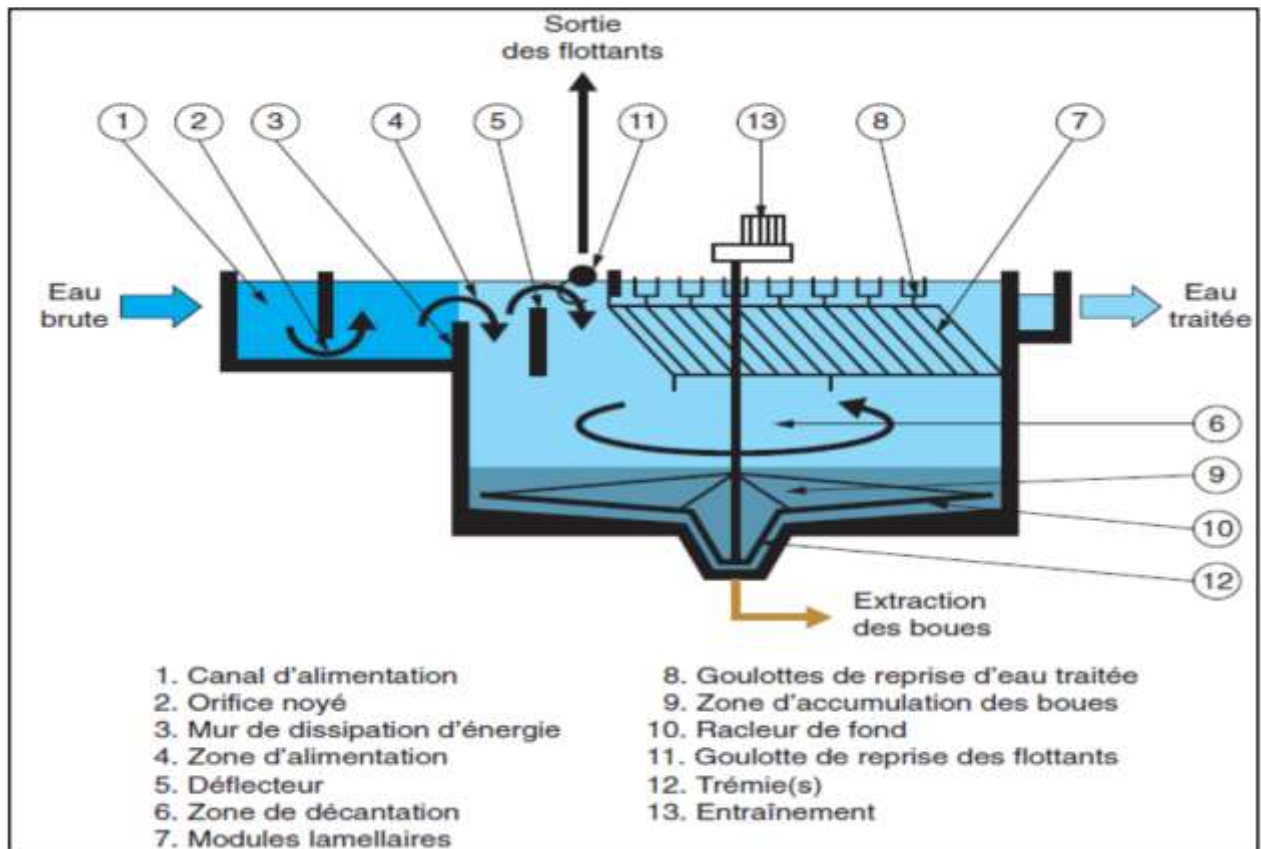


Figure 6. Représentation schématique d'un décanteur lamellaire (Sédipac D)

II.2.1.4. Flottation

La flottation est une méthode de séparation des solides en suspension qui s'applique aux particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient, les bulles fines d'air comprimé insufflé au bas du bassin s'adhèrent aux particules solides et les font flotter à la surface où elles forment une boue, celle-ci est éliminée grâce aux lames racleuses à la surface vers une évacuation [23].

a) Flottation naturelle : la masse volumique des particules est naturellement suffisante pour que la flottation ait lieu parce que la densité des particules est inférieure à celle de l'eau

b) Flottation assistée : elle met en œuvre des moyens extérieurs pour améliorer la séparation de particules naturellement flottables.

c) Flottation provoquée : lorsque la masse volumique du solide est supérieure à celle du liquide elle est artificiellement réduite. Elle tire parti de l'aptitude qu'ont les particules solides

à s'unir à des bulles de gaz (l'air généralement) pour former des attelages moins denses qui flotteront à la surface.

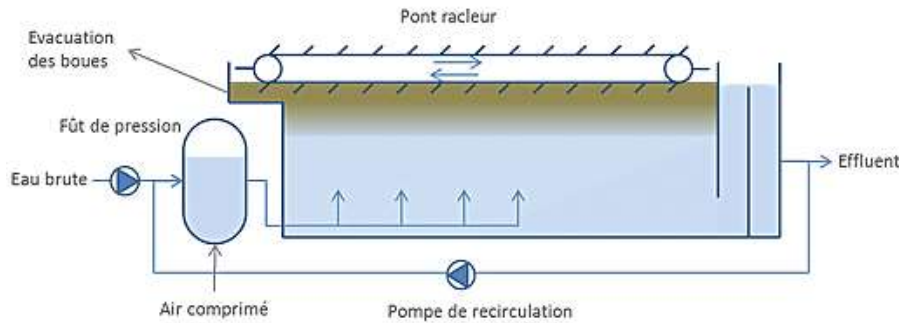


Figure 7. Flottation provoquée [23]

II.2.1.5. Filtration

Lors du processus de décantation, certaines particules peuvent rester en suspension et être entraînées par l'eau, ce qui affecte sa turbidité et rend nécessaire le recours à une étape de filtration.

La filtration est une opération unitaire qui consiste à faire passer un liquide contenant des matières en suspension et des particules solides à travers un support poreux (voir Figure 8). Elle intervient généralement après les étapes de coagulation-floculation et de décantation. Ce procédé permet notamment de réduire la turbidité, d'éliminer certaines bactéries, ainsi que des éléments responsables de la coloration, des goûts et des odeurs indésirables [24].

Le choix du matériau filtrant dépend du type de filtre utilisé, plusieurs options étant disponibles selon l'application visée.

a) Des tissus de fibres, des toiles métalliques, ou des pierres poreuses à interstices très fins, ces matériaux retiennent les solides en surface, on les utilise rarement pour traiter des quantités d'eau importantes

b) Des granulés libres qui n'adhèrent pas les uns aux autres, ces matériaux sont insolubles et inattaquables par le liquide filtré ou par les solides qui s'y déposent, la filtration a lieu soit en surface soit en profondeur selon les caractéristiques granulométriques du matériau filtrant.

Le sable, l'antracite et l'ilménite sont couramment utilisés dans les usines de traitement des eaux.



Figure 8. Matériaux filtrants les plus utilisés

II.2.1.6. Désinfection

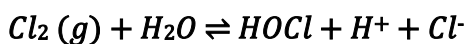
L'élimination des organismes pathogènes est effectuée par des processus impliquant l'addition de produits chimiques coagulants suivie par la sédimentation et la filtration et par d'autres procédés de filtration tels que la filtration sur membrane et sur lit de charbon activé. Contrairement à l'élimination, le concept d'inactivation d'agents pathogènes dans l'eau est lié à l'effet que l'application d'un désinfectant a pour effet de détruire la structure cellulaire des micro-organismes ou de perturber son métabolisme, sa biosynthèse ou sa capacité de croissance / reproduction. [25]

Filtre en période de filtration Filtre en période de lavage

- **Techniques de désinfection**
- **Chloration :**

Le «chlore» est un terme générique pour les espèces chimiques actives - l'acide hypochloreux qui agit comme un désinfectant. Il est formé de plusieurs produits chimiques (chlore élémentaire, hypochlorite de sodium et de calcium) lorsqu'ils sont dosés à l'eau. La

«chloration» est le terme générique pour la désinfection utilisant ces produits chimiques. Quand le chlore est ajouté à l'eau, un mélange d'acide hypochloreux et d'acide chlorhydrique est formé [14]:



Cette réaction est dépendante du pH et elle est pratiquement terminée en quelques millisecondes, cette dépendance peut être résumée comme suit

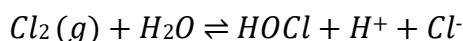
a) En solution diluée et à des niveaux de pH supérieurs à 1, l'équilibre est déplacé vers la droite et très peu de Cl_2 existe en solution.

b) L'acide hypochloreux est un acide faible et se dissocie mal à des niveaux de pH inférieurs à environ 6. Entre pH 6,0 et 8,5, HOCl se dissocie de façon rapide et presque complète :



c) Le chlore existe principalement sous forme de HOCl à des pH compris entre 4,0 et 6,0.

d) En dessous de pH 1,0, en fonction de la concentration de chlorure, le HOCl revient à Cl_2 comme montré dans l'équation:



e) À 20°C, au-dessus d'environ pH 7,5, et à 0°C, au-dessus d'environ pH 7,8, ions hypochlorite prédominent.

f) Les ions hypochlorite existent presque exclusivement à des niveaux de pH autour de 9 et plus.

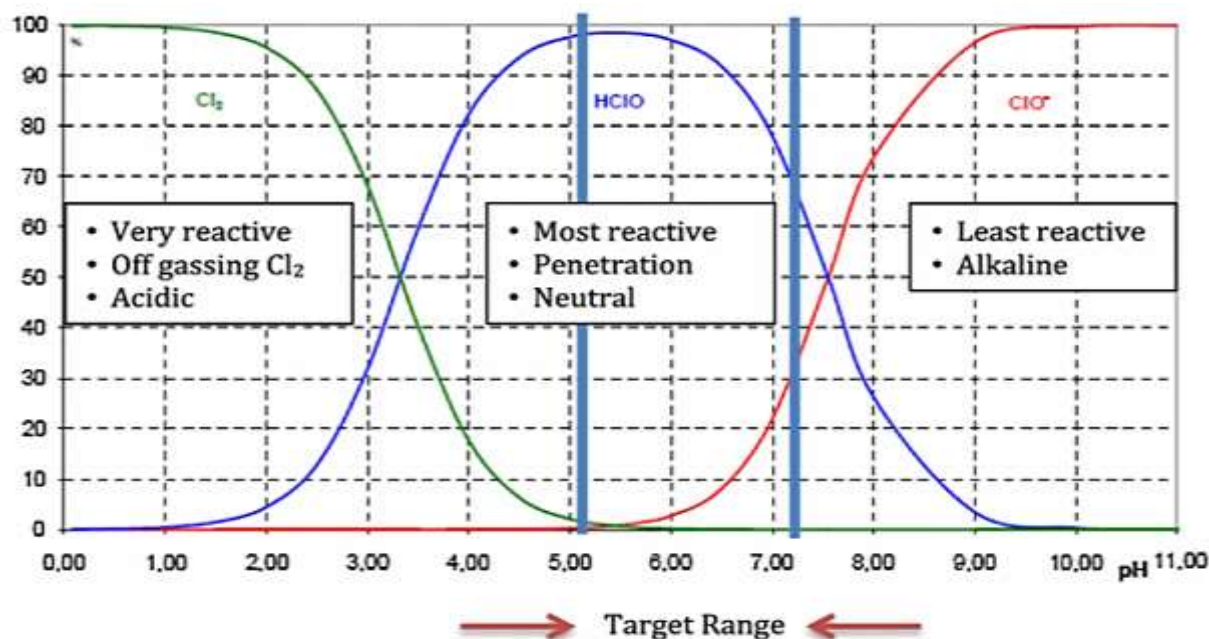
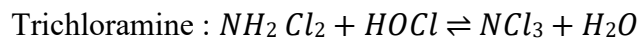
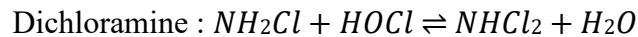
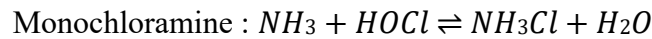


Figure 9. Effet de pH en présence de chlore dans l'eau

Dans certains cas, l'ammoniaque peut être ajoutée en présence de chlore afin de former des chloramines. Cette réaction se produit lorsque les deux réactifs sont introduits dans

des proportions précises et dans des conditions bien maîtrisées. Un contrôle rigoureux de ce processus est indispensable pour limiter la formation de sous-produits responsables de goûts et d'odeurs indésirables dans l'eau traitée.

