

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

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Dessalement et Traitement des Eaux

Thème :

*Caractérisation physico – chimique de l'eau dessalé produite
par l'unité de dessalement Draouech, Destinée à la
consommation humaine.*

Présenté par :

Hendi Fathi

Encadré par :

Dr. Necib Anissa

Soutenue le : 17/06/2026

Dr Bendaia Marwa	Président	(MCB)	Univ. El-Tarf
Dr Necib Anissa	Encadrant	(M.A.A)	Univ. El-Tarf
Dr Khaled-khodja Soumeiya	Examineur (trice)	(MCA)	Univ. El-Tarf

Année Universitaire :

2025/2026

Remerciement

Avant tout, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Allah le Tout-Puissant pour m'avoir accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires à l'achèvement de ce travail.

Comme l'a dit le Prophète Mohammed (paix et salut sur lui)

« Celui qui ne remercie pas les gens ne remercie pas Allah. »

À la lumière de ce noble enseignement, il m'est particulièrement agréable d'adresser mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Madame Dr. Necib Anissa pour son encadrement, sa disponibilité et ses orientations tout au long de ce travail. Son accompagnement a été déterminant dans la réalisation de ce mémoire.

Je remercie la Direction de l'Algérienne des Eaux d'El-Tarf ainsi que le personnel de la station de traitement des eaux de surface pour leur accueil et leur collaboration. Une pensée particulière est adressée à la responsable du laboratoire d'analyses pour son aide et les informations techniques fournies

Je remercie l'ensemble des enseignants du département de Génie des Procédés pour la qualité de leur enseignement et les connaissances acquises durant ma formation universitaire.

Je remercie particulièrement mon ami et collègue, Monsieur Djamel Ghers, Conseiller d'Éducation, pour son soutien, ses précieux conseils ainsi que son expertise dans les domaines des langues et de l'informatique.

Mes sincères remerciements vont à ma famille pour son soutien moral, sa confiance et ses encouragements constants tout au long de mon parcours.

Enfin, je remercie les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en évaluant ce travail et pour leurs remarques enrichissant

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, pour leur amour, leurs sacrifices et leur soutien indéfectible.

À ma famille et à mes amis, pour leurs encouragements, leur confiance et leur présence tout au long de ce parcours.

J'exprime également ma profonde gratitude à Monsieur Djamel Ghers pour son aide précieuse, sa disponibilité et les connaissances qu'il a généreusement partagées, notamment dans les domaines de l'informatique et des langues.

Enfin, je dédie ce mémoire à tous les lecteurs, étudiants et chercheurs, en espérant qu'il puisse leur être utile et contribuer, même modestement, à l'avancement des connaissances au service de l'humanité.

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail à tous les enseignants de la Faculté des Sciences et de la Technologie, Département de Génie des Procédés, spécialité Dessalement de l'Eau de Mer, de l'Université Chadli Bendjedid d'El Tarf, en reconnaissance de leurs efforts, de leur dévouement et de leur précieuse contribution à notre formation académique et scientifique.

Nous adressons une gratitude particulière à notre encadreuse, Dr. Necib Anissa, pour son accompagnement constant, ses précieux conseils, sa disponibilité, sa patience et ses orientations pertinentes tout au long de la réalisation de ce travail.

Qu'elle trouve ici l'expression de notre profond respect, de notre sincère reconnaissance et de notre haute considération.

À tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce mémoire, nous exprimons nos remerciements les plus chaleureux.

Résumé

Afin d'évaluer la qualité physico-chimique des différentes eaux consommées dans la wilaya d'El Tarf (eau du robinet, eau de source, eau minérale, eau de puits et eau produite par l'unité de dessalement de Drawach), une étude comparative a été réalisée. Cette étude repose sur l'analyse des paramètres physico-chimiques disponibles au niveau de la station de traitement des eaux du barrage de Mexa ainsi que de la station de dessalement de Drawach.

Deux types d'eaux destinées à la consommation humaine ont été étudiés : l'eau issue du traitement des eaux de barrage et l'eau provenant du dessalement de l'eau de mer. Les résultats obtenus ont été comparés aux normes algériennes de qualité de l'eau potable ainsi qu'aux recommandations de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS).

Les résultats montrent que l'eau dessalée et l'eau de barrage traitée possèdent toutes deux une bonne qualité physico-chimique et répondent aux exigences de l'eau destinée à la consommation humaine. Toutefois, l'eau dessalée se distingue par une turbidité plus faible et une charge organique très réduite, tandis que l'eau de barrage traitée présente une minéralisation légèrement plus faible et des teneurs résiduelles en fer plus basses. Ces différences reflètent l'efficacité des procédés de dessalement et de traitement conventionnel appliqués à chaque ressource en eau.

Mots clés : Eaux potable, Dessalement, eau brute, Qualités physico-chimiques,

.

Abstract

To assess the physicochemical quality of the various water sources consumed in the El Tarf province (tap water, spring water, mineral water, well water, and water produced by the Draouech desalination plant), a comparative study was conducted. This study was based on the analysis of physicochemical parameters available at the Mexa Dam water treatment plant and the Draouech seawater desalination plant.

Two types of water intended for human consumption were investigated: water obtained from dam water treatment and water produced through seawater desalination. The obtained results

were compared with Algerian drinking water quality standards and with the recommendations of the World Health Organization (WHO).

The results showed that both desalinated water and treated dam water have good physicochemical quality and comply with the requirements for human consumption. However, desalinated water is characterized by lower turbidity and a very low organic load, whereas treated dam water exhibits slightly lower mineralization and lower residual iron concentrations. These differences reflect the effectiveness of the desalination and conventional treatment processes applied to each water resource.

Keywords : Drinking water, Desalination, Raw water, Physicochemical characteristics, Water quality.

المخلص

من أجل تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية لمختلف أنواع المياه المستهلكة في ولاية الطارف (مياه الحنفية، مياه الينابيع، المياه المعدنية، مياه الآبار، والمياه المنتجة من محطة تحلية الدراوش)، أُجريت دراسة مقارنة. استندت هذه الدراسة إلى تحليل المعطيات الفيزيائية والكيميائية المتوفرة على مستوى محطة معالجة مياه سد ماكسة ومحطة تحلية مياه البحر بالدراوش.

تمت دراسة نوعين من المياه المخصصة للاستهلاك البشري، وهما المياه الناتجة عن معالجة مياه السدود والمياه الناتجة عن تحلية مياه البحر. وقد تمت مقارنة النتائج المتحصل عليها بالمعايير الجزائرية الخاصة بجودة مياه الشرب، وكذلك بتوصيات منظمة الصحة العالمية (OMS).

أظهرت النتائج أن كلاً من المياه المحلاة ومياه السد المعالجة تتمتعان بجودة فيزيائية وكيميائية جيدة وتستجيبان لمتطلبات مياه الشرب الموجهة للاستهلاك البشري. غير أن المياه المحلاة تتميز بعبارة أقل وحمولة عضوية منخفضة جداً، في حين تتميز مياه السد المعالجة بدرجة تمعدن أقل قليلاً وتركيزات متبقية من الحديد أقل. وتعكس هذه الفروقات فعالية عمليات التحلية والمعالجة التقليدية المطبقة على كل مصدر من مصادر المياه.

مياه الشرب، تحلية المياه، المياه الخام، الخصائص الفيزيائية والكيميائية، جودة المياه :الكلمات المفتاحية

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius

°F : Degré Fahrenheit

MES : Matières En Suspension

mg/l : Milligramme par litre

g/l : Gramme par litre

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

CE : Conductivité Électrique

MO : Matière Organique

NTU : Néphélometric Turbidity Unit

ADE : Algérienne Des Eaux

mS/cm : Millisiemens par centimètre

hm³ : Hectomètre cube

mol/l : Mole par litre

DPD: N-Diéthyl-Paraphenylène Diamine

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques des eaux de surface et les eaux souterraines.....	8
Tableau 2: composition standard de l'eau de mer	10
Tableau 3 : Salinité des différentes types des ressources d' eau	10
Tableau 4: normes de la qualité des eaux (OMS., 2000 et J.O.R.A., 2014).....	15
Tableau 5: Paramètres physico- chimiques des eaux destinées à la consommation humaine. ...	16
Tableau 6: Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS	16
Tableau 7:Types de turbidité de l'eau	18
Tableau 8: Propriétés du permanganate de potassium	21
Tableau 9:Normes de quelques substances dans l'eau potable selon Journal officiel d'Algérie.....	23
Tableau 10: étapes et unités de traitement des eaux de surface.....	32
Tableau 11: Caractéristiques de la digue du barrage Mexa.....	51
Tableau 12 : Mode opératoire pour la détermination du permanganate.....	57
Tableau 13: les résultats obtenus après les analyses physico-chimiques.....	61

Liste des figures

Figure 1: Structure de la molécule d'eau.....	4
Figure 2: Schéma général du cycle de l'eau.....	6
Figure 3:L'eau brute.....	26
Figure 4: Cascade de l'aération	27
Figure 5: Débourber).....	28
Figure 6: Tuyau de flocculant.....	29
Figure 7: Bassin de décantation.....	30
Figure 8: Bassin de filtration	31
Figure 9: Bassin d'eau désinfectée.....	31
Figure 10: Schéma des étapes et unités de traitement des eaux de surface.....	32
Figure 11: Schéma des étapes et unités de traitement des eaux de surface.....	34
Figure 12: Principe d'osmose inverse.....	36
Figure 13: Schéma général d'une installation de dessalement	36
Figure 14: schéma de captage des eaux de mer	37
Figure 15: Opération de prétraitement	38
Figure 16:L'étape de l'osmose inverse.....	39
Figure 17: Les réservoirs de CO2.....	40
Figure 18: schéma de différents procédés de dessalement	40
Figure 19: Distillateur simple effet.....	41
Figure 20: Distillation à multiples effets (MED)	42
Figure 21: schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur.....	43
Figure 22: principe de fonctionnement d'un système (MSF).....	44
Figure 23: : Osmose inverse.....	45
Figure 24: principe du procédé électrodialyse.....	46

Figure 25: Situation géographique de barrage mexa d'El Tarf.....	50
Figure 26: barrage Mexa	50
Figure 27: Spectrophotomètre HACH DR1900.....	52
Figure 28: Multi- paramètres HACH SL1000.....	53
Figure 29: Turbidimètre « HACH 2100N »	54
Figure 30: Titration colorimétrique à l'acide sulfurique	55
Figure 31: dosage colorimétrique du fer par la 1,10-phénanthroline	56
Figure 32: dosage de l'aluminium au rouge d'alizarine.....	57
Figure 33: comparateur de chlore.....	59
Figure 34: DPD ^{°1}	59
Figure 35: Résultat de pH pour les quatre types d'eau.....	63
Figure 36: Résultat de température des quatre types d'eau.....	64
Figure 37: Résultat de température des quatre types d'eau.....	65
Figure 38: Résultat de conductivité des quatre types d'eau.....	66
Figure 39: Résultat de TAC des quatre types d'eau.....	67
Figure 40: Résultat de fer des quatre types d'eau.....	69
Figure 41: Résultat d'aluminium pour les quatre types d'eau.....	70
Figure 42: Résultat du test de Chlore résiduel pour les quatre types d'eau.....	72
Figure 43: résultat de permanganate pour les quatre types d'eau.....	72