Quand le chlore est ajouté à une eau contenant de l'ammoniaque naturellement présente ou ajouté, l'ammoniaque réagit avec l'acide hypochloreux pour former de divers chloramines :



- **Ozonation:**

L'ozone est un oxydant très puissant utilisé dans le traitement aussi bien des eaux de surface que des eaux souterraines, ainsi que dans le traitement des eaux usées. Il permet d'éliminer divers contaminants, notamment les micro-organismes, les polluants organiques et certains ions inorganiques. Son utilisation la plus ancienne concerne la désinfection de l'eau potable, où il agit en tant que biocide.

L'efficacité de la désinfection à l'ozone dépend du temps de contact et peut être estimée à partir de la constante cinétique de désactivation du micro-organisme ciblé. En outre, l'ozone permet l'élimination de métaux tels que le fer, le manganèse ou encore l'arsenic, en les oxydant sous forme insoluble, ce qui facilite ensuite leur séparation par filtration.

. Les deux processus nécessitent de l'ozone sous forme moléculaire, mais l'élimination des polluants organiques réfractaires à d'autres traitements ne peut être possible qu'en exploitant les réactions radicalaires indirectes qui ont lieu lors de l'ozonation. L'ozone se décompose dans l'eau, en particulier en présence de peroxyde d'hydrogène, pour donner le radical hydroxyle, l'oxydant le plus puissant disponible dans le traitement de l'eau. Des modèles pour le processus d'ozonation sont nécessaires pour ajuster le dosage d'ozone au degré souhaité d'élimination d'un polluant donné ou à une mesure globale de la pollution. La minéralisation, définie comme l'élimination du carbone organique, a été réalisée dans les eaux usées des stations d'épuration urbaines et domestiques [26].

II.3. Traitement des eaux par osmose inverse :

II.3.1. Principe de l'Osmose Inverse

La figure n°1 ci-après représente un tube en U avec une membrane semi-perméable séparant les deux branches.

Sur la branche de droite, le liquide A est un solvant faiblement concentré (comme de l'eau pure H_2O), tandis que sur la branche gauche, le liquide B est un solvant fortement concentré (un mélange de solvant et de soluté, tel que de l'eau pure enrichie en chlorure de sodium $H_2O + NaCl$). Évidemment, le solvant A (H_2O) va traverser la membrane semi-perméable pour diluer la solution B ($H_2O + NaCl$). On désigne ce phénomène par le terme d'Osmose naturelle.

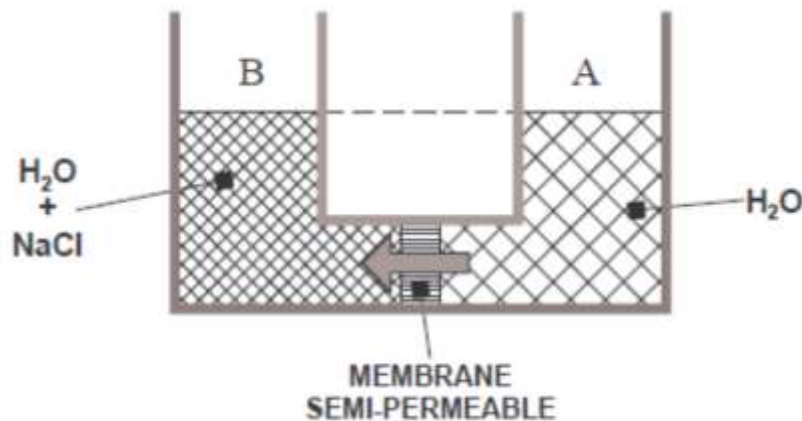


Figure 10. Osmose naturelle [27]

Au bout d'un certain temps (Cf. Figure n°2) un état d'équilibre est atteint (Equilibre Osmotique). La différence de hauteur H qui sépare les deux niveaux liquides représente la pression osmotique de la solution B.

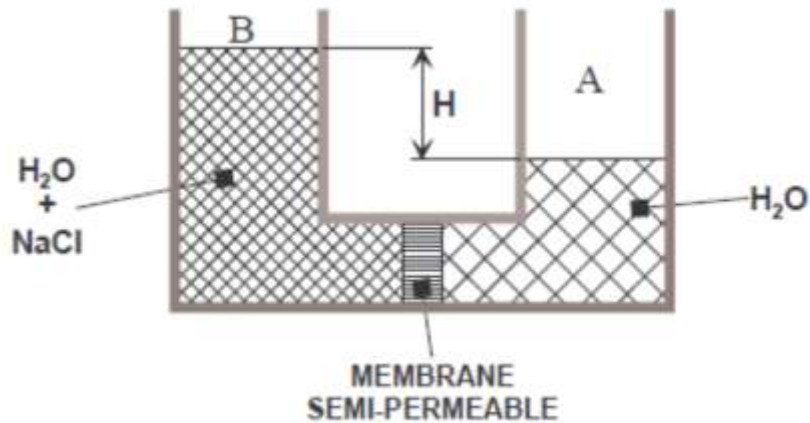


Figure 11. *Equilibre Osmotique* [28]

Lorsqu'une pression PPP supérieure à la pression osmotique est appliquée sur la solution concentrée B (voir Figure n°3), le phénomène naturel s'inverse : seul le solvant (à de rares exceptions près) traverse la membrane semi-perméable en direction de la solution diluée. Ce principe constitue le fondement de l'osmose inverse.

On peut imaginer l'eau de mer dans la branche B, l'eau douce dans la branche A. Sous l'effet d'une pression de l'ordre de 60 bars et avec des membranes appropriées, il va être possible de dessaler l'eau de mer par osmose inverse.

Les autres applications sur des eaux de moindre salinité ou des fluides ou effluents industriels, relèvent du même principe ; seules les membranes et les pressions mises en œuvre sont différentes.

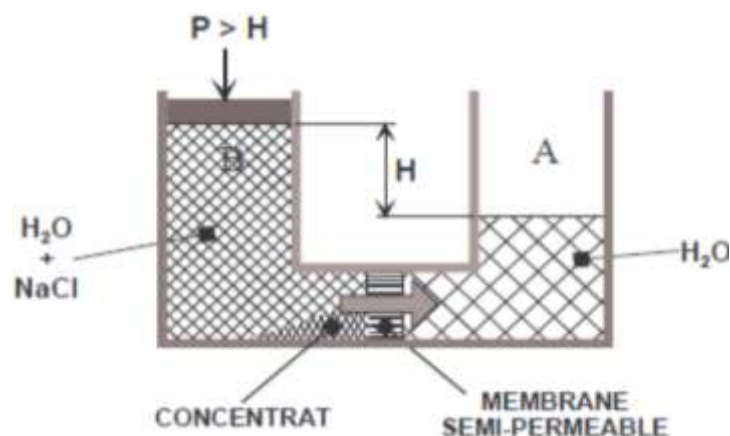


Figure 12. *Osmose inverse (OI)* [29]

II.3.2. Conception d'une usine d'Osмосe Inverse :

Une usine de dessalement d'eau de mer par OI comprend essentiellement :

- un système d'alimentation en eau de mer ;
- un ensemble de prétraitements physico-chimiques de l'eau de mer ;
- un dispositif de mise en pression de l'eau prétraitée ;
- l'osmoseur proprement dit ;
- un système de récupération de l'énergie du concentrât ;
- un ensemble de post-traitements du perméat ;
- un poste de nettoyage chimique des membranes.

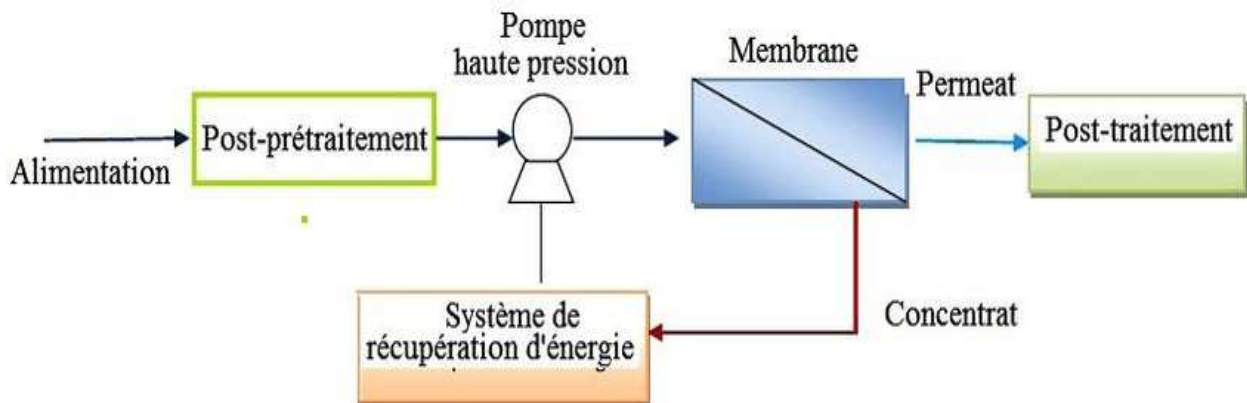


Figure 13. Schéma de principe d'unité de dessalement basé sur le principe d'osmose inverse.

II.3.2.1. Description des différents composants

a) Système d'alimentation en eau de mer

L'alimentation en eau de mer peut s'effectuer soit par prise directe, soit par l'intermédiaire de puits côtiers. Ce dernier système permet généralement d'obtenir une eau de bonne qualité, ce qui soulage d'autant les prétraitements, et permet de s'affranchir des risques de pollutions accidentelles de l'eau de mer.

b) Prétraitements physico-chimiques

Les prétraitements ont pour but de conférer à l'eau d'alimentation des membranes d'OI toutes les qualités requises afin d'éviter au maximum :

- leur entartrage par précipitation de certains sels « concentrât » ;
- leur colmatage par les matières en suspension ;
- leur encrassement (biofouling) par des matières biologiques (zooplancton, bactéries,..)

Afin d'assurer la pérennité des installations et de réduire la fréquence des nettoyages chimiques, il est essentiel d'adapter le traitement préliminaire de l'eau de mer. Selon ses caractéristiques et son mode de prélèvement, cette dernière peut nécessiter un degré de clarification plus ou moins poussé, allant d'une simple filtration sur média granuleux précédée

d'une coagulation, jusqu'à un traitement plus complet par coagulation-floculation suivi d'une décantation ou d'une flottation. Cette dernière étant particulièrement efficace pour éliminer les algues.

Les prétraitements chimiques incluent généralement :

- une acidification à l'aide d'acide sulfurique, visant à prévenir la précipitation du calcium associé aux bicarbonates ;
- et/ou l'ajout d'un séquestrant, destiné à éviter la formation de dépôts de calcium principalement liés aux sulfates ;
- une chloration pour oxyder les micro-organismes présents, suivie d'une déchloration par injection de bisulfite de sodium, afin de protéger les membranes composites, qui ne tolèrent aucun résidu de chlore.

En complément, la microfiltration constitue la barrière finale de protection avant l'osmose inverse. L'eau d'alimentation des membranes doit idéalement présenter une turbidité inférieure ou égale à 0,2 NFU et un indice de colmatage (Fouling Index à 15 minutes) inférieur ou égal à 3. Ces valeurs peuvent être atteintes grâce à un prétraitement par ultrafiltration membranaire.

Enfin, la teneur en matières organiques, qui représentent une source nutritive pour les bactéries, doit être minimisée afin de limiter les risques de bio-encrassement (biofouling).

c) Dispositif de mise en pression - Système de récupération de l'énergie du concentrât

La pression osmotique de l'eau de mer standard (35 g/l à 15°C, est de 25 bar. Pour obtenir une productivité acceptable économiquement des membranes d'OI, la pression d'alimentation doit être de l'ordre de 65 bar (P_{\max} en fonction de l'origine des membranes : 56 à 90 bar).

La mise en pression est assurée, soit par des pompes volumétriques (à pistons -à membranes), soit par des pompes centrifuges multi-étagées, les premières étant plutôt adaptées aux faibles débits. Pour maintenir des conditions optimales d'écoulement hydraulique dans les éléments d'Osmose Inverse, un certain débit de déconcentration doit être maintenu.

Le facteur de conversion [$Y = (\text{débit perméat} : \text{débit d'alimentation}) \times 100$] est de l'ordre de 40 à 60 %, on déduit que 40 à 60 % de l'eau est rejetée.

d) Osmose inverse

Les membranes d'osmose inverse (OI) sont généralement constituées de feuilles minces composites, enroulées en spirale pour former des éléments standardisés (voir Figure 13).

Ces éléments sont installés à raison de six ou sept par corps de pression. Selon la salinité de l'eau de mer, sa température, ainsi que les exigences de qualité du perméat, le procédé de dessalement peut être réalisé en une ou deux passes.

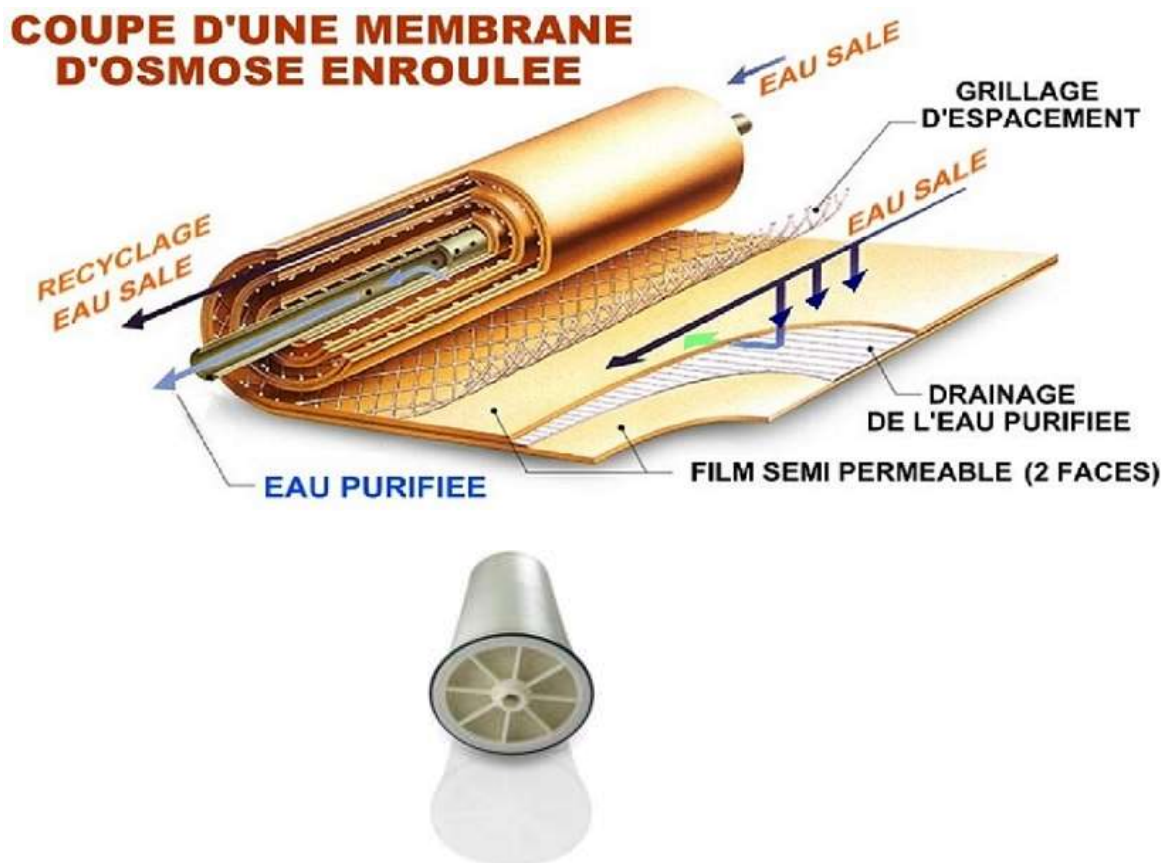


Figure 14. Une membrane d'osmose inverse [30]

dégradation des membranes

II.4.1. Colmatage des membranes (Fouling)

Le colmatage des membranes a pour conséquence de réduire le flux d'écoulement ou d'augmenter la pression d'opération, ainsi que de modifier la sélectivité des membranes. Le but du nettoyage est de retrouver, par une procédure chimique, mécanique ou enzymatique,

les caractéristiques initiales des membranes. Cependant, les membranes propres ne retrouvent jamais les caractéristiques qu'elles avaient lorsqu'elles étaient neuves et au fur et à mesure des nettoyages, elles ont toujours plus ou moins tendance à se dégrader.

La détermination de la nature et de la structure des éléments qui colmatent la membrane est nécessaire pour établir le choix des agents de nettoyage et des conditions d'opération les plus efficaces. Les caractéristiques de ces éléments sont fonction de la composition physicochimique du fluide filtré (solvant et soluté), de la nature chimique de la membrane, de sa perméabilité ainsi que des conditions d'opération (température, pression, hydrodynamique, pH, force ionique, etc.) du procédé de séparation (Guitoun, 2017) [31]. Il est possible de classer les éléments colmatant en trois catégories :

- ▀ **Les dépôts minéraux** correspondent au phénomène d'entartrage ou scaling constitués principalement par CaCO_3 , $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ (Gypse₂), etc.
- ▀ **Les dépôts organiques**, telles que les matières en suspension, les acides humiques et fulviques, les micro-organismes ainsi que les produits excrétés par ces derniers (polysaccharides).
- ▀ **Les dépôts colloïdaux**, tels que la silice et les hydroxydes de fer, de manganèse et d'aluminium (Amoura & Toumi, 2020). [32]

II.4.2. Différents moyens de lutte contre le colmatage

Généralement, trois types de nettoyage sont pratiqués :

1. Le nettoyage mécanique est un nettoyage partiel, mais rapide. Il consiste à décoller et retirer la matière accumulée sur la membrane par des forces mécaniques, d'origine hydrodynamique. La procédure généralement utilisée est le rétrolavage. Une partie du perméat est retourné à contre-courant à travers la membrane. Une telle pratique nécessite une membrane qui soit en mesure de supporter physiquement un gradient de pression inversé. Une autre pratique consiste à utiliser des écoulements pulsés³, ce qui permet d'augmenter périodiquement la vitesse tangentielle à la surface de la membrane. Enfin, par injection continue ou occasionnelle d'air (ou de gaz) à travers la membrane, la matière déposée en surface peut éventuellement se décoller. Très efficace dans le cas de dépôts faiblement liés au support, ce type de nettoyage ne

concerne que les configurations tubulaires ou spiralées. Toutefois il ne permet pas de se libérer totalement du nettoyage ou de la désinfection par voie chimique, mais vise à réduire leur fréquence.

2. Le nettoyage chimique, qui implique un arrêt de production périodique, génère des coûts en solutions de lavage et en traitement des effluents. Il consiste en des séquences de lavage acide et basique, ainsi que de phases de rinçage. La durée d'une séquence de nettoyage peut aller de 30 à 60 min. Les nettoyages sont généralement effectués à la température la plus élevée que la membrane peut supporter sans dégradation, pour une meilleure efficacité, soit de 60 à 80 °C.

3. Le nettoyage enzymatique constitue une alternative aux traitements chimiques. Il peut être appliqué dans les cas de membranes sensibles aux réactifs chimiques, au pH ou à la température élevée, ainsi que dans les cas de colmatage avancé. Bien que peu énergivores et biodégradables, les enzymes requièrent des temps de traitement plus longs que les traitements chimiques et sont aussi plus coûteux. Pour ces raisons, qu'ils sont peu adoptés.

II.4.3. L'entartrage (Scaling)

L'entartrage est un problème dû aux sels minéraux qui ont tendance à se former sur les surfaces

d'échanges. Les dépôts sont constitués principalement par du carbonate de calcium (CaCO_3), de l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et du sulfate de calcium. La présence de dépôts de tartre sur une surface d'échange, est due à deux conditions principales :

- ◆ Une condition thermodynamique : il faut que la limite de solubilité soit dépassée, c'est-à-dire qu'il y ait sursaturation.
- ◆ Une condition cinétique : il faut que la vitesse de déposition soit suffisamment rapide. L'entartrage consiste en la formation de solides amorphes ou cristallisés qui dépend de la température (diminution de la solubilité quand la température augmente) et de la composition de l'eau [32].

II.4.4. Différents moyens de lutte contre l'entartrage

La formation de tartre doit être évitée pour maintenir un fonctionnement correct des installations.

◆ Une première solution consiste à jouer sur le procédé : apport d'énergie calorifique supplémentaire dans le cas des procédés de distillation, application d'une pression supérieure dans celui des procédés membranaires.

◆ Une deuxième solution consiste à prétraiter l'eau par :

- L'ajout d'acide qui induit une décarbonatation du milieu par dégazage du gaz carbonique formé à partir des hydrogénocarbonates ;

- L'ajout de chaux et de germes de cristallisation qui favorisent la précipitation du carbonate de calcium.

- L'emploi d'inhibiteurs d'entartrage : polyphosphate, organophosphate, polymères polycarboxyliques.

Quelle que soit la solution adoptée, elle augmente le coût du dessalement [32].

- **Les étapes clés sont les suivantes :**

Prétraitement : L'eau brute subit un prétraitement pour éliminer les particules en suspension, le chlore et d'autres contaminants qui pourraient endommager la membrane.

Osmose inverse : L'eau prétraitée est pompée sous haute pression à travers des modules contenant les membranes semi-perméables.

Post-traitement : L'eau perméat (eau pure) peut subir un post-traitement (ultraviolet, ozonation) pour garantir une qualité encore plus élevée.

CHAPITRE III :
Résultats et discussion

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons deux différents types d'eaux brutes (eau de barrage - eau de mer) étudiés après les procédés de traitement et nous nous efforçons d'évaluer et de contrôler la qualité de ces différentes eaux à travers certains paramètres physico-chimiques.

III.2. Sites d'accueil

III.2.1 Station de traitement mexa el taref

Le barrage Mexa est aménagé sur la vallée de l'oued El-Kebir-Est, au Nord-Est de la ville d'EL-Tarf (Algérie) et est alimenté par 3 oueds : **El-Kebir, Bougous et Ballouta (figure 15)**.

Le barrage Mexa est d'une capacité de 280 hm³ a été mis en eau au cours de 'année 2000. Les eaux de ce barrage sont destinées à l'alimentation en eau potable des villes d'Annaba, d'El-Tarf et d'El-Kala ainsi qu'à l'irrigation des champs agricoles (**Quartsi et al., 2011**).

Le barrage Mexa est situé à 8 km du chef-lieu de la wilaya El Tarf, le barrage Mexa se trouve dans la commune de Bougous, près de la frontière Alger-Tunisienne. Bougous est une commune de la wilaya d'El Tarf (Nord-Est Algérien), située à environ 20 km au sud-est du chef-lieu de la wilaya et à 10 km à l'ouest de la frontière tunisienne.

La ville de Bougous se situe au sud du parc national d'El Kala (**Guechi et Leulmi , 2016**).