Table des matières

Remerciement	II
Dédicace.....	4
Abstract	4
المخلص.....	5
Liste des abréviations	6
Liste des tableaux.....	4
Liste des figures	5
Table des matières	7
Introduction Générale	1
Introduction Générale.....	2
CHAPITRE I.....	4
I.1. Généralités sur l'eau.....	5
I.1.1. Définition de l'eau.....	5
I.1.2. Structure de l'eau	5
I.1.3. Propriétés de l'eau.....	6
I.2. Le cycle de l'eau :	6
I.3. Sources d'eau destinée à la production d'eau potable	8
I.3.1. Les eaux superficielles	8
I.3.2. Les eaux souterraines	8
I.3.3. L' eau de mer :	10
I.4. Importance de l'eau.....	11
I.4.1. Pour la biodiversité :	11
I.4.2. Pour l'homme :.....	12
I.5. La composition des eaux naturelles	12
I.5.1 Les matières minérales	12
I.5.2. Les matières organiques	12

I.5.3. Les Matières dissoutes	12
I.5.4. Les matières colloïdales	12
I.6. Pollution des eaux	13
I.6.1. Les différents types de pollution	13
I.6.1.1. Pollution physique	13
I.6.1.2. La pollution chimique	13
I.6.1.3. Pollution biologique	14
I.6.1.4. Pollution organique	14
I.6.2. Source de pollution de l'eau	15
I.6.2.1. Pollution industrielle	15
I.6.2.2. Pollution domestique	15
I.6.2.3. Pollution naturelle	15
I.6.2.4. Pollution par l'agriculture	15
I.7. Normes et critères de potabilité	15
I.7.1. Les normes de qualité physico-chimique de l'eau potable	15
I.7.2. Les normes de l'organisation mondiale de la santé (OMS)	16
I.7.3. Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS	17
I.7.4. Paramètres organoleptiques.....	18
I.7.4.1. Couleur	18
I.7.4.2. Odeur	18
I.7.4.3. Goût	18
I.7.4.4. Turbidité.....	19
I.7.5. Paramètres physico-chimique.....	19
I.7.5.1. Température.....	19
I.7.5.2. Salinité.....	20
I.7.5.3. Oxygène dissous.....	20
I.7.5.4. pH.....	20

I.7.5.5. Conductivité électrique (CE).....	21
I.7.5.6. Matières en suspension (MES).....	21
I.7.5.7. Titre alcalimétrique (TA) :	21
I.7.5.8. Titre alcalimétrique complet (TAC) :	21
I.7.6. Les paramètres indésirables	22
I.7.6.1. Les matières organiques	22
etc. [32].....	22
➤ Permanganate :	22
I.7.7. Paramètres bactériologiques :	23
I.7.8. Les substances toxiques	23
I.8. Qualité des eaux destinées al consommations humaine et risques sanitaires	24
I.8.1. Qualité des eaux produites	24
I.8.2. Risques sanitaires liés à une mauvaise qualité de l'eau	25
CHAPITRE II.....	26
II.1. Les différentes étapes du traitement de l'eau	27
II.1.1. Procédés de traitement d'eaux de barrages.....	27
II.1.1.1. L'eau brute	27
II.1.1.2. Chambre de mélange.....	27
II.1.1.3. L'aération.....	28
II.1.1.4. Le débouillage :	29
II.1.1.5. Pré chloration :	29
II.1.1.6. Flocculation :	29
II.1.1.7. Décantation :	30
II.1.1.8. Filtration sur sable :	31
II.1.1.9. Désinfection (poste chloration) :	32
II.1.1.10. Le stockage et la distribution :	33
II.1.2. Procédé de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse.....	35

II.1.2.1. Définition de dessalement	35
II.1.2.2. Principe de l'osmose inverse	36
II.1.2.3. Les étapes de dessalement de l'eau de mer	37
On peut diviser une installation de dessalement en 4 postes principaux :	37
II.1.2.3.1. L'alimentation en eau de mer :	38
II.1.2.3.2. Le prétraitement :	38
II.1.2.3.3. Installation de dessalement :	40
II.1.2.3.4. Le post-traitement :	40
II.1.3. Les différents procédés de dessalement :	41
II.1.3.1. Les procédés de distillation.....	42
II.1.3.1.1. Distillation à simple effet	42
Son principe est simple ; il reproduit le cycle naturel de l'eau.	42
II.1.3.1.2. La distillation à multiple effets	43
II.1.3.1.3. Distillation avec compresseur de vapeur	44
II.1.3.1.4. Distillation par multi stage flash (MSF).....	45
II.1.3.2. Procédés membranaires	46
II.1.3.2.1. L'osmose inverse	46
Figure 23: : Osmose inverse [56]	46
II.1.3.2.2. Électrodialyse.....	47
II.1.3.3. Autres procédés de dessalement	47
II.1.3.3.1. La congélation :.....	47
II.1.3.3.2. Dessalement solaire.....	47
II.1.3.3.4. Les procédés chimiques.....	48
CHAPITRE III	50
III.1. Étude comparative de l'eau dessalée et de l'eau de barrage	51
III.2. Description des sites d'étude.....	51
III. 3. Situation géographique.....	51

III. 4. Le rôle du site d'implantation Choix du barrage Mexa :.....	52
III.5. Analyses physico-chimiques et organoleptiques :.....	53
III.5.1. Présentation des échantillons d'eau :.....	53
III.5.2. L'analyse organoleptique	54
III.5.2.1. Couleur :	54
III.5.3. Les analyses physico-chimiques.....	54
III.5.3.1. pH :	54
III.5.3.2. Conductivité électrique :.....	55
III.5.3.3. Turbidité :	55
III.5.3.4. Titre alcalimétrique complète (TAC) :	56
III.5.3.5. Détermination du taux de fer :	57
III.5.3.6. Taux d'aluminium :	58
III.5.3.7. Permanganate :.....	59
III.5.3.8. Test de chlore :	60
CHAPITRE IV	62
IV Résultats et discussions	63
IV.1 Résultat des analyses physico-chimiques.....	63
IV.2 paramètres organoleptiques :.....	63
IV.2.1. la couleur :	63
IV.3 Discussion des résultats physico-chimique.....	64
IV.3.1. Potentiel Hydrogène (pH) :	65
IV.3.2. Température :.....	66
IV.3.3. Turbidité :	67
IV.3.4. Conductivité	68
IV.3.5. Titre Alcalimétrique Complet :	69
IV.3.6. Fer résiduel	70
IV.3.7. Aluminium.....	71

IV.3.8. Test de chlore	72
Conclusion générale	77

Introduction Générale

Introduction Générale

La terre est recouverte de 72% d'eau, dont seulement 3% d'eau douce. Cette eau est inégalement répartie sur la planète : 10 pays se partagent 60% des réserves d'eau douce alors que 29 pays subissent des sécheresses quasi continues. L'eau douce, facilement disponible (lacs, fleuves, certaines eaux souterraines), ne représente que 0,07 % de la ressource totale soit environ 1 million de km³, elle se trouve en quantité limitée, et la répartition de cette eau est très inégale et sa qualité est constamment menacée. [1]

L'eau est un composé chimique présentant des propriétés d'oxydation ainsi que des propriétés de réduction. Elle est présente à la surface de la terre en raison du phénomène du cycle de l'eau provenant essentiellement des pluies et de la neige. Il existe aussi l'eau souterraine considérée comme source de réserve et peut être décrite comme stratégique. [2]

Les ressources en eau pourraient se raréfier dans les prochaines décennies à l'échelle mondiale. Cette situation affectera de manière significative les régions soumises à un climat aride à semi-aride. [3]

L'évolution que connaît l'environnement urbain et industriel pose, dans de nombreux pays, le problème de l'eau. Le prélèvement global de l'eau, nos besoins en eau ne cesseront de croître alors que les réserves en eau de bonne qualité diminuent. Ceci implique de ménager la ressource, en limitant les rejets de pollution dans le milieu naturel mais aussi produisant une eau propre à la consommation. [4]

L'intense activité humaine de ces 100 dernières années s'est appuyée sur l'énergie fossile, entraînant un changement climatique qui menace directement notre mode de vie. [5]

Mais ces eaux ne sont pas protégées d'une éventuelle contamination, qui peut être causée par des humains, mais aussi d'autres êtres vivants et peuvent provoquer des maladies, où rendre tout simplement les eaux non-potables. [6]

L'accès à une eau de boisson saine est une condition indispensable à la santé, un droit humain élémentaire et une composante clé des politiques efficaces de protection sanitaire. [7]

Le contrôle de la qualité de l'eau joue un rôle important dans la santé publique car celle-ci est susceptible d'engendrer des altérations catastrophiques sur le sol, sur l'organisme humain et même de toucher à la santé de toute une population. [8]

L'être-humaine, n'a pas cessé de s'organiser depuis des millénaires pour maîtriser la science relative à l'eau, ainsi des méthodes empiriques d'approvisionnement, actuellement on assiste à des complexes systèmes de captage, d'adduction et de distribution d'eau à des degrés de potabilité constamment améliorés. [9]

Afin d'éviter ces problèmes, les chercheurs continuent de rechercher des solutions pour réduire la crise de la pauvreté en eau, comme le développement de méthodes de stockage et de distribution, et le recours au dessalement des eaux saumâtres et des eaux de mer. [10]

Notre pays qui dispose de ressources hydriques salines considérables (ressources d'eau non conventionnelles) et d'un gisement solaire tout aussi important, doit utiliser les techniques de dessalement, afin d'améliorer l'approvisionnement en eau potable du pays. [11]

Le mémoire comporte quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur l'eau et ses différentes origines. Les procédés de dessalement y sont présentés.

Dans le deuxième chapitre nous avons abordé les différentes procédés de production d'eau potable.

Le troisième chapitre contient les différentes protocoles expérimentale.

Le quatrième chapitre contient les résultats d'analyses de différents d'eaux (eau de dessalement, eau de robinet). Les résultats sont discutés et comparés entre eux.

Nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale.