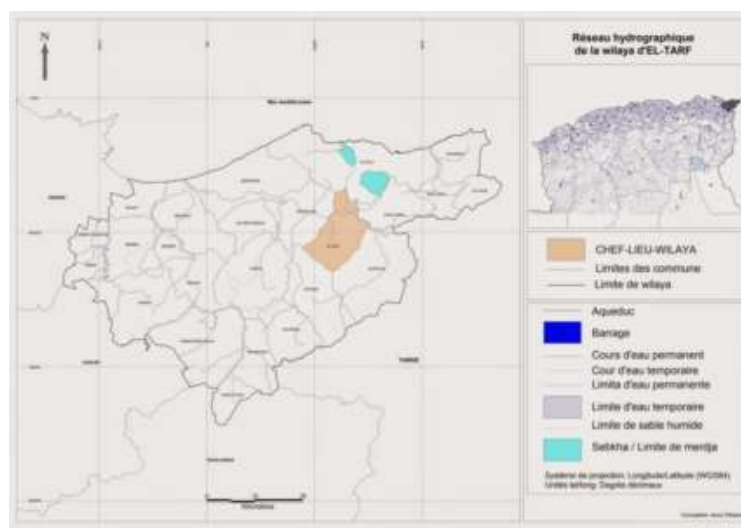


Figure 15. Carte de réseau hydrographique de wilaya d'El Tarf

III.2.2. La station de dessalement d'El Marsa à Skikda

La station de dessalement d'eau de mer de la commune d'El Marsa (extrême ouest de Skikda) a été récemment mise en service, mettant ainsi fin aux difficultés d'approvisionnement en eau potable des habitants de cette collectivité locale et des villages environnants, ont indiqué hier, les services de la wilaya. Baptisée du nom du chahid Mohamed Amirat, la station de dessalement d'eau de mer de la commune d'El Marsa traite 5.000 m³/jour. Elle est actuellement exploitée à hauteur de 50% de ses capacités, soit 2.500 m³/jour, a précisé la même source, ajoutant qu'elle fonctionnera en plein régime, dans les prochains jours pour assurer de l'eau potable en H/24. Les services de la wilaya ont rappelé que la réalisation de cette station de dessalement d'eau de mer a mobilisé une enveloppe financière de 1,6 milliard de DA, à laquelle s'ajoutent 170 millions de DA, réservés au raccordement de la station aux châteaux d'eau. Le wali de Skikda, Houria Meddahi qui a procédé à la mise en service de la station a mis l'accent sur l'impératif d'assurer la maintenance et la réhabilitation des réseaux d'alimentation en eau potable .

III.3. Matériels et réactifs

Tableau 8. Présentation des caractéristiques essentielles des équipements et réactifs utilisés

Matériels	Réactifs
- Bécher	- Eau à analysé
- Pipette	- Indicateur noir d'eriochrome T
- Erlenmeyer	- Solution acide éthylène-diaminetétracétique
- Fiole jaugé	- Tampon Ammoniacal
- Burette	-Acide chlorhydrique (HCl)
- Agitateur magnétique	- Indicateur phénolphtaléine
- Barreau magnétique	- Indicateur méthylorange
- pH-mètre	- Solution de chromate de potassium K ₂ CrO ₄
- Conductimètre	- Solution de nitrate d'argent (AgNO ₃)
-spectrophotometre	
-balance analytique	
Hote	
Jarre teste	

III.4. Évaluation de la qualité de l'eau

III.4.1. Mesure du pH

Principe : Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène $[H^+]$ présents dans l'eau ou les solutions.

La différence de potentiel existant entre une électrode en verre et une électrode de référence (Calomel - KCl saturé), plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ .

- **Appareil** : pH mètre
- **Electrode** : Electrode de pH combiné
- **Réactifs** : Tampon pH = 10 ; Tampon pH = 7 ; Tampon pH = 4



Figure 16. pH- mètre

Mode opératoire :

- **Etalonnage de l'appareil** :
 - Allumer le pH mètre
 - Rincer l'électrode avec de l'eau distillée
 - Prendre dans un petit bécher, la solution tampon de pH = 7 et tremper l'électrode de pH dans cette solution.
 - Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard 2 (pH = 4)
 - Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée
 - Réétalonner de la même manière avec les solutions tampon pH = 4 en suite pH = 10
 - Puis rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée.
- **Dosage de l'échantillon** :
 - Prendre environ 50 ml d'eau à analyser
 - Mettre un agitateur avec une faible agitation

- Tremper l'électrode dans le bécher
- Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation
- Puis noter le pH.

III.4.3. Mesure de la conductivité

Principe : Mesure de la conductance électrique d'une colonne d'eau délimitée par deux électrodes de platine (Pt) (ou couvertes de noir de platine) maintenues parallèles.

Si R est la résistance de la colonne d'eau en Ohms, S sa section en cm^2 et l , sa longueur en m, la résistivité électrique en ohms.cm est :

$$P=RSI$$

La conductivité électrique en $\mu\text{S}/\text{cm}$ est :

$$\varphi=1/P=l/RS$$

Appareillage : Conductimètre à électrode ; Récipient contenant l'eau à analyser, présenter dans la figure17.



Figure 17. Conductimètre

Mode opératoire : Il est essentiel d'utiliser une verrerie parfaitement propre, rincée à l'eau distillée avant toute manipulation. La cellule de conductivité doit être soigneusement rincée, d'abord avec de l'eau distillée, puis avec l'échantillon à analyser. La mesure se fait dans un second récipient, en veillant à ce que les électrodes de platine soient totalement immergées. Une agitation continue (à l'aide d'un barreau magnétique) garantit une répartition homogène des ions entre les électrodes et élimine les bulles d'air susceptibles de fausser la mesure.

III.4.4. Dosage du titre hydrotimétrique (TH) par la méthode complexométrie

Principe : Les ions alcalino-terreux présents dans l'eau, tels que le calcium et le magnésium, peuvent être complexés par l'EDTA (acide éthylène-diaminetétracétique) sous forme de sel

disodique. En présence d'un indicateur spécifique, le changement de couleur permet de détecter la fin de la réaction. Un milieu tamponné est utilisé pour éviter la précipitation du magnésium et ainsi mesurer simultanément les concentrations de calcium et de magnésium.

Mode opératoire : Prélever 100 ml d'eau à analyser, ajouter 2 ml de solution tampon (pH = 10) et quelques gouttes d'indicateur coloré, verser la solution d'EDTA jusqu'au virage du rouge vers bleu (Figure 18).

Expression des résultats :

$$TH (^{\circ}f) = V \text{ titre} * 10$$

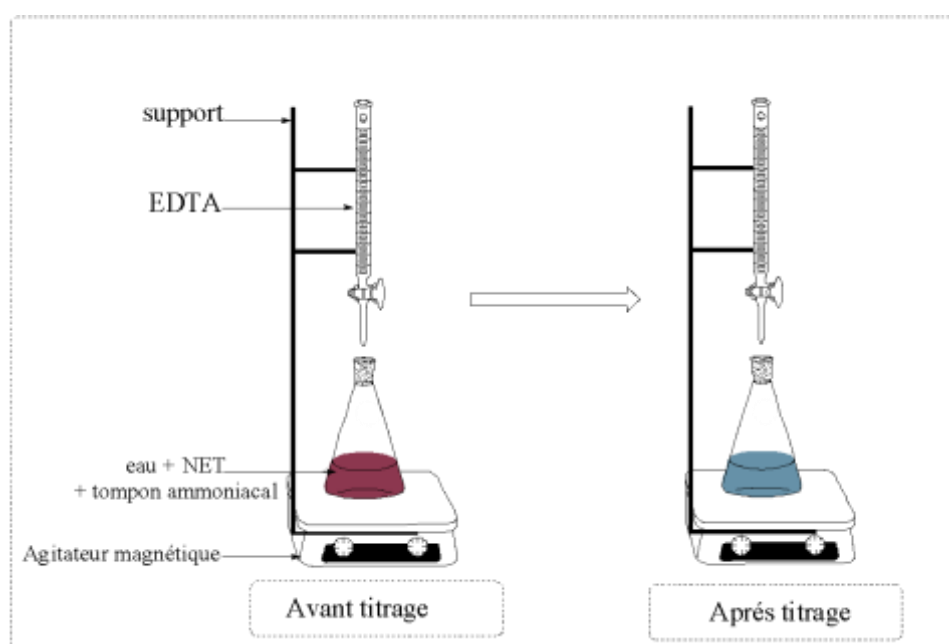


Figure 18. Dosage de la dureté totale

III.4.5. Dosage du titre alcalimétrique : c'est la teneur en alcalins y compris OH^- carbonate CO_3^{2-} et bicarbonates HCO_3^-

Principe : Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

Mode opératoire : TA et TAC

- 100 ml d'eau à analyser

- 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine pour l'analyse de TA et 2 à 3 gouttes de méthylorange pour l'analyse de TAC (Figure 19).

- **TA** : $TA = [OH^-] + 1/2[CO_3^{2-}]$

Si la couleur n'apparaît pas TA = 0 (pH < 8,3 donc TA = 0)

Si une coloration rose apparaît titre avec HCl jusqu'à disparition de couleur.

- **TAC** : $\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + \text{HCO}_3^-$
- après le dosage le virage rouge orange.

Expression des résultats : $\text{TAC (}^\circ\text{f)} = V \text{ titre} - 0,5$

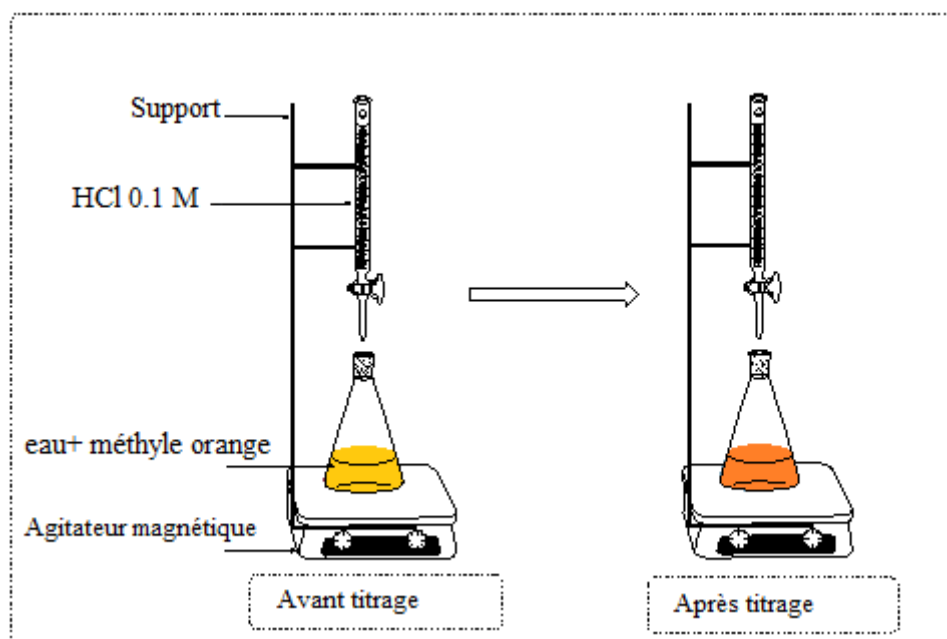


Figure 19. Dosage de l'alcalinité.

III.4.6. Détermination des chlorures par la méthode de Mohr

Principe : La méthode de Mohr est basée sur le titrage d'un échantillon, l'eau contenant des ions chlorures, par une solution de AgNO_3 en présence d'indicateur, le chromate de potassium K_2CrO_4 . La fin du dosage est obtenue quand la coloration de la suspension passe du jaune (présence d'ions CrO_4^{2-}) au rouge brique.

Mode opératoire :

- Introduire dans un erlen 10 ml d'eau à analyser et ajouter quelques gouttes de K_2CrO_4 .
- Dans la burette introduire la solution d' AgNO_3 et doser lentement en agitant jusqu'à l'apparition de la couleur.
- Répéter cet essai 02 fois et déterminer le volume V_E de nitrate d'argent versé à l'équivalence

Expression des résultats :

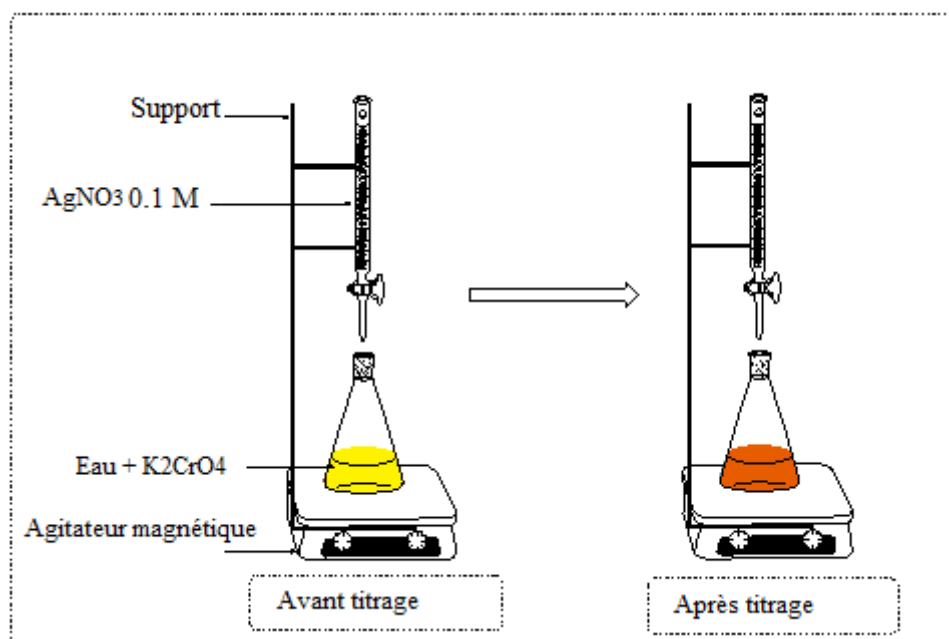
$$\text{Teneur (mg/L)} = V_{\text{AgNO}_3} V_{\text{AgNO}_3} M V_{\text{échantillon}}$$

V_{AgNO_3} : volume d'AgNO₃ (ml)

V_{AgNO_3} : la normalité d'AgNO₃ (N)

M : la masse molaire du chlore (g/mol)

$V_{\text{échantillon}}$: volume d'échantillon à analyser (ml)



- **Détermination de la teneur en fer**
- **Principe**

Le fer Fe²⁺ réagit avec un dérivé de la triazine pour donner un complexe violet. La capsule NANOFIX® sert pour la réduction de Fe⁺³ en Fe⁺² et pour l'ajustage du pH (Rodier *et al.*, 2009).

- **Mode opératoire**

Mettre 4ml de l'échantillon à analyser et un NANOFIXR2 dans une cuve ronde (fermer le tube de NANOFIX immédiatement après l'addition de R2). Le blanc est préparé avec 04 ml d'eau distillée et un NANOFIX R2. Après 10 mn, réaliser la lecture à 540 nm. R2 : est un kit chimique pour le dosage du fer.

III.4.7. Détermination d'aluminium par méthode spectrométrique au rouge d'alizarine

PRINCIPE : le rouge d'alizarine réagit avec les ions AL^+ » POUR FORMER UNE COMPLEXE COLORE (souvent rouge violace). l'intensité de couleur est proportionnelle aux concentrations D'aluminium dans i 'échantillon. on mesure cette intensité à l'aide d'un spectrophotomètre

- **Détermination de la teneur en aluminium**
- **Principe**

L'ériochromocyanine R développe avec l'aluminium en solution faiblement acide une coloration rouge-violette. Les échantillons fortement acides et tamponnés doivent être ajustés à pH 6 (Rodier *et al.*, 2009).

La teneur en aluminium a été déterminée par le test NANOCOLOR® Aluminium 07 Test 0-98 Art. N°985 098.

- **Mode opératoire**

Dans une cuve ronde, on introduit : 0,5 ml de R2 et R3, 0,4 ml de l'échantillon à analyser, 0,5 ml de R4. Ensuite, on ferme et on agite le mélange. La lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm après 5 mn.

R2, R3, R4 : sont des kits chimiques pour le dosage de l'aluminium.

Indice de permanganate

- **Principe**

Évaluer la teneur en matières oxydables (matières organiques et quelques réducteurs inorganiques) contenues dans l'eau par oxydation au permanganate de potassium ($KMnO_4$) en milieu acide et à chaud.

- **Mode opératoire**

Prendre 100 mL d'échantillon d'eau à analyser dans un ballon à fond rond. Ajouter 10 mL de solution d'acide sulfurique (1/3) ,Ajouter exactement 10 mL de permanganate de potassium 0,01 N Mettre le ballon sous réfrigérant à reflux, Chauffer le mélange à ébullition douce pendant 10 minutes .

- **Titration de l'excès de permanganate :**

Laisser refroidir légèrement ,Ajoutez 10 mL d'oxalate de sodium 0,01 N pour réduire l'excès de $KMnO_4$ (le milieu devient incolore), Titrer l'excès d'oxalate avec permanganate 0,01 N jusqu'à l'apparition d'une légère coloration rose persistante.

- **Calcul de l'indice de permanganate ($mg O_2/L$)**

- **Indice (mO₂/L)=(V₀-V₁)×N×1.6×1000/Vet'**

Où :

V₀: volume de permanganate ajouté (mL)

V₁: volume de permanganate retrouvé par titrage (mL)

V_{et}: volume d'eau analysée (en mL)

1.6 : facteur de conversion (1 mL de KMnO₄ 0,01 N ≈ 0,08 mg O₂)

Ne pas oublier de faire un **blanc** (même protocole avec eau distillée).

Cette méthode n'oxyde pas tous les composés organiques (méthode douce).

Ne pas confondre avec la DCO (demande chimique en oxygène avec le bichromate).

III.4.6. Détermination de turbidité

Mode opératoire

:prelever l'eau sans bulles d'air ,ne pas filtrer l'échantillon,laisser revenir à la température ambiante, agiter légèrement; remplir la cuvette jusqu'à l'indicateur,l'insérer dans le turbidimètre en alignant la marque lizer la turbidité affiche en NTU;

III.5. Résultats et discussion

III.5.1. Évolution de pH

➤ Traitement classique

Tableau 9. Évolution pH traitement classique

Phase	pH
EAU BRUTE(eb)	7,75
EAU DECANTEE(ed)	7,60
EAU TRAITEE(et)	7,55

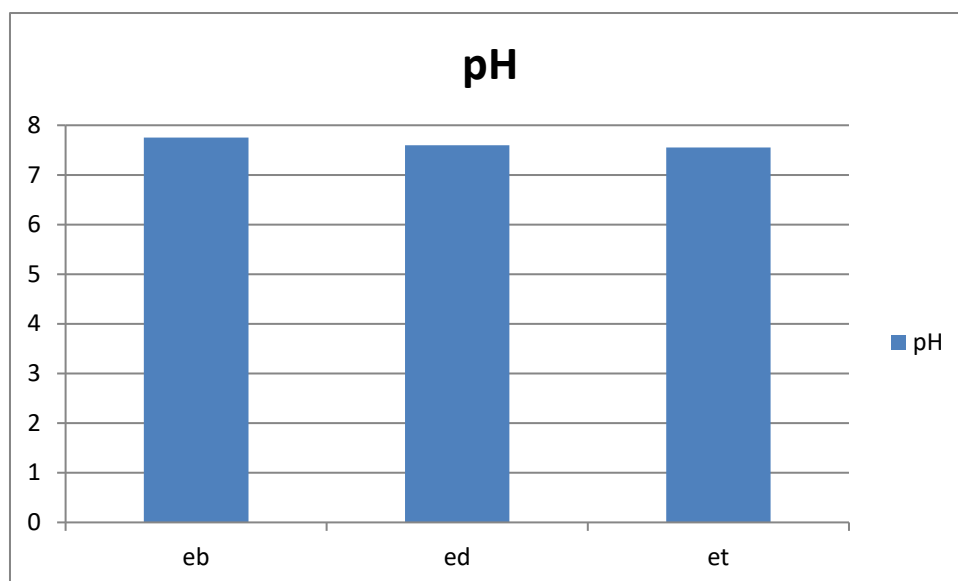


Figure 20. Évolution pH traitement classique

L'abaissement de pH est due a l'ajout de coagulant (Al_2SO_4) qui augmente H^+ dans l'eau.

➤ osmose inverse

Tableau 10. Évolution pH dessalement

Phase	Eau brute(eb)	Filtration(fs)	Micro filtration(mf)	Osmose inverse(oi)	Eau traitée(et)
pH	7,75	7,78	7,80	7,88	7,90

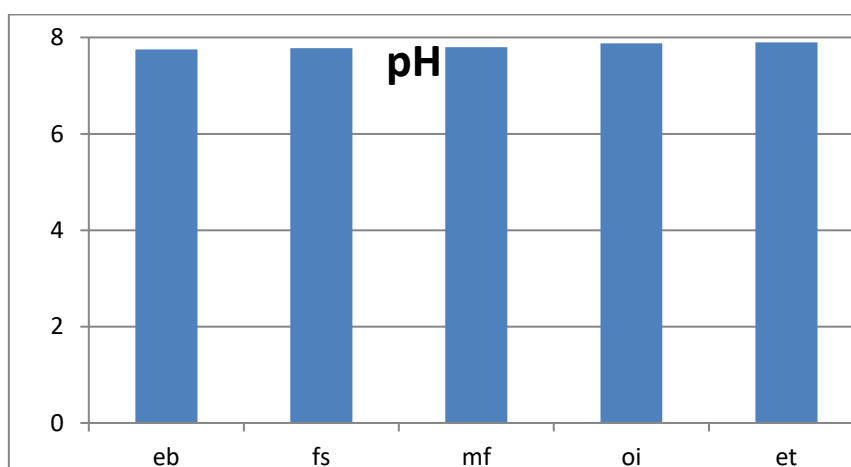


Figure 21. Évolution pH dessalement

III.5.2. Évolution de la conductivité

➤ Traitement classique

Tableau 11.Évolution conductivité en traitement

	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
EAU BRUTE	506
EAU DECANTEE	512
EAU TRAITEE	525

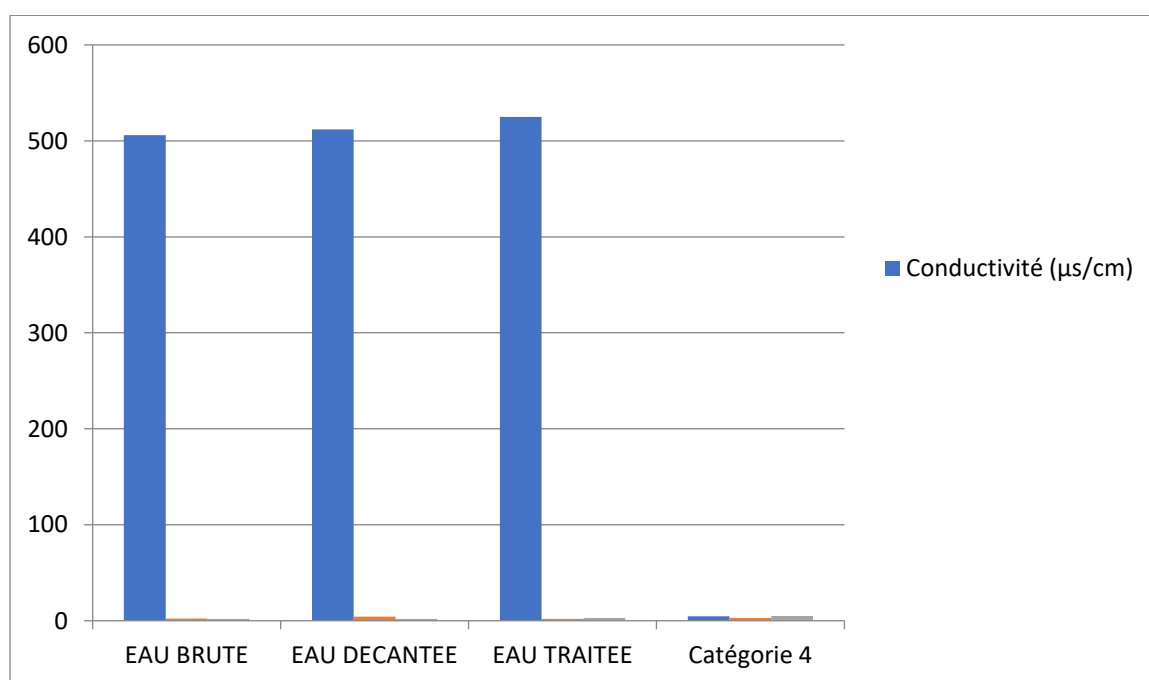


Figure 22. Évolution conductivité en traitement

L'augmentation inapproprié due l'ajout de coagulant et désinfectant (hypochlorate de sodium) ce qui provoque l'augmentation de concentration des ions.