CHAPITRE I

I.1. Généralités sur l'eau

I.1.1. Définition de l'eau

L'eau est un composé chimique simple, de formule H_2O , composé d'un atome d'oxygène lié à deux atomes d'hydrogène. Elle se présente sous forme liquide à température et pression ambiantes, étant transparente, incolore, inodore et possédant un goût agréable. Toutefois, ses propriétés changent selon la température : elle devient gazeuse au-dessus de $100^{\circ}C$ ($212^{\circ}F$) et solide en dessous de $0^{\circ}C$ ($32^{\circ}F$).

En raison de sa polarité, l'eau agit comme un solvant efficace pour la plupart des corps solides trouvés sur Terre. Cette caractéristique lui vaut parfois le nom de "solvant universel".[12]

I.1.2. Structure de l'eau

La molécule d'eau est composée de deux Les atomes d'hydrogène sont chacun liés par une simple liaison chimique à un atome d'oxygène. La plupart des atomes d'hydrogène possèdent un noyau constitué uniquement d'un proton. Il existe deux formes isotopiques : Le deutérium et le tritium, dont les noyaux atomiques contiennent respectivement un et deux neutrons, sont présents en faible quantité dans l'eau. L'oxyde de deutérium (D_2O), appelé L'eau lourde est importante dans la recherche chimique et est également utilisée comme modérateur de neutrons dans certains réacteurs nucléaires. [13]

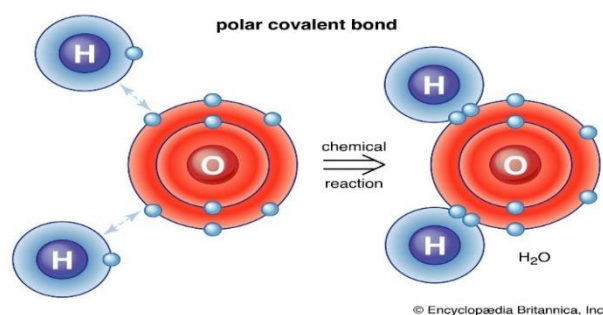


Figure 1: Structure de la molécule d'eau[13]

I.1.3. Propriétés de l'eau

Elle est très efficace pour dissoudre la plupart des organismes vivants. L'eau se combine avec certains sels pour former des hydrates et réagit avec des métaux oxydes pour former des acides. Elle est utilisée comme catalyseur dans de nombreuses réactions chimiques importantes.

La nature présente l'eau sous trois formes différentes qui dépendent de divers facteurs, comme la pression atmosphérique et la température, elle peut exister sous trois états différents : solide (glace), liquide ou gazeux.

- La glace a une structure fixe et cristalline à basse température.
- L'état gazeux n'a pas de forme ni de limite physique et les molécules sont indépendantes les unes des autres.
- L'état liquide n'a pas de forme définie, les molécules peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres mais sont liées par des forces intermoléculaires.[14]

I.2. Le cycle de l'eau :

La quantité totale d'eau existante dans le monde est de l'ordre de grandeur de 1350 millions de Km³, dont plus de 97% constituent la masse des océans. Toute eau vient des océans et y retrouve tôt ou tard, par un cycle hydrologique continu.

Le cycle de l'eau est la suite des procès autorisant le passage de l'eau d'un état à l'autre et d'un endroit à l'autre. Ce cycle naturel en perpétuel mouvement, impliquant toutes les composantes de la synthèse climatique globale, l'atmosphère, les océans, les terres immergées et la biosphère continentale.[15]

La figure 2 illustre le cycle naturel de l'eau à travers ses trois états physiques : gazeux, liquide et solide.

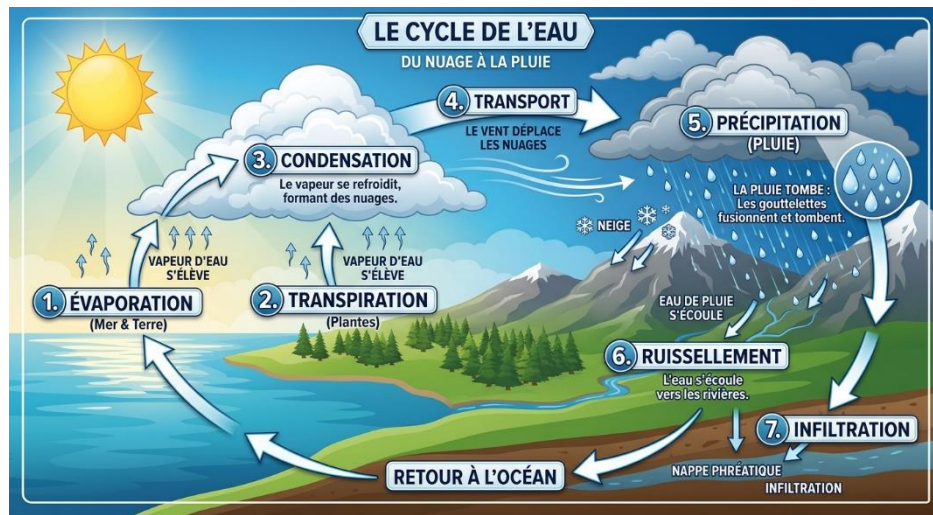


Figure 2: Schéma général du cycle de l'eau[16]

- **L'évaporation** : le soleil chauffe l'eau des mers océans, lacs et rivières et la transforme en vapeur. La transpiration des végétaux et des animaux produit également de la vapeur. [17]
- **La condensation** : en s'élevant la vapeur se refroidit et se condense sous forme de gouttelettes ou de cristaux et forme ainsi les nuages. [17]
- **Les précipitations** : les nuages déversent leur contenu (pluie, bruine, neige ou grêle) sur les océans ou les continents. [17]
- **L'écoulement** : soit les précipitations tombent sur les mers ou les océans, soit elles tombent sur les continents. Dans ce dernier cas, elles vont ruisseler et alimenter les eaux superficielles lacs et rivières ou s'infiltrer dans le sol pour rejoindre des rivières ou des nappes d'eau souterraines pour inévitablement rejoindre un jour les mers ou les océans... et le cycle recommence. [17]
- **Infiltration** : une partie des eaux pluviales s'infiltrent dans les nappes souterraines. [18]
- **Ruissellement** : une autre partie des eaux rejoint les eaux de surfaces : rivières, fleuves, lacs [18]

- **Stagnation** : l'eau est stockée dans les réservoirs naturels sur des périodes plus ou moins longues (ex : 8 jours de stagnation dans l'atmosphère, 17 ans dans les lacs, 2 500 ans dans les océans...). [18]
- **Retour à la mer** : l'eau des réservoirs naturels s'évapore sous l'action du soleil puis regagne la mer et les océans. [18]

I.3. Sources d'eau destinée à la production d'eau potable

I.3.1. Les eaux superficielles

Il s'agit des masses d'eaux bien individualisées solides ou liquides, immobiles ou en mouvement. Elles se trouvent en contact étroit avec le sol d'un côté et avec l'atmosphère de l'autre côté. Leur origine est l'eau des précipitations. Elles sont constituées par les eaux des ruisseaux, rivières, fleuves, étangs, lacs, barrages-réservoirs et glaciers. [19]

Les eaux de surface regroupent toutes les eaux courantes et stagnantes. Elles sont concentrées principalement dans le nord de l'Algérie et totalise environ 10 milliards de m³/an pour l'ensemble du pays, dont le Sahara. [20]

Les eaux de surface peuvent être divisées en deux catégories : les eaux fluviales et les eaux lacustres. Ces eaux sont caractérisées par des surfaces libres, stockées dans des réservoirs naturels ou artificiels ; toutes les eaux de surface sont de dureté moyenne. [21]

I.3.2. Les eaux souterraines

Se trouvent sous la surface du sol ou le sous – sol. Lorsque l'eau superficielle pénètre dans le sol ; une partie est retenue, cette partie est caractéristique d'un sol donné et se définit comme sa capacité de rétention, une autre partie de cette eau superficielle percole en direction du sous – sol cette percolation va dépendre bien entendu de la perméabilité du terrain concerné. [22]

Les eaux souterraines constituant la nappe cheminent en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant les pentes, parfois sur des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre, alimentant une source ou un cours d'eau nommés exutoires. Les nappes souterraines fournissent presque le tiers du débit total des cours d'eau de la planète, soit environ 12 000 kilomètres cubes d'eau par an. Les aquifères représentent un réservoir d'eaux souterraines correspondant à un volume

d'environ 8 millions de km³, soit 0,6 % de l'hydrosphère. Elles constituent notre principale ressource en eau douce [23]

Les eaux souterraines représentent généralement une excellente source d'approvisionnement en eau potable. Le filtre naturel constitué par les matériaux géologiques produit le plus souvent une eau de grande qualité, avec notamment de très faibles teneurs en micro-organismes et autres substances en suspension confirment Rasmussen et Rouleau. [24]

Tableau 1: Caractéristiques des eaux de surface et les eaux souterraines. [25]

caractéristiques	Eaux de surface	Eaux de souterraines
Température	Variable suivant saisons	Relativement constante
Turbidité, MES (vraies ou colloïdales)	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Couleur	liée surtout aux MES (argiles, algues...) sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides-humiques par exemple)
Minéralisation globale	variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...	Sensiblement constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
CO ₂ agressif	Généralement absent	Souvent présent en grande quantité
O ₂ dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation. Absent dans le cas d'eaux très polluées	Absent la plupart du temps
H ₂ S	Généralement absent	Souvent présent
NH ₄ ⁺	Présent seulement dans les eaux Polluées	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur en général modérée	Teneur souvent élevée

caractéristiques	Eaux de surface	Eaux de souterraines
Micropolluants minéraux et organiques	liée surtout aux MES (argiles, algues...) sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Fe et Mn divalents (à l'état dissous)	généralement absents, sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation	Généralement présents
Éléments vivants	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...	Ferro-bactéries fréquentes
Solvants chlorés	Généralement absents, sauf en profondeur des pièces d'eau en	souvent présents

I.3.3. L' eau de mer :

La mer s'étend sur 71% environ de la surface du globe. L'hémisphère sud est le principal réservoir d'eau de mer. Dans l'hémisphère nord on trouve plusieurs mers salées qui communiquent pour certaines avec l'océan (mer Méditerranée, mer Baltique, etc....) On trouve 30 à 40 grammes de sels dissous pour un kilogramme d'eau de mer. [26]

L'eau salée s'oppose à l'eau douce, qui contient moins de 1 g de sels dissous par kilogramme. La masse volumique de l'eau de mer à la surface est d'environ 1,025 g/ml, supérieure de 2,5 % à celle de l'eau douce (1 g/ml) à cause de la masse du sel et de l'électrostriction. [27]

Tableau 2: composition standard de l'eau de mer [19]

Cations	mg/l	Anions	mg/l
Sodium	11 035	Chlorures	19 841
Magnésium	1330	Sulfates	2769
Calcium	418	Bicarbonates	146
Potassium	397	Bromures	68
Strontium	14	Fluorures	1.4
Salinité totale : 36,047 gl			

Tableau 3 : Salinité des différents types des ressources d' eau [28]

Type d'eau	Salinité (g/litre)
Eau douce	< 0.500
Eau légèrement saumâtre	1,00 - 5,00
Eau modérément saumâtre	5,00 - 15,0
Eau très saumâtre	15,0 - 35,0
Eau de mer	35,0 - 42,0

I.4. Importance de l'eau

L'eau est une commodité première sans laquelle aucune vie n'est possible. Elle est indispensable à la vie de l'homme, des plantes et des animaux. Elle est un important facteur de progrès qui conditionne l'évolution des communautés quand l'approvisionnement est adéquat pour permettre aux habitants de vivre sainement et confortablement [29]

I.4.1. Pour la biodiversité :

La biodiversité est principalement entretenue par l'eau dans tous les milieux .D'un point de vue botanique, les plantes sont principalement composées d'eau et elles absorbent l'eau et les

sels minéraux du sol, avec lesquels elles peuvent assurer leur développement normal.[30]

I.4.2. Pour l'homme :

L'eau est indispensable au fonctionnement du corps humain, dont les réserves en eau doivent être alimentées en permanence pour ne jamais être déshydraté[30]. Autant dire que son rôle est vital. Elle sert à :

- Dissoudre pour apporter des éléments et des informations aux cellules
- Éliminer les déchets, toxines et cellules mortes
- Assimiler les aliments
- Réguler les fonctions métaboliques
- Véhiculer des informations multiples sur le plan hormonal et électromagnétique
- Assurer la régulation thermique (transpiration).[17]

I.5. La composition des eaux naturelles

Les substances présentes dans l'eau peuvent être classées selon deux modes différents :

- Suivent leur nature chimique : organique ou minérale.
- Suivent leur état physique : matières dissoutes, colloïdales ou en suspension.

I.5.1 Les matières minérales

Ce sont essentiellement des composés ioniques, cations, anions, qui proviennent de la dissolution des roches dans l'eau qui circule à leur contact.

I.5.2. Les matières organiques

Ce sont, par définition, des composés du carbone, de l'hydrogène et de l'azote, Ces matières proviennent soit de l'érosion des sols, soit de la décomposition des matières animales ou végétale qui se retrouvent dans l'eau.

I.5.3. Les Matières dissoutes

Ce sont des matières dispersées de façon homogène dans l'eau, faiblement polarisées ou ionisées. Elles obéissent à des équilibres de dissolution qui sont fonction de la température et de la pression, ce dernier facteur étant très important pour les gaz.

I.5.4. Les matières colloïdales

L'état colloïdal est un état intermédiaire entre L'état dissous et la suspension. Les matières colloïdales sont constituées d'éléments de petite taille chargée négativement, ce qui explique

qu'ils se repoussent et se répartissent de façon dispersée et désordonnée dans la masse liquide.[31]

I.6. Pollution des eaux

I.6.1. Les différents types de pollution

I.6.1.1. Pollution physique

Les deux principaux agents physiques de pollution sont :

- **La chaleur** : par élévation de température de l'eau, surtout de surface qui provoque le développement des micro-organismes comme les algues.
- **La radioactivité** : est potentiellement le plus dangereux des polluants physiques. La radioactivité des eaux naturelles peut être d'origine naturelle qui sont issue des roches (uranium, radium) ou artificielle (industries : énergie nucléaire).

Les conséquences d'une contamination radioactive sont graves et multiples, surtout lorsqu'il s'agit de produit à très longues durées de vie (la période du plutonium est de 24000 ans). Les dommages causés par l'accumulation de radioéléments dans l'organisme se présentent sous forme de lésions biologiques (irradiation, brûlures, cancers, etc.) et par des répercussions d'ordre génétiques graves. [32]

I.6.1.2. La pollution chimique

Ramade (2000) annonce que la pollution chimique s'agit de sels minéraux dissous et de micro-polluants :

A/ Les sels minéraux dissous sont nombreux, ils comprennent les chlorures, les sulfates qui se combinent au sodium, magnésium...etc.

B/ micro-polluants sont des corps chimiques à l'origine de multiples nuisances. Ils sont de nature minérale et organique (pesticides, détergents et hydrocarbures).

➤ Les métaux lourds (tel que les plombs et le chrome), affectent les propriétés organoleptiques de l'eau, ils sont dangereux même à l'état de traces, car ils s'accumulent dans la chaîne alimentaire par leur ingestion répétée et provoquent de graves altérations chez l'organisme humain.

➤ Les pesticides (insecticides, herbicides, fongicides) regroupent un ensemble de substances chimiques destiné à protéger les végétaux contre les organismes nuisibles. Leur présence dans l'eau peut être liée à leur emploi dans l'agriculture.

➤ Les détergents sont des tensioactifs utilisés en pratique pour le dégraissage, le nettoyage...etc. La présence des détergents dans les eaux est due aux rejets urbains et industriels. Ils inhibent le processus d'autoépuration, limitent le développement des micro-organismes et bloquent le ré oxygénation du milieu hydrique.

➤ La pollution par les hydrocarbures est liée aux rejets d'activités diverses (stations de services, huiles industrielles, carburants et les machines agricoles motorisées). [33]

I.6.1.3. Pollution biologique

L'eau sert d'habitat naturel ou comme moyen de transport de nombreux micro-organismes. Leur multiplication dans l'eau de boisson constitue généralement une menace pour la santé humaine surtout lorsque cette pollution est constituée de germes ou de parasites virulents.

Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient ou qui sont transportés dans l'eau sont les bactéries, les virus, les parasites, les champignons et les algues. On parle ainsi de pollution, bactérienne, virales ou parasitaire.[32]

I.6.1.4. Pollution organique

L'eau se charge en matières organiques fermentescibles constituées de glucides, lipides et protides issues d'effluents domestiques, agricoles ou des industries agroalimentaires et constituent un milieu nutritif favorable au développement des micro-organismes, notamment pathogènes. [33]

I.6.2. Source de pollution de l'eau**I.6.2.1. Pollution industrielle**

Les activités industrielles émettent de nombreuses substances qui polluent nos rivières et nappes phréatiques, parfois de manière intense, avec des conséquences à long terme encore méconnues. Ces rejets industriels contiennent divers produits, qu'ils soient solubles ou insolubles, d'origine minérale et/ou organique, souvent biodégradables mais parfois toxiques, même à de faibles concentrations.

I.6.2.2. Pollution domestique

La pollution issue des foyers, généralement transportée par les systèmes d'assainissement, aboutit souvent aux stations d'épuration. Elle se manifeste par divers éléments, notamment des agents pathogènes fécaux, une importante concentration de matières organiques, des sels minéraux comme l'azote et le phosphore, ainsi que des résidus de détergents.

I.6.2.3. Pollution naturelle

Certains composés naturellement présents dans l'environnement peuvent contaminer l'eau potable. Des substances inorganiques telles que le baryum, l'arsenic, les fluorures, le sodium, les chlorures, le mercure, le cadmium et les cyanures peuvent affecter la qualité de l'eau potable, en particulier les eaux souterraines lorsque ces métaux sont présents dans les formations géologiques environnantes.

I.6.2.4. Pollution par l'agriculture

L'utilisation d'engrais chimiques riches en azote et en phosphore, ainsi que de produits phytosanitaires pour protéger les cultures, peut entraîner une contamination des eaux de surface et souterraines en cas d'utilisation excessive, notamment lors de périodes de pluie.[34]

I.7. Normes et critères de potabilité**I.7.1. Les normes de qualité physico-chimique de l'eau potable**

Les normes de qualité de l'eau varient selon le type d'utilisation au quelle elle est destinée. (Alimentation, besoin agricole, besoins industriels). La potabilité d'une eau est liée aux valeurs des concentrations des constituants qu'elle contient concernant l'eau propre à la consommation. [35]

Tableau 4: normes de la qualité des eaux (OMS., 2000 et J.O.R.A., 2014). [35]

Substances	Les normes	
	OMS (2000)	J.O.R.A (2014)
Calcium (Ca^{++})	200 mg/l	200mg/l
Magnésium (Mg^{++})	150 mg/l	150mg/l
Chlorure (Cl^-)	300mg/l	500mg/l
Bicarbonates (HCO_3^-)	300mg/l	300 mg/l
Sulfates (SO_4^-)	400 mg/l	400mg/l
Sodium (Na^+)	200 mg/l	250 mg/l
Potassium (Na^+)	12 mg/l	15 mg/l
Nitrite (NO_2^-)	0.1mg/l	0.1 mg/l
Nitrate (NO_3^-)	50mg/l	50mg/l
Ammonium (NH_4^+)	0.5mg/l	0.5 mg/l
Les composés phosphorés	0.5 mg/l	0.5 mg/l
Matière organique (M.O)	5 mg/l	3 mg/l
Manganèse (Mn)	0.05 à 0.5 mg/l	0.5 mg/l
T°C	< 25	< 25
pH	6.5< pH <8.5	6.5< pH <8.5
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2000	< 2800
Turbidité (NTU)	< 5	< 5

I.7.2. Les normes de l'organisation mondiale de la santé (OMS)

Les gouvernements et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) ont défini des normes et des directives concernant les concentrations admissibles de certaines substances dans l'eau potable, dans le but de préserver la santé de la population en limitant l'exposition à des produits chimiques dangereux. [36]

Tableau 5: Paramètres physico- chimiques des eaux destinées à la consommation humaine. [36]

Paramètres	Expression des résultats	Limites de qualité
Température	°C	<5
PH	Unité PH	$6,5 \leq \text{PH} \leq 9$
Turbidité	NTU	< 5
Alcalinité	mg /l	< 500
Dureté	mg /l CaCO_3	< 500
Sodium	mg	< 200
Potassium	mg	< 12
Aluminium total	mg	< 0,2
Ammonium	mg /l	< 0,5
Magnésium	mg	< 15
Nitrite	mg /l	< 0,1
Nitrate	mg /l	< 50
Phosphate	mg /l	< 0,5

I.7.3. Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS**Tableau 6: Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS [37]**

Paramètre	Unité	Norme algérienne	Norme de L'OMS
pH	/	6.5-9	6.5-9.2
Température	C°	25	/
Conductivité	$\mu\text{S} / \text{cm}$	2800	/
Résidussec à 180c°	mg/l	1500	1500
Turbidité	NTU	5	5
Dureté (TH)	mg/l	500	500
Calcium	mg/l	200	/
Magnésium	mg/l	50	150
Sodium	mg/l	200	/

Paramètre	Unité	Norme algérienne	Norme de L'OMS
Potassium	mg/l	12	/
SULFAT	mg/l	400	250
Chlorure	mg/l	500	250
Nitrate	mg/l	/	50
Nitrite	mg/l	/	0.1
Aluminium	mg/l	0.2	0.2
Phosphate	mg/l	5	0.5
Ammonium	mg/l	0.5	/
Matières organique	mg/l	/	/
Métaux lourds	mg/l	5	/
Fer	mg/l	/	0.3
Manganèse	mg/l	/	0.1

I.7.4. Paramètres organoleptiques

I.7.4.1. Couleur

La couleur de l'eau peut varier en fonction de la quantité de substances humiques dissoutes et colloïdales de l'eau. Le traitement de l'eau est plus cher lorsque l'eau est de couleur élevée. [38]

I.7.4.2. Odeur

L'eau utilisée pour la nourriture doit être sans odeur. Toute odeur peut indiquer la présence de pollution ou de matière organique en décomposition.[38]

I.7.4.3. Goût

Le goût englobe toutes les sensations gustatives, olfactives et chimiques communes perçues lorsque l'aliment ou la boisson est en bouche. Les produits qui provoquent ces sensations sont responsables de leur goût. [38]

I.7.4.4. Turbidité

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. Il s'agit de diminuer la transparence d'un liquide en raison de la présence de substances non dissoutes. Elle est provoquée dans les eaux par la présence de particules fines en suspension, telles que les argiles, les limons, les grains de silice et les micro-organismes.