➤ Dessalements

Tableau 12. Évolution conductivité en dessalement

Phase	Eau brute(eb)	Filtration(fs)	Micro filtration(mf)	Osmose inverse(oi)	Eau traitée(et)
Conductivité($\mu\text{s}/\text{cm}$)	53300	53800	53000	477	391

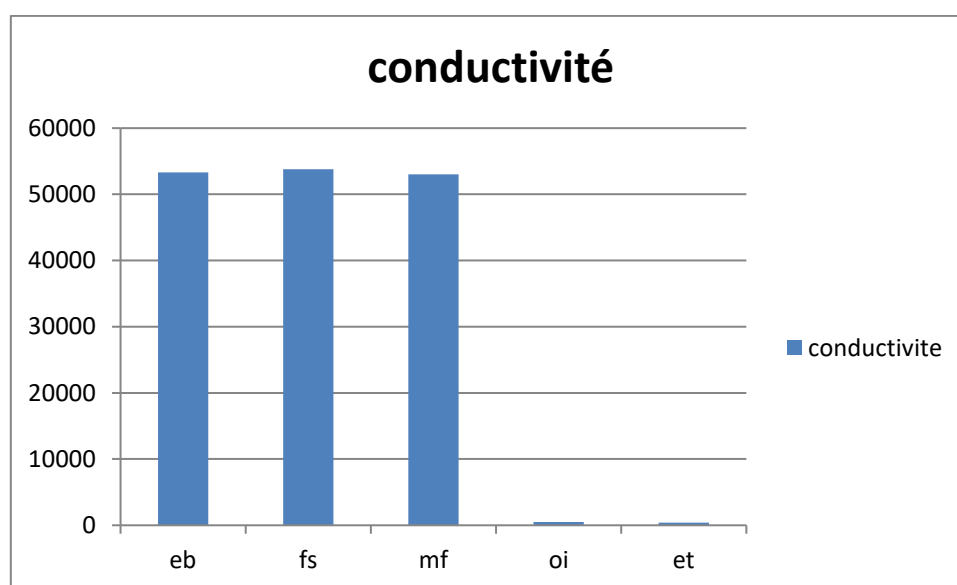


Figure 23. Évolution conductivité en dessalement

Une baisse spectaculaire apres osmose ce qui illustre l'efficacité de cette technique assez stable .

III.5.3. Evolution TAC

➤ Dessalement

Tableau 13. Évolution TAC En Traitement

Phase	TAC
EAU BRUTE	71
EAU DECANTE	83
EAU TRAITE	105

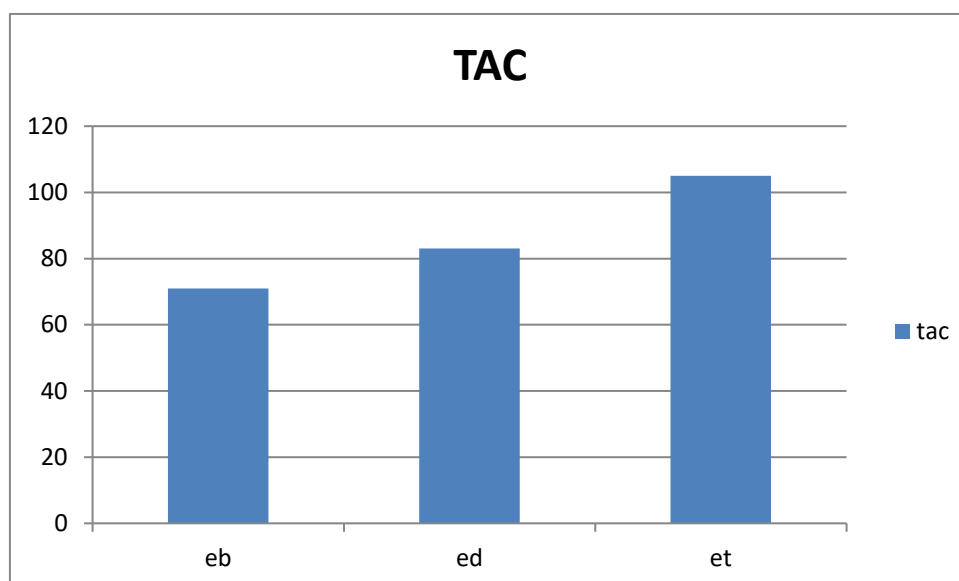


Figure 24. Évolution TAC En Traitement

Peu modifié car les bicarbonates sont partiellement retenus.

➤ **Traitements**

Tableau 14. Évolution TAC en dessalement.

Phase	Eau brute (eb)	Filtration (fs)	Micro filtration (mf)	Osmose inverse (oi)	Eau traitée (et)
TAC ° f	13,3	13,7	13	12	14

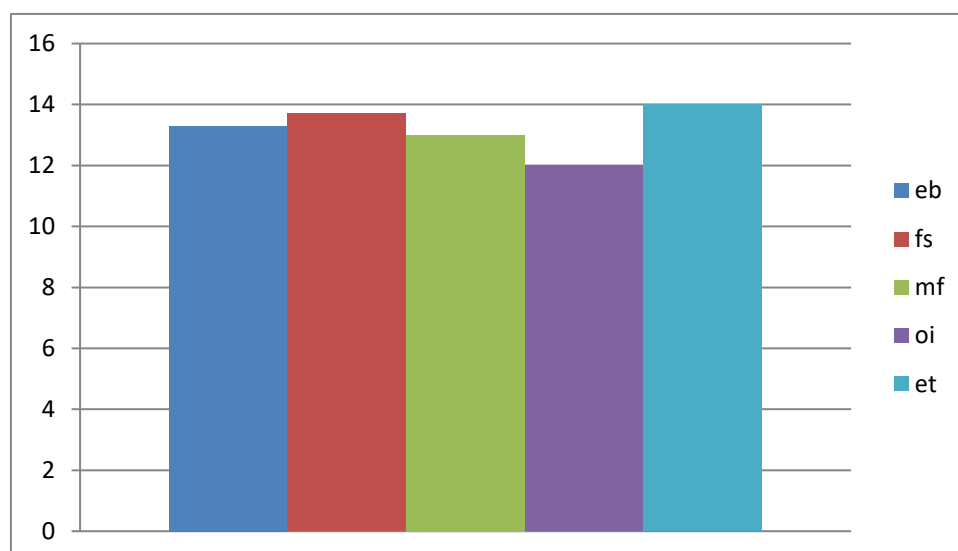


Figure 24. Évolution TAC en dessalement.

TAC de l'eau traitée augmente ce signifie le déplacement d'équilibre calco-carbonique vers le sens d'entartrage.

III.5.4. Evolution FER

➤ Traitement classique

Tableau 15.Évolution fer traitement classique

Phase	FER(mg/l)
EAU BRUTE	0,02
EAU DECANTE	0,08
EAU TRAITE	0,12

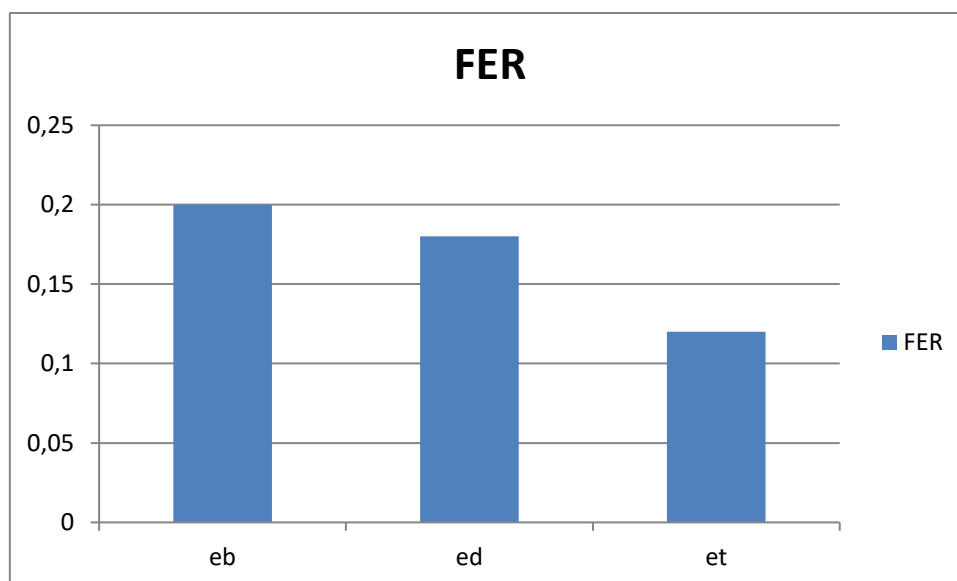


Figure 26. Évolution fer traitement classique

Le dosage de fer est crucial pour la raison de sante aussi pour la préservation des équipement cette diminution explique la fiabilité de traitement.

➤ Évolution fer en dessalement

Tableau 16.Évolution fer dessalement

Phase	Eau brute(eb)	Filtration(fs)	Micro filtration(mf)	Osmose inverse(oi)	Eau traitée(et)
Fe(mg/l)	0,05	0,02	0	0	0,04

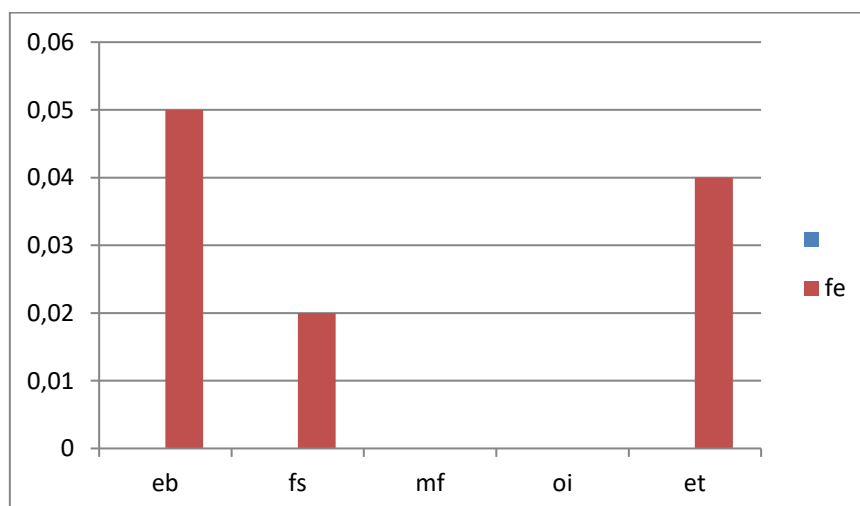


Figure 26. Évolution fer dessalement

Diminution jusqu'au élimination ce qui explique la fiabilité de la membrane.