Une partie limitée de la turbidité peut être attribuée à la présence de substances colloïdales d'origine organique ou minérale. Il est important d'éliminer cette turbidité afin d'améliorer l'apparence esthétique de l'eau de consommation et de faciliter une désinfection efficace. Le tableau 1 présente les différentes classes de turbidité courantes. [38]

Tableau 7: Types de turbidité de l'eau [38]

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

I.7.5. Paramètres physico-chimique

I.7.5.1. Température

La température de l'eau est un facteur important dans la production biologique. Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci ; en particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques. Elle joue aussi un rôle dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH. En outre, cette mesure est très utile pour les études limon-logiques. La température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes). Une température élevée favorise la croissance des micro-organismes, peut accentuer le goût, l'odeur et la couleur. Par contre une température inférieure à 10°C ralentit les réactions chimiques lors des différents traitements de l'eau. [39]

I.7.5.2. Salinité

La salinité totale d'une eau correspond à la somme des cations et ses anions présents exprimés en mg.L-1. [39]

I.7.5.3. Oxygène dissous

L'oxygène dissous mesure la concentration du dioxygène dissous dans l'eau, il participe à la majorité des processus chimiques et biologiques en milieu aquatique. L'oxygène dissous (O₂) est très important par le fait qu'il conditionne l'état de plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique et la vie des animaux aquatiques (HCEFLCD, 2007). Il joue un rôle primordial dans le maintien de la vie aquatique et dans l'autoépuration. Sa présence dans les eaux naturelles est déterminée principalement par la respiration des organismes, par l'activité photosynthétique de la flore, par l'oxydation et la dégradation des polluants et enfin par les échanges air-eau. L'oxygène dissous est un paramètre important à prendre en considération, car il renseigne sur l'état du puits et d'autre part il favorise la croissance des micro-organismes qui dégradent la matière organique. En général, les valeurs faibles de l'oxygène dissous favorisent le développement des germes pathogènes. [39]

I.7.5.4. pH

Le pH est un des paramètres importants influençant la tendance entartrant ou agressive d'une eau naturelle, d'une manière générale une baisse du pH favorisera la tendance agressive et une élévation du pH, le caractère entartrant. Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques entre l'eau, le gaz carbonique dissous, les carbonates et les bicarbonates qui constituent des solutions tamponnées conférant à la vie aquatique un développement favorable. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5 alors que dans les eaux tièdes, celui-ci peut être compris entre 5 et 9 [39]

I.7.5.5. Conductivité électrique (CE)

Elle dépend de la concentration en sels dissous conducteurs, sa mesure est très utile pour le suivi dans le temps d'une même eau, permettant de déceler immédiatement une variation de sa composition. Il est indispensable de préciser la température de référence à laquelle se rapporte la mesure, la conductivité augmente avec la température. L'unité de mesure est le $\mu\text{S}/\text{cm}$. La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine²) de 1cm de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m): $1\text{S}/\text{m} = 104 \mu\text{S}/\text{cm} = 310\text{S}/\text{m}$. La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'Origine d'une eau. En effet, la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, donc de sa minéralisation. La conductivité électrique dépend des charges de matière organique endogène et exogène, génératrice de sels après décomposition et minéralisation et également avec le phénomène d'évaporation qui concentre ces sels dans l'eau, elle varie aussi suivant le substrat géologique traversé. [39]

I.7.5.6. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension entraînent une augmentation des frais liés aux traitements de l'eau dans les réseaux de distribution d'eau potable et accentuent les risques que les conduites soient endommagées. Les matières en suspension dans l'eau servent de véhicule pour le transport des nutriments, comme le phosphore et d'autres polluants tels que les pesticides et les métaux lourds. [39]

I.7.5.7. Titre alcalimétrique (TA) :

La teneur en hydroxyde (OH^-), est la moitié de la teneur en carbonate CO_3^{2-} et un tiers environs des phosphates présents. [40]

I.7.5.8. Titre alcalimétrique complet (TAC) :

Il correspond à la teneur en ions OH^- , CO_3^{2-} et HCO_3^- pour des pH inférieur à 8.3, la teneur en ions OH^- et CO_3^{2-} est négligeable ($\text{TA}=0$), dans ce cas la mesure de TAC correspondant au dosage des bicarbonates seuls. [40]

I.7.6. Les paramètres indésirables

I.7.6.1. Les matières organiques

Les matières organiques susceptibles d'être rencontrées dans les eaux sont constituées par des produits de décomposition d'origine animale ou végétale. Élaborés sous l'influence des micro-organismes. Ces produits très complexes sont formés principalement par des substances humiques de masse moléculaire très variable, généralement teintées, à caractère acide et hydrophile. En quantités beaucoup moins importantes ; on rencontre des substances dites non humiques constituées principalement par des protéines et acides aminés, polysaccharides, etc. [41]

➤ Permanganate :

Le permanganate est un dérivé oxygéné du manganèse au degré d'oxydation +VII. IL est anionique et utilisé sous forme de sel de potassium de formule KMnO_4^- .[41]

4

Tableau 8: Propriétés du permanganate de potassium [41]

Masse molaire	158.03 g.mol ⁻¹
Etat physique à 15°C	Solide cristallin violet
Masse volumique	2.073 g.cm ⁻³
Solubilité dans l'eau à 20°C	65 g.l ⁻¹

➤ Spectrophotométrie d'absorption UV 254nm :

Les rayons ultraviolets constituent les radiations du spectre électromagnétique de longueurs d'onde comprises entre 100 et 400 nanomètres soit entre le domaine visible et le domaine des rayons X. le spectre UV est lui-même divisé en quatre domaines de longueur d'onde. [41]

La mesure de l'absorption UV à 254nm est un indice caractéristique des substances possédant une ou plusieurs doubles liaisons. [41]

➤ **Le carbone organique total (COT) ::**

Les composés organiques se retrouvent principalement dans les eaux superficielles ; on peut aussi les rencontrer éventuellement dans les eaux de boisson. Leur origine est liée aux activités humaines industrielles et agricoles ainsi qu'aux activités naturelles (substances humiques) ; ces dernières sont susceptibles de varier très largement en fonction du débit du cours d'eau et de la saison. [41]

➤ **La demande chimique en oxygène (DCO) :**

La DCO est la teneur en oxygène consommée par les matières oxydables (réductrices) dans des conditions définies. [41]

I.7.7. Paramètres bactériologiques :

Les maladies infectieuses provoquées par les bactéries pathogènes, les virus et les parasites (par exemple, protozoaires et helminthes) représentent le risque sanitaire associé à l'eau de boisson le plus courant et le plus répandu. [42]

En général, les eaux de surface ne sont jamais parfaitement pures et présentent un certain degré de contamination fécale, de sorte qu'elles devront toujours subir un traitement destiné à réduire la charge virale à une valeur négligeable 0 UFC/100 ml selon les normes de l'OMS sur l'eau potable. [42]

I.7.8. Les substances toxiques

Ce sont des substances qui présentent par les minerais ayant une incidence directe sur la santé (métaux lourds), par les pesticides et les hydrocarbures. Actuellement pour les substances chimiques dans l'eau (tableau 2), les teneurs tolérées sont de plus en plus minimales. [43]

Tableau 9: Normes de quelques substances dans l'eau potable selon Journal officiel d'Algérie [43]

Paramètres toxiques	Unité	Norme Algérienne (Jora, 2006)
Arsenic	mg/l	0.01
Cadmium	mg/l	0.005
Cyanure	mg/l	0.05
Chrome	mg/l	0.05
Mercure	mg/l	0.001
Plomb	mg/l	0.01
Sélénium	mg/l	0.01

I.8. Qualité des eaux destinées al consommations humaine et risques sanitaires

I.8.1. Qualité des eaux produites

L'approvisionnement en eau potable se fait soit à partir d'eaux souterraines par le biais d'ouvrages tels que les forages, les puits et les sources soit à partir d'eaux de surface par le biais de retenues d'eau ou barrages avec acheminement de l'eau dans un réseau de canalisations. Son accessibilité est variable d'une région à l'autre du fait des phénomènes climatiques, géographiques, socioculturels et économiques. Ce qui peut amener les populations à utiliser des eaux de qualité douteuse. D'où l'intérêt d'une surveillance et d'un contrôle codifié et rigoureux de la qualité de l'eau de consommation depuis la source d'approvisionnement, quel qu'en soit le type, au consommateur. [44]

I.8.2. Risques sanitaires liés à une mauvaise qualité de l'eau

Les maladies liées à la présence d'éléments pathogènes ou de molécules toxiques sont très répandues Paludisme (un million de décès par an, 100 à 150 millions de cas annuels dont 90 % en Afrique, et 300 millions de porteurs de parasites) :

- Filaires (maladie due à un vers injecté par des moustiques sous les climats chauds et humides) ;
- Le choléra, dû aux vibrios cholériques présent dans les eaux souillées
- L'hépatite A (due à un virus présent aussi dans les eaux polluées) ;
- Et les autres comme les dysenteries d'origines parasitaires, bactériennes et virales aux conséquences qui peuvent être très graves chez le jeune enfant. [45]

CHAPITRE II

II.1. Les différentes étapes du traitement de l'eau

II.1.1. Procédés de traitement d'eaux de barrages

II.1.1.1. L'eau brute

L'arrivée de l'eau brute à la station de traitement TAKSEBT se fait dans la chambre de dissipation qui possède un volume de 430 m^3 . [46]



Figure 3: L'eau brute. (Photo Hendi Fathi 2026)

II.1.1.2. Chambre de mélange

Le mélange de ces produits chimiques est réalisé dans trois (03) déversoirs vers la Chambre de mélange. Cette chambre possède un volume de 450 m^3 , permettant un mélange et un temps de contact suffisant. Au niveau de cette chambre s'effectue différentes injections :

➤ Injection d'acide sulfurique

L'injection d'acide sulfurique permettra de diminuer le pH pour pouvoir ajouter le sulfate d'alumine qui est utilisé pour coaguler les MES colloïdales très fines. La coagulation étant optimale à un pH proche de 6,4 à 7. Le pH de l'eau du barrage de Taksebt varie de $8,05 < \text{pH} < 7,50$.