III.5.5. Évolution de CHLORURE en dessalement

Tableau 17.Évolution chlore traitement classique

Phase	Eau brute(eb)	Filtration(fs)	Micro filtration(mf)	Osmose inverse(oi)	Eau traitée(et)
Cl ⁻ (mg /l)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,2

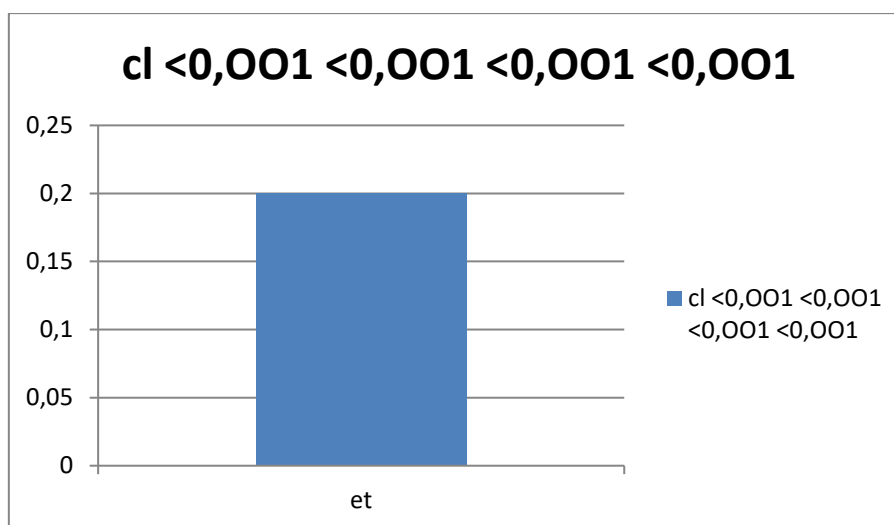


Figure 26. Évolution chlore traitement classique

III.5.6. Évolution de Ca²⁺ en traitement

Tableau 18. Évolution Ca²⁺ en traitement

Phase	Ca ²⁺ (mg /l)
EAU BRUTE	44,08

EAU DECANTE	42,07
EAU TRAITE	42

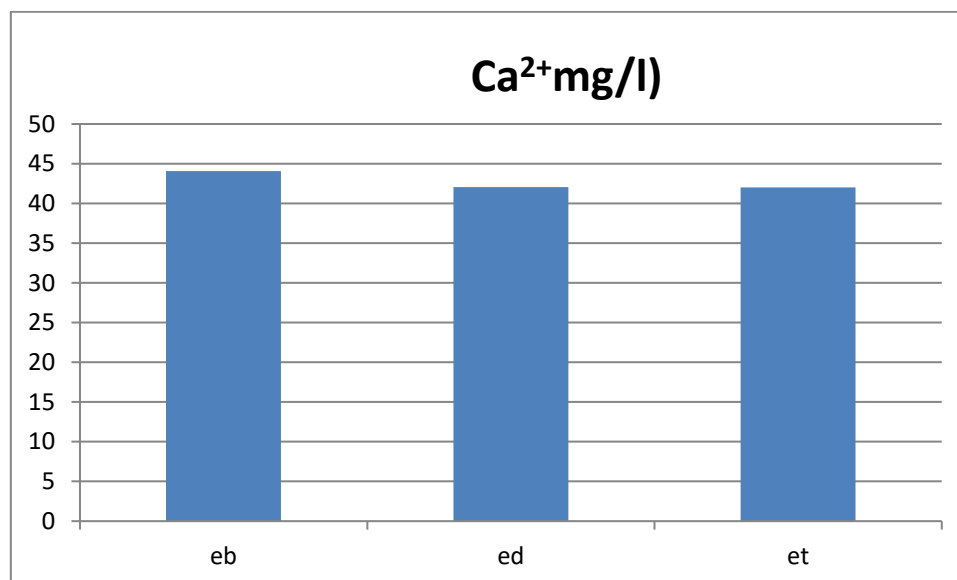


Figure 29. Évolution Ca²⁺ en traitement

Peu modifié car le traitement vise surtout la clarification et la désinfection par contre en osmose inverse est largement éliminé (la membrane retient très bien les cations)

III.5.7. Évolution Mg²⁺ en traitement

Tableau 19. évolution de Mg²⁺ en traitement

Phase	Mg ²⁺ (mg /l)
EAU BRUTE	11,18
EAU DECANTE	13
EAU TRAITE	13,61

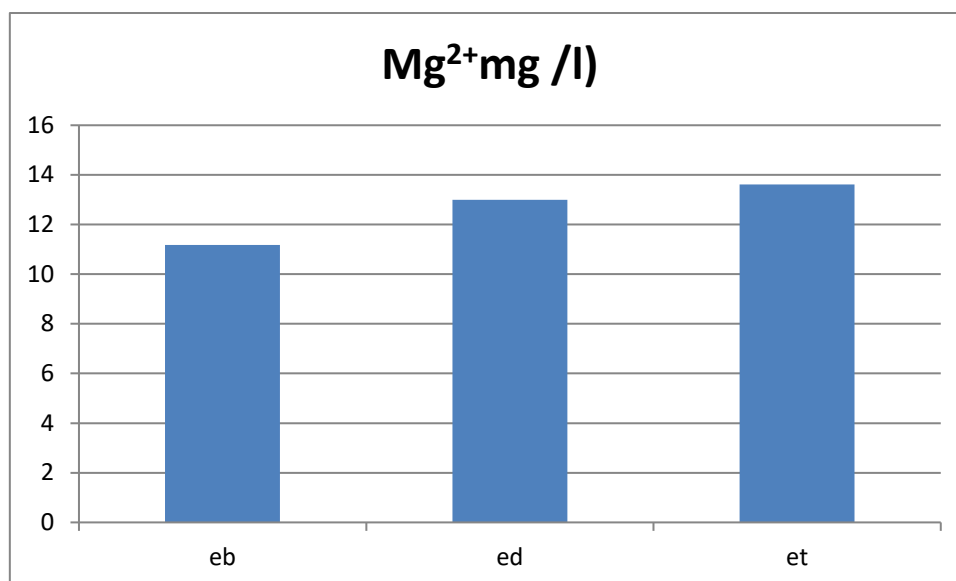


Figure 30. évolution de Mg²⁺ en traitement

Relativement stable /Largement élimine en osmose inverse ce qui peut réduire la dureté mais souvent réintroduit en phase calcite

III.5.8. Indice de permanganate en traitement

Tableau 20.évolution Indice de permanganate en traitement

Phase	Indice de permanganate
EAU BRUTE	5,22
EAU DECANTE	3,2
EAU TRAITE	0 ,97

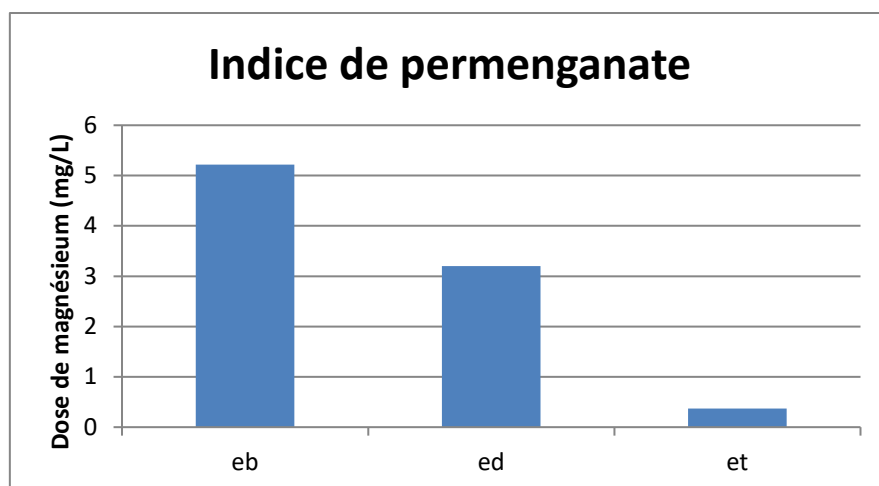


Figure 30 :évolution Indice de permanganate en traitement

Exprimes-en(mg O_2/l) ,c'est un indicateur de pollution organique globale bien que la DCO et DBO_5 ;diminution cela traduit l'efficacité de traitement pour l'osmose inverse l'indice chute a des valeurs proches de zéro.

III.5.9. Évolution aluminium en traitement

Tableau 21. évolution de Mg^{+2} en traitement

Phase	Al+(mg/l)
EAU BRUE	0,04
EAU DECANTEE	0,24
EAU TRAITEE	0,18

Figure 30. évolution de Mg^{+2} en traitement

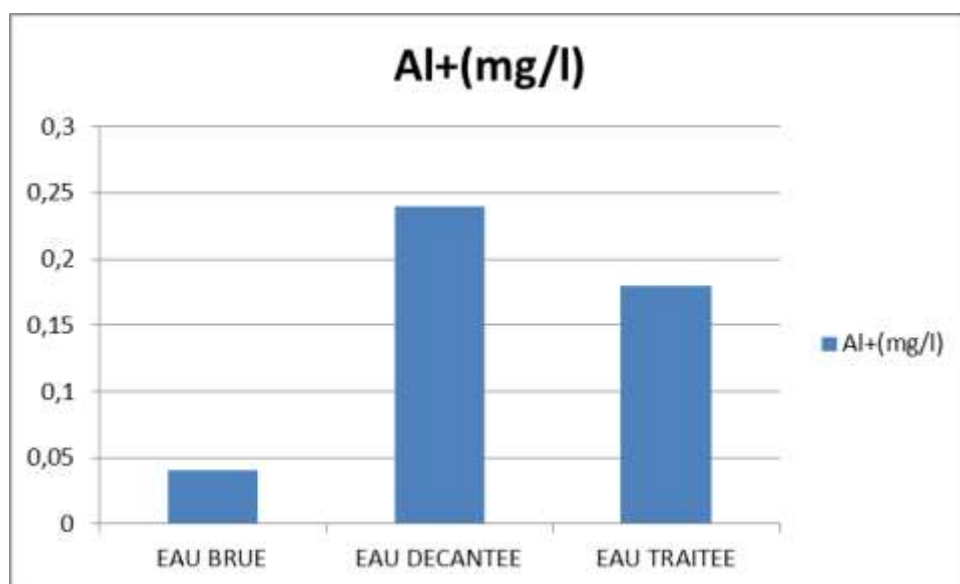


Figure 30. évolution de Mg^{+2} en traitement

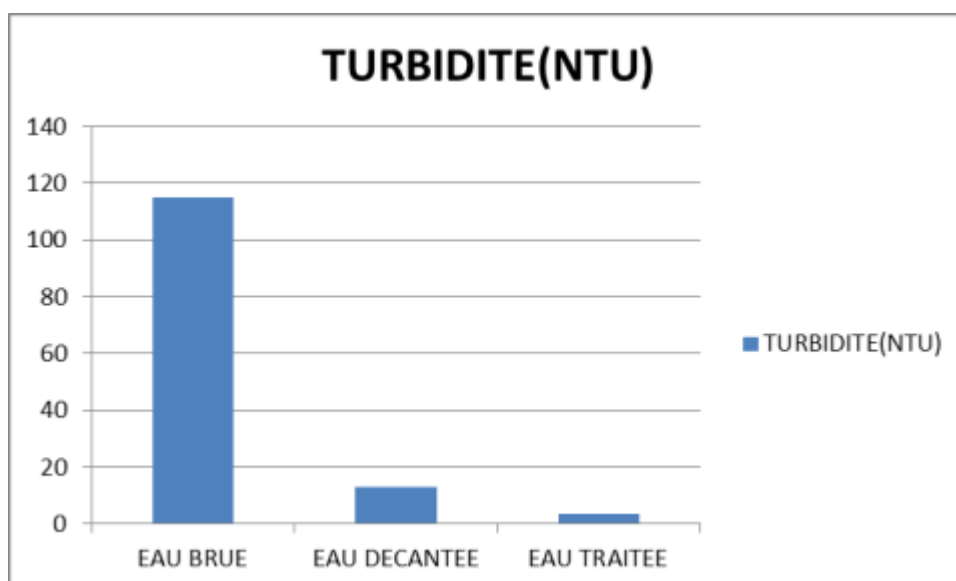
Cette analyse est largement utilisée dans le traitement des eaux de surface. C'est l'un des importantes analyses en raison de toxicité de l'aluminium au-delà de certaine valeur , augmentation dans l'eau décantée car ce dernier est un compose du floc puis ça diminue au cours du processus pour atteindre la norme autorise.

III.5.9. Evolution TURBIDITE

➤ Traitement classique

➤ Tableau 22. évolution de turbidité en traitement

Phase	TURBIDITE(NTU)
EAU BRUE	115
EAU DECANTEE	13
EAU TRAITEE	3,5



➤ **Figure 31.** évolution de turbidité en traitement

➤ **La turbidité est un paramètre crucial en traitement, c'est alors le facteur rare excellence pour évaluer et juger efficacité de traitement.**

➤ **EN DESSALEMENT**

Tableau 23. évolution de turbidité en dessalement

Phase	Eau brute(eb)	Filtration(fs)	Micro filtration(mf)	Osmose inverse(oi)	Eau traitée(et)
Cl ⁻ (mg /l)	049	012	011	0	0,2

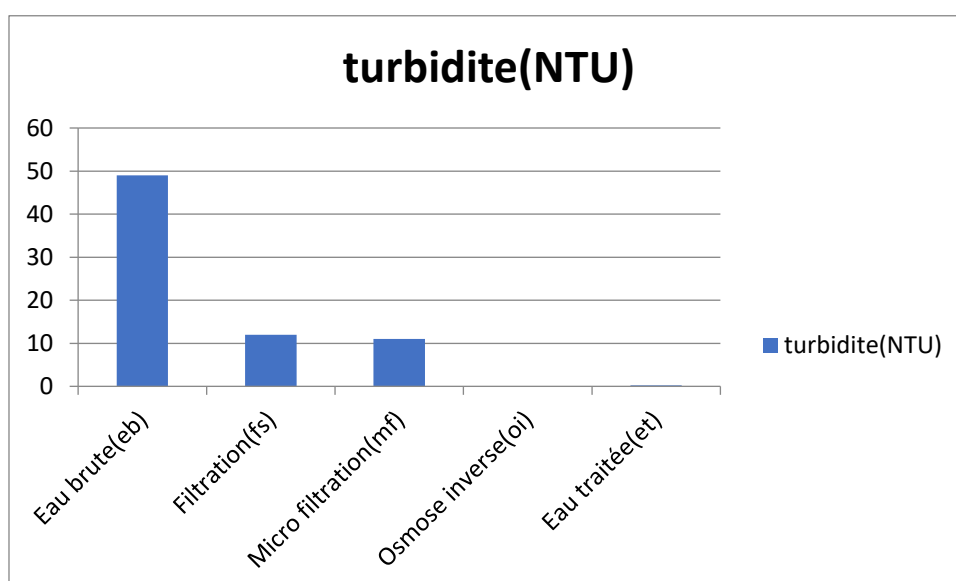


Figure 32.évolution de turbidité en dessalement

Diminution jusqu'au disparition ce qui montre efficacité de l'osmose inverse en purification de l'eau.

Conclusion générale

Conclusion générale

Au cours de notre travail, l'eau, déjà au préalable contrôlée, va passer par quelques différents types de traitements afin de respecter des normes de potabilité précises. Ces opérations, qu'elles sont réalisées de manière complète en station de traitement des eaux.

L'objectif de notre étude est d'évaluer la qualité physico-chimique (pH, Cl⁻, salinité, conductivité, TH, TAC) des eaux de barrage Mexa à EL TARF par une comparaison des échantillons d'eau de dessalement d'el Marssa à SKIKDA), il est basée sur le traitement pour potabiliser l'eau de barrage (eau brute) et l'eau de mer dans les normes de potabilité.

La station de traitement de Mexa applique cinq étapes de traitement, qui sont le dégrillage et tamisage, la coagulation-floculation, la décantation, la filtration et la désinfection.

Les résultats de notre étude indiquent que l'eau traitée du barrage de Mexa se caractérise par, le pH, le chlorure, le fer, la salinité, ou la conductivité et le TAC sont dans l'énorme.

En concluons que l'eau du barrage de Mexa distribuée à la population est consommée sans souci dans les conditions régulières de potabilités appliquées par les autorités pour la santé parce qu'il est exempt de substances nocives.

Pour le dessalement est un enjeu spécialement important pour l'avenir des régions confronté aux pénuries d'eau. C'est une méthode d'avenir pour pallier aux problèmes d'eau douce. En ce qui concerne la station de dessalement d'el Marssa , les étapes de prétraitement utilisées garantissent le bon entretien de l'équipement de la station, produisant une eau douce de bonne qualité et présente une conformité aux normes OMS.

Références bibliographiques

- [1] GRAINI. L, **2011**. *Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto-optique* Mémoire magister. Université Ferhat Abbas-Sétif. p106.
- [2] LAKHAL. A., **2021**. *Contrôle et Suivi de la qualité de l'eau traitée « Station de traitement – CHAIBA »*. Mémoire de master. Université Badji Mokhtar. Annaba. P86.
- [3] MERZOUG. A. **2022**. *Contribution à l'étude qualitative des eaux potables dans la région de Biskra. Chapitre I*. Université Mohamed Khider. Biskra. p112.
- [4] AOUISSI. L., MERABTI w., **2019**. *Eau: Étude Physico - Chimique et Bactériologique Et Développement d'un Système de Traitement (membrane à Base de Charbon Actif)*. Chapitre I. Université 8 mai 1945 Guelma. p 3-13.
- [5] BELDI. M.L. **2017**. *Contrôle de l'eau à usage pharmaceutique, Mémoire de Master*, Université frère Mentouri Constantine 1. p88.
- [6] M. J. Rodriguez, J.-B. Sérodes, et P. Levallois, « Behavior of trihalomethanes and haloacetic acids in a drinking water distribution system », *Water research*, vol. 38, no 20, p. 4367-4382, 2004.
- [7] DEGREMONT. S.A. *Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, 10ème édition. Tome 1, Paris. 2005. 1718p.*
- [8] METAHRI. M.S. 2012. *Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la step Est de la ville de Tizi-ouzou. Thèse de doctorat Agronomie. Université Mouloud Mammeri-Tizi-ouzou. 113 p.*
- [9] SARI. H., 2014. *Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source « Attar » (Tlemcen), Mémoire de Master, en Sciences des aliments. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen. p92.*
- [10] MERZOUG. A. 2022. *Contribution à l'étude qualitative des eaux potables dans la région de Biskra. Chapitre I*. Université Mohamed Khider. Biskra. p112.
- [11] ZEKRI. M., MANSOURI N. 2020. *Evaluation de la qualité microbiologique de l'eau potable. Université Akli Mohand Oulhadj – Bouira. 52p.*
- [12] BOUCENNA. F., 2009. *Cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité à la pollution d'une nappe côtière cas de la plaine alluviale de l'Oued djendjen, Mémoire de Magister, Université de Badji Mokhtar, Annaba. 114p.*
- [13] <https://www.aquaportail.com/definition-4161-eaux-usees.html>, consulter le 27/05/2019
- [14] OMS, 2003. *Background document for preparation of WHO Guidelines for Drinking-water quality. Geneva. Switzerland.*

- [15] MBEUKAM K. E., 2013. *Evaluation de la qualité bactériologique et physico – chimique des eaux du lac municipal d'AKONOLINGA*. Département des sciences biologiques. (D.I.P.E.S. II). Université de Yaounde I. p60.
- [16] Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009). *L'analyse de l'eau – eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer* (9e éd.). Dunod.
- [17] Degremont. (2005). *Water Treatment Handbook* (7e éd.). Suez Environnement.
- [18] Kumar, J. Yadav, R. Vohra, et A. Sebastian, « *Water and Wastewater Engineering* », in *Advanced Geospatial Practices in Natural Environment Resource Management*, IGI Global, 2024, p. 26-37.
- [19] J. E. Barbash, P. W. Moran, R. J. Wagner, et M. Wolanek, « *Contaminant removal by wastewater treatment plants in the Stillaguamish River Basin, Washington* », US Geological Survey, 2015.
- [20] Metcalf et al., *Water reuse*. McGraw-Hill Professional Publishing United States of America, 2007.
- [21] RICHARD Y., 1974 : "La décantation lamellaire et ses nouveaux développements. T.S.M. l'eau". Mars 1974. *La tribune du CEBEDEAU*, Volume 30, Numéros 398 à 409.
- [22] BEAUDRY J.P., 1984 : "Traitement des eaux". Edition de Griffon d'argile.
- [23] MECHATI F., 2006 : " Etude des paramètres physico-chimiques avant et après traitement des rejets liquides de la raffinerie de SKIKA", mémoire de magister, université de Skikda
- [24] Rodier. J., « *l'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer* » 8ème édition, édition DUNOD, Paris, 1996.
- [25] N. Mameri et al. / *Separation and Purification Technology*, 24(1-2) (2001) 113-119
- [26] *Désinfection et purification à l'ozone, aux UV et purification de l'eau | Veolia* ». <https://www.watertechnologies.fr/applications/ozone-and-uv-water-disinfection-purification>
- [27] DEGAA Ali et al, *Etude de déminéralisation des eaux souterraines par osmose inverse dans le sud est Algérien_cas de la station d'EI Meghaier-*, juin 2019.
- [28] SAHBI NAWAL, *Étude de dessalement des eaux de mer par l'Osmose inverse de la commune de Bou Haroun - Dimensionnement-*, 2012.
- [29] BENAÏSSA Fatima Zohra, *Etude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres* , 03/10/2013.

- [30] MAUREL A (1993), *Techniques séparatives à membranes : osmose inverse, nanofiltration, ultrafiltration, microfiltration tangentielle – Considérations théoriques*, in *Techniques de l'Ingénieur*, p.p. 1-24.
- [31] S. Guitoun, « *Utilisation des procédés membranaires dans traitement des eaux surface* », Thesis, 2017. <http://repository.enp.edu.dz/jspui/handle/123456789/9800>.
- [32] A. Lassouani et H. Benlebna. *Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse, station de Bousfer-Oran. Mémoire de master en chimie. Université des sciences et la technologie Mohamed Boudiaf (Oran) 2001.*

Résumé :

... L'eau est la plus importante pour l'existence de l'homme. Elle est indispensable pour la survie et le développement de la société moderne et on estime que 2,5 milliards de personnes pourraient souffrir du manque d'eau en 2050 compte-tenu de l'évolution de la démographie et de l'augmentation des consommations d'eau. Pour faire face à cette pénurie annoncée d'eau, de nouvelles techniques de production d'eau potable devront être mises en place pour satisfaire les besoins de la population croissante. Une des techniques prometteuses pour certains pays est le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres. Notre étude sera consacrée à l'Etude comparative entre les procédés de traitement de l'eau de barrage et les procédés de dessalement de l'eau de Mer.

On observe que les valeurs des analyses trouvées pour les procédés de traitement de l'eau de barrage et les procédés de dessalement respectent les normes de potabilité algériennes et situent également dans les intervalles un proche aux normes de potabilisation dictées par l'Organisation Mondiale de Santé (OMS).

Mots clés : Eau brute, eau de mer, eau potable, procédés de traitement, dessalement, caractéristiques physico-chimiques, pH, TH, TAC, Cl⁻, salinité, conductivité.

Abstract :

Water is the most important resource for human existence. It is essential for the maintenance and development of modern society, and it is estimated that 2.5 billion people could suffer from water shortages by 2050, given demographic changes and increasing water consumption. To address this predicted water shortage, new drinking water production techniques will need to be implemented to meet the needs of the growing population. One promising technique for some countries is the desalination of seawater or brackish water. Our study will focus on a comparative study of dam water treatment processes and seawater desalination processes. We observe that the analytical values found for dam water treatment processes and desalination processes comply with Algerian drinking water standards and are also within the range of the drinking water standards dictated by the World Health Organization (WHO).

Keywords: Raw water, seawater, drinking water, treatment processes, desalination, physicochemical characteristics, pH, TH, TAC, Cl⁻, salinity, conductivity.

الملخص :

يُعد الماء أهم مورد للوجود البشري، فهو ضروري للحفاظ على المجتمع الحديث وتنميته، وتشير التقديرات إلى أن 2.5 مليار شخص قد يعانون من نقص المياه بحلول عام 2050، في ظل التغيرات الديموغرافية وزيادة استهلاك المياه. ولمعالجة هذا النقص المتوقع في المياه، لا بد من تطبيق تقنيات جديدة لإنتاج مياه الشرب لتلبية احتياجات النمو السكاني. ومن التقنيات الواعدة في بعض البلدان تحلية مياه البحر أو المياه قليلة الملوحة. ستركز دراستنا على دراسة مقارنة لعمليات معالجة مياه السدود وعمليات تحلية مياه البحر.

نلاحظ أن القيم التحليلية لعمليات معالجة مياه السدود وعمليات تحلية المياه تتوافق مع معايير مياه الشرب الجزائرية، كما أنها تقع ضمن نطاق معايير مياه الشرب التي وضعتها منظمة الصحة العالمية.

الكلمات المفتاحية : المياه الخام، مياه البحر، مياه الشرب، عمليات المعالجة، تحلية المياه، الخصائص الفيزيائية والكيميائية، pH، TH، TAC، Cl⁻.

الناقلية