➤ Injection de KMnO_4

Elle est utilisée pour les précipitations du manganèse. Compte tenu de la qualité de l'eau brute du barrage de TAKSEBT, cette injection n'est pas effectuée car le taux du Mn varie dans la fourchette suivante $0,025 < \text{Mn} < 0,082 \text{ mg/l}$.

Toutefois, ce point d'injection est prévu en cas de détérioration de la qualité de l'eau du Barrage avec le temps. [46]

II.1.1.3. L'aération

Les eaux peuvent être d'une mauvaise qualité, c'est dire : pauvres en oxygène (O_2) et chargées en CO_2 et d'autres matières volatiles. Alors, on recourt à l'aération pour améliorer la qualité de l'eau par différents moyens. [47]



Figure 4: Cascade de l'aération (photo Hendi Fathi 2026)

II.1.1.4. Le débourbage :

C'est une opération nécessaire lorsque la concentration en MES est supérieure à 2g/l et consiste en la décantation des sables les plus fines et des limons grossiers. [48]



Figure 5: Débourber (Photo Hendi Fathi 2026)

II.1.1.5. Pré chloration :

Pour une désinfection continue on utilise plutôt le chlore (DESJARDINS ,1988). Le pré chloration est faite par ajout de chlore (eau de javel) afin d'améliorer les phénomènes de coagulation et de floculation en terme de turbidité éliminée, de durée de fonctionnement des filtres, d'économie de réactifs. [49]

II.1.1.6. Floculation :

La floculation est une étape de traitement après la coagulation. Son but est de favoriser la croissance des floccs par une agitation lente et prolongée de l'eau du bac de coagulation. Elle s'effectue dans un bassin équipé d'un dispositif d'agitation mécanique et nécessite le plus 6 souvent l'adjonction d'un flocculant.

Il complète l'étape de coagulation et est conçu pour assurer une plus grande cohésion et une meilleure vitesse de décantation des floes. Les auxiliaires ou flocculantes pouvant être introduits dans la cuve de floculation sont des accessoires poly- électrolytes. [50]



Figure 6: Tuyau de flocculant (Photo Hendi Fathi 2026)

II.1.1.7. Décantation :

La décantation, procédé qu'on utilise dans pratiquement toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux, a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau.

Les décanteurs sont des appareils dans lesquels l'eau circule d'une manière continue, très lentement, de façon qu'elle puisse abandonner ses matières en suspension et colloïdales rassemblées dans les flocons formés dans le flocculateur. Les boues sont recueillies à la partie inférieure puis évacuées périodiquement par raclage continu si leur volume est important. [49]



Figure 7: Bassin de décantation (Photo Hendi Fathi 2026)

II.1.1.8. Filtration sur sable :

L'eau est acheminée du collecteur commun des eaux clarifiées des deux décanteurs vers deux batteries de cinq filtres à sable rectangulaires. Ces derniers fonctionnent à niveau d'eau constant. Le débit est réglé par une vanne automatique sur la conduite d'évacuation des eaux filtrées, reliée à une sonde piézométrique. Un turbidimètre permet de contrôler la turbidité de l'eau en sortie des filtres.

La séquence de lavage consiste en un dé tassage à l'air à un débit de $3059 \text{ m}^3/\text{hd}$, une durée de 5mn, une phase air et eau puis un rinçage à l'eau jusqu'au retour d'une eau claire. Les eaux propres de lavage des filtres proviennent de deux bâches d'eau de lavage. L'eau filtrée récupérée est utilisé dans le lavage du sable de filtration.

Le dispositif de lavage de filtres est constitué de trois pompes d'eau de lavage d'un débit unitaire de $750 \text{ m}^3/\text{h}$, et de deux groupes suppresseurs d'air de débit unitaire de $3059 \text{ m}^3/\text{h}$.

Les eaux filtrées après leur passage dans les réservoirs d'eau de lavage transitent par un serveur dans une chambre commune d'eau filtrée avant de rejoindre les réservoirs d'eau traitée. A noter que les déflecteurs situés dans ce réservoir à l'extrémité des conduites d'eau filtrée sont tous détachés de leurs supports. [51]



Figure 8: Bassin de filtration (Photo Hendi Fathi 2026)

II.1.1.9. Désinfection (poste chloration) :

La désinfection est l'étape ultime du traitement de l'eau de consommation avant distribution. Elle permet d'éliminer tous les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau. Il peut cependant subsister dans l'eau quelques germes banals, car la désinfection n'est pas une stérilisation.

Le principe de la désinfection est de mettre en contact un désinfectant à une certaine concentration pendant un certain temps avec une eau supposée contaminée. Les quatre principaux désinfectants utilisés en production d'eau potable sont : le chlore (l'eau javel et le chlore gazeux), dioxyde de chlore, l'ozone et le rayonnement(UV). [51]



Figure 9: Bassin d'eau désinfectée (Photo Hendi Fathi 2026)

II.1.1.10. Le stockage et la distribution :

L'eau de potabilités est acheminée dans des réservoirs où elle est stockée. Elle sera ensuite envoyée jusqu'aux habitations via un réseau de canalisations souterrain. [52]

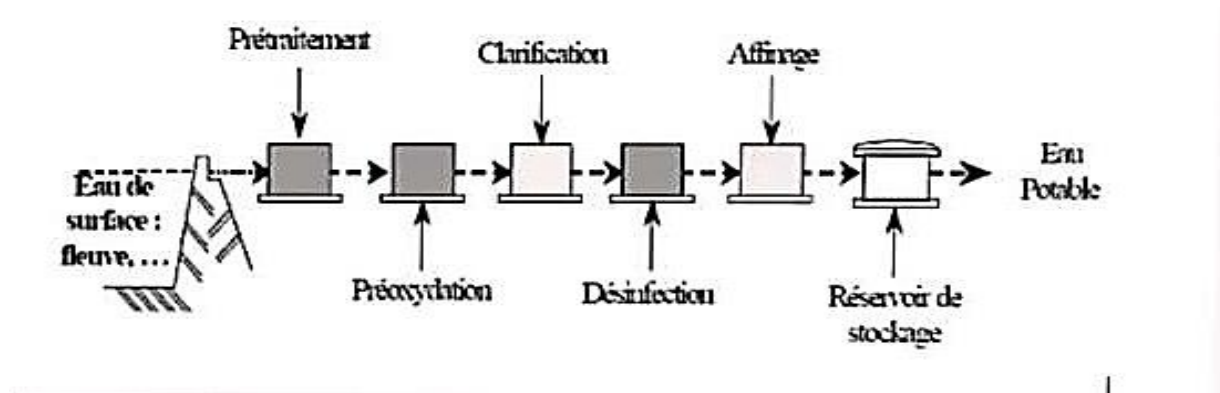


Figure 10: Schéma des étapes et unités de traitement des eaux de surface : [53]

Tableau 10: étapes et unités de traitement des eaux de surface [53]

Unité ou étape	Fonction	Commentaires
Prise d'eau	Relier la rivière ou le lac au puits d'eau brute Acheminer l'eau à l'usine de traitement	Aucun entraînement de la vase et des matières flottantes vers le puits d'eau brute
Grillage	Arrêter les impuretés grossières	Installé dans le puits d'eau brute Nettoyage manuelle ou Mécanique
Pompe à basse Pression	Refouler l'eau de puits d'eau brute jusqu'à la première unité de traitement	Capacité totale de ronflement = consommation quotidienne maximale Pression=135kpa
Pré désinfection ou Peroxydation	Réduire la concentration de micro-organismes Oxyder la matière organique	Ozone, dioxyde de chlore ou chlore
Micro tamisage	Arrêter les particules fines en Suspension	Inutile en cas de coagulation, floculation décantation

Unité ou étape	Fonction	Commentaires
Coagulation	Déstabiliser les particules en suspension Amorcer la formation d'un floc	Dans un mélangeur rapide
Floculation	Agglutiner les particules d'impuretés Augmenter les volumes des particules de floc	
Décantation	Eliminer les particules de floc	Liquide surnageant acheminé vers les filtres boues formée par les particules de floc évacué vers le réseau d'égouts
Filtration	Arrêter les petites particules de floc contenues dans l'effluent du décanteur	Dernière étape permettant de réduire la turbidité et la couleur
Désinfection	Détruire les microorganismes nuisibles à la santé	Chlore, dioxyde de chlore ou Ozone
Fluoruration	Ajouter des ions fluorure a l'eau traitée	Concentration optimale d'ion fluorure dans les eaux de consommation =1.2mg/l
Réservoir	Conserver l'eau traitée jusqu'à son utilisation	
Pompes à haute Pression	Refouler les eaux traitées vers les consommateurs	Capacité = consommation horaire maximale Pression= 600kPa

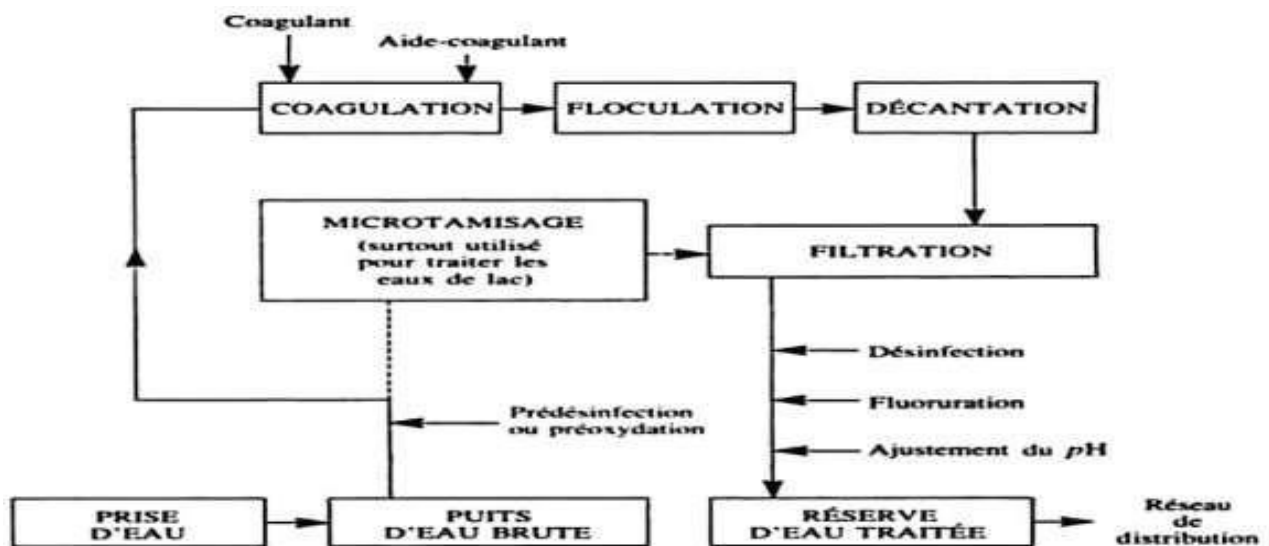


Figure 11: Schéma des étapes et unités de traitement des eaux de surface [53]

II.1.2. Procédé de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse

II.1.2.1. Définition de dessalement

Le dessalement est un procédé qui convertit l'eau salée, comme celle de la mer, en eau douce potable. D'un point de vue chimique, il s'agit de l'élimination du chlorure de sodium (NaCl) afin de rendre l'eau plus adaptée à la consommation humaine et à d'autres usages industriels. Le dessalement peut s'appliquer non seulement à l'eau de mer mais aussi aux eaux saumâtres, qui diffèrent par leur concentration en sels dissous et leur composition. La salinité moyenne de l'eau de mer est d'environ 35 g/L, comprenant principalement 86 % de chlorure de sodium et 13 % de carbonates et sulfates de magnésium et de calcium.

En comparaison, les eaux saumâtres ont une salinité généralement inférieure à 10 g/l et une composition plus variable. [54]

II.1.2.2. Principe de l'osmose inverse

Rappelons qu'on appelle le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane sous l'action d'un gradient de concentration.

Considérons un système à deux compartiments séparés par une membrane perméable et contenant deux solutions de concentration différentes (figure II.1). L'osmose se traduit par un déplacement de l'eau de la solution diluée vers la solution concentrée.

Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée. La quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que flux d'eau va s'annuler. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

Si la pression augmente au-delà de la pression osmotique, cela entraînera un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique. C'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse qui a été découvert en 1950 par Reid à l'université de Floride (États - Unis) dans le cadre d'études relatives au dessalement de l'eau de mer et qui s'est développé dans les années 1960 lorsque Loeb et Sourirajan ont réussi à obtenir des membranes asymétriques à perméabilité élevée à l'université de Californie (États- Unis) (membrane à base d'acétate de cellulose). [55]

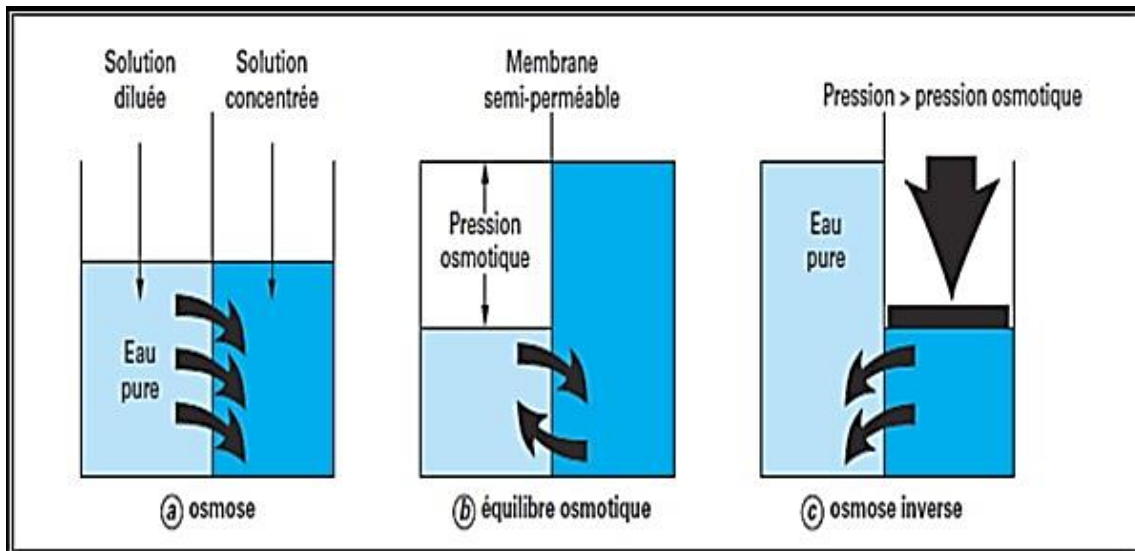


Figure 12: Principe d'osmose inverse : [46]

II.1.2.3. Les étapes de dessalement de l'eau de mer

On peut diviser une installation de dessalement en 4 postes principaux :

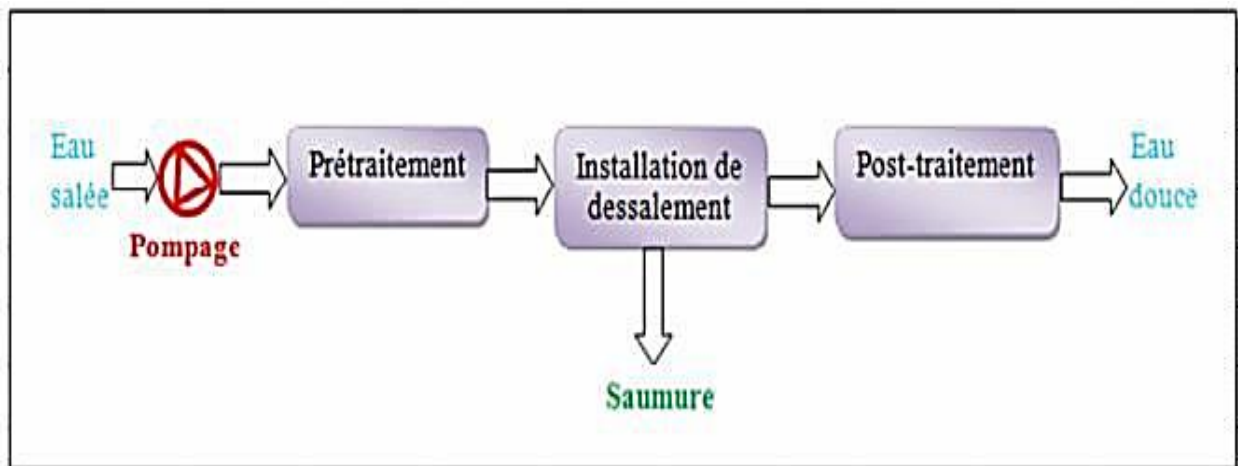


Figure 13: Schéma général d'une installation de dessalement [56]

II.1.2.3.1. L'alimentation en eau de mer :

Peut s'effectuer soit par prise directe, soit par puits côtiers. Ce dernier système permet d'obtenir une eau non turbide, ce qui soulage les prétraitements.

Dans le cas où l'eau provient de la mer via une prise d'eau à ciel ouvert, le système comprendra les têtes de prises d'eau, les conduites d'acheminement des têtes de prises d'eau vers les puits de prises d'eau, la station de pompage dans les puits et les conduites à terre, du puits à l'installation de prétraitement. Les têtes de prises d'eau doivent être correctement situées afin d'éviter l'aspiration de matériaux flottants ou de sédiments, pour garantir une alimentation suffisante en eau salée. [56]

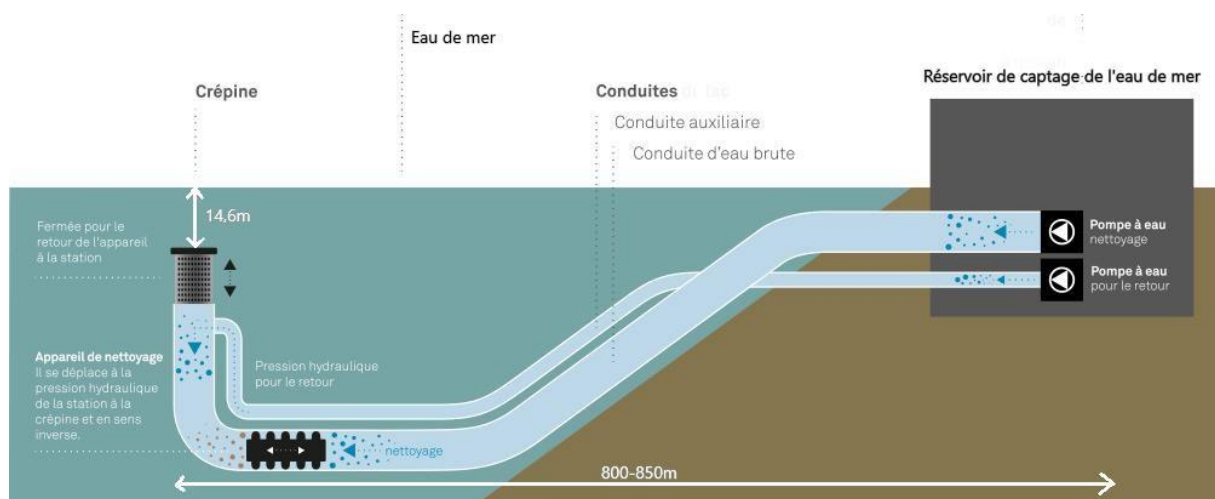


Figure 14: schéma de captage des eaux de mer [57]

II.1.2.3.2. Le prétraitement :

La salinité, les matières en suspension ainsi que les matières organiques des différents océans ou mers du globe sont très variables. Les systèmes de prétraitement de l'eau de mer avant dessalement ont pour but d'éliminer les matières en suspension et le plancton qui sont susceptibles de colmater les installations de dessalement. Les techniques de prétraitement de l'eau de mer sont :

- ▶ **Chloration** : Bloque la prolifération des organismes vivants. Evite l'obstruction des conduites.
- ▶ **Filtration** : Protège les pompes et assure le bon fonctionnement des pulvérisateurs.
- ▶ **Antitartre** : La distillation favorise la précipitation du carbonate de calcium qui se dépose sur la paroi des échangeurs et réduit le transfert de chaleur. [56]



Figure 15: Opération de prétraitement [58]

II.1.2.3.3. Installation de dessalement :

C'est le système qui retire les sels de l'eau brute (eau saumâtre ou eau de mer). Ce système peut être un «système membranaire », un « système thermique » ou « un autre système ». Le choix de la meilleure technologie de dessalement peut dépendre de la géographie, de l'environnement, de la maturité de la technologie, de l'eau brute et de la qualité de l'eau produite, de la disponibilité des technologies, de l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'installation disponible, de la capacité des opérateurs à faire fonctionner cette technologie, des coûts, ... etc. [56]



Figure 16:L'étape de l'osmose inverse [59]

II.1.2.3.4. Le post-traitement :

Permet de potabiliser l'eau en 2 étapes (en sortie de l'unité de dessalement, l'eau n'est pas potable car elle est déminéralisée).

► **Correction de la corrosivité** : le traitement consiste à ajouter du $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ou du CaCO_3 .

► **Désinfection finale** : bien que certains procédés (osmose inverse) retiennent tous les microorganismes, il est nécessaire d'assurer une désinfection à la sortie de l'usine. [56]



Figure 17: Les réservoirs de CO2 [59]

II.1.3. Les différents procédés de dessalement :

La totalité des installations actuellement en service fait appel à deux grandes familles de procédés : les procédés de distillation (par évaporation) et les procédés de séparation par membranes qui sont plus récents. [60]

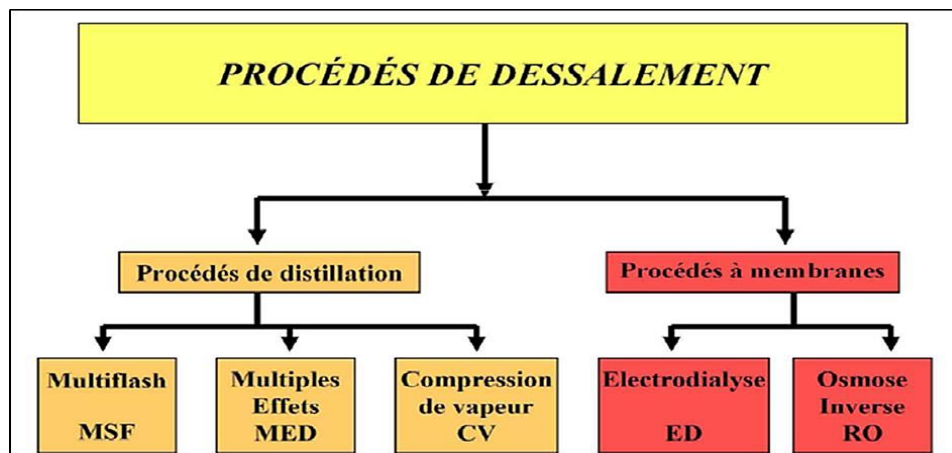


Figure 18: schéma de différents procédés de dessalement [60]

II.1.3.1. Les procédés de distillation

Les procédés les plus utilisés et qui sont susceptibles d'être couplés à une source d'énergie solaire sont :

Les procédés à distillation classique tel :

- le procédé à Multi-étage flash,
- à compression de vapeur.
- La distillation solaire directe. [61]

II.1.3.1.1. Distillation à simple effet

Son principe est simple ; il reproduit le cycle naturel de l'eau.

- 1)- Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer.
- 2)- La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide.
- 3)- Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième l'eau de mer concentrée ou saumure.

Cette première solution est simple à mettre en œuvre et n'offre qu'un rendement réduit, aussi elle n'est utilisée que dans les navires disposant d'une source d'énergie thermique. [61]

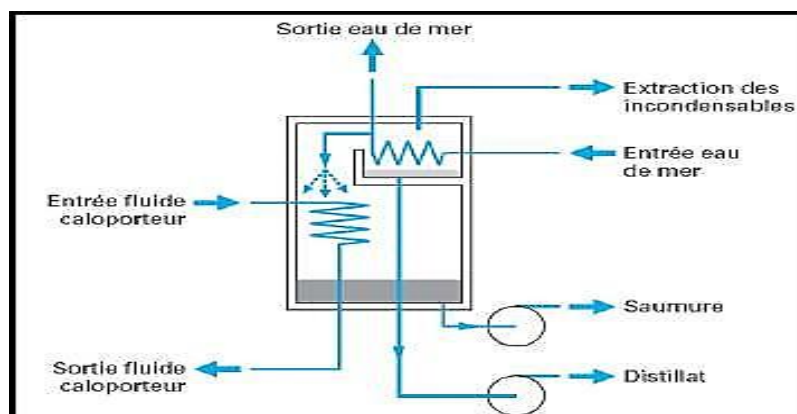


Figure 19: Distillateur simple effet [61]

II.1.3.1.2. La distillation à multiple effets

Distillation à multiples effets (MED) : Ce procédé repose sur l'évaporation, à pression réduite, d'un volume d'eau de mer préchauffée à une température de 70 à 80°C. L'évaporation. La détente au sein des étages successifs assure la présence d'eau sur une surface d'échange. On transfère la chaleur à travers cette surface en utilisant soit de la vapeur produite par une chaudière, soit de l'eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. Vapeur ainsi produite dans le premier effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le deuxième effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le deuxième effet et ainsi de suite. Donc, seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet provient de l'extérieur, c'est-à-dire la multiplication. La réduction de la consommation spécifique est rendue possible grâce au nombre d'effets. (Énergie/m³ d'eau douce produite). [62]

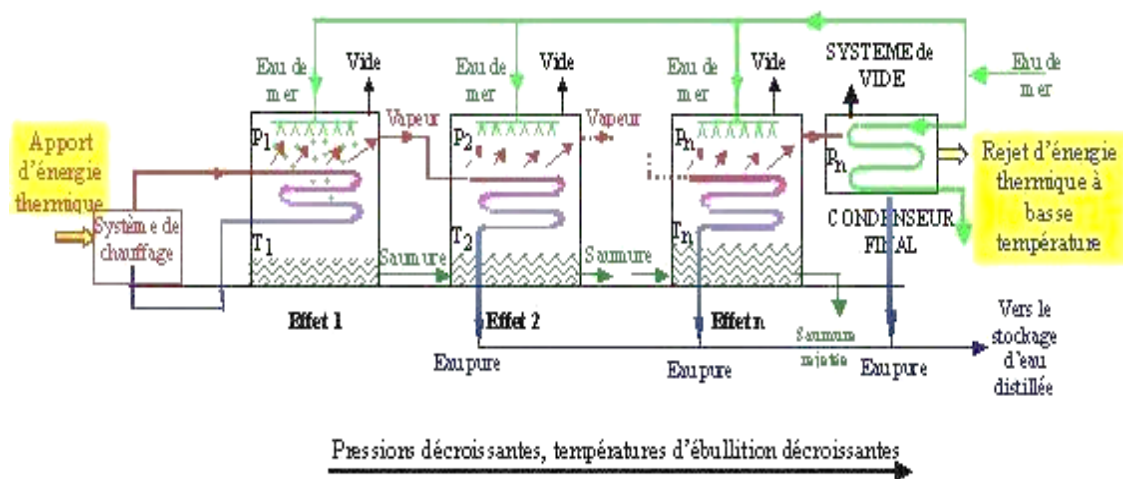


Figure 20: Distillation à multiples effets (MED) [62]

II.1.3.1.3. Distillation avec compresseur de vapeur

L'eau salée arrive dans un évaporateur, où elle se vaporise aux environs de 100°C grâce à un serpentin auxiliaire de vapeur qui est ensuite mis hors circuit (Figure). La vapeur d'eau à la pression atmosphérique et vers 100°C est alors aspirée par un compresseur qui la porte à une pression relative de l'ordre de 0,2 bar, avec une surchauffe de l'ordre de seulement 6°C, la vapeur surchauffée passe ensuite dans le serpentin principal de l'évaporateur où elle se condense. Parmi les avantages de la thermo compression c'est son haut rendement, on peut retirer environ 0,8 m³ d'eau douce de 1 m³ d'eau brute. [63]

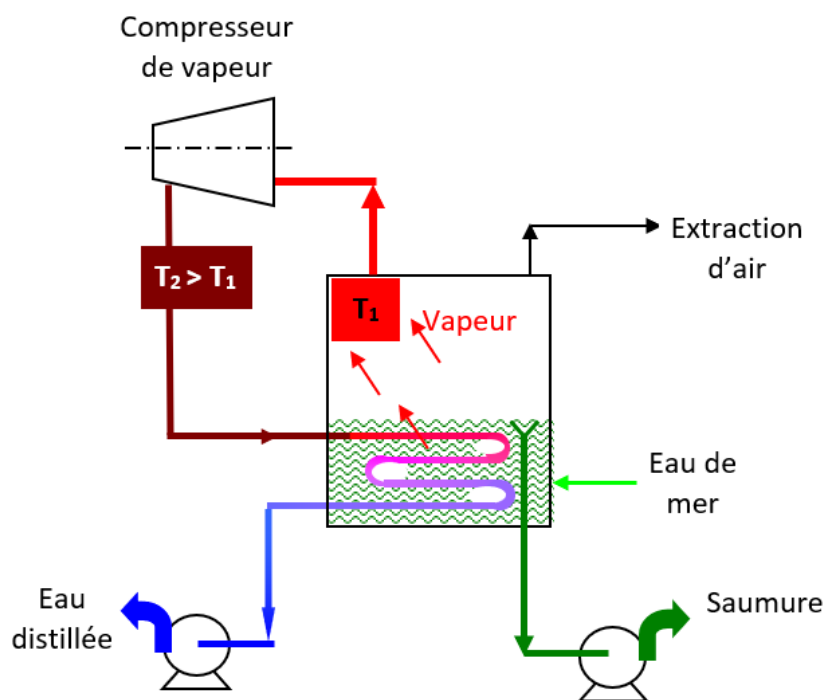


Figure 21: schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur[63]

II.1.3.1.4. Distillation par multi stage flash (MSF)

L'intérêt du multi-flash réside dans son faible coût énergétique. En effet, plus la pression est basse, plus la température à laquelle l'eau passe à l'état gazeux est faible. Pour ce procédé, l'eau de mer est envoyée dans des conduits au bout desquels elle est chauffée à 120 °C, puis elle est ensuite introduite dans un compartiment où règne une pression réduite (sa température d'ébullition est donc plus basse).

L'eau est alors instantanément transformée en vapeur par détente appelée Flash. La vapeur ainsi créée va monter au contact des premiers conduits dans lesquels passent l'eau de mer.

Les conduits sont assez froids ce qui provoque la condensation de cette vapeur qui est alors récupérée à l'état liquide.

Pour l'eau qui ne s'est pas évaporée dans ce compartiment, elle est récupérée puis transférée dans un deuxième compartiment du même type mais avec une pression atmosphérique encore plus basse. Et ainsi l'opération est répétée plusieurs fois à la suite (d'où le nom de multi-flash). Il existe des usines de dessalement dans lesquelles l'opération se répète dans 40 compartiments. [64]

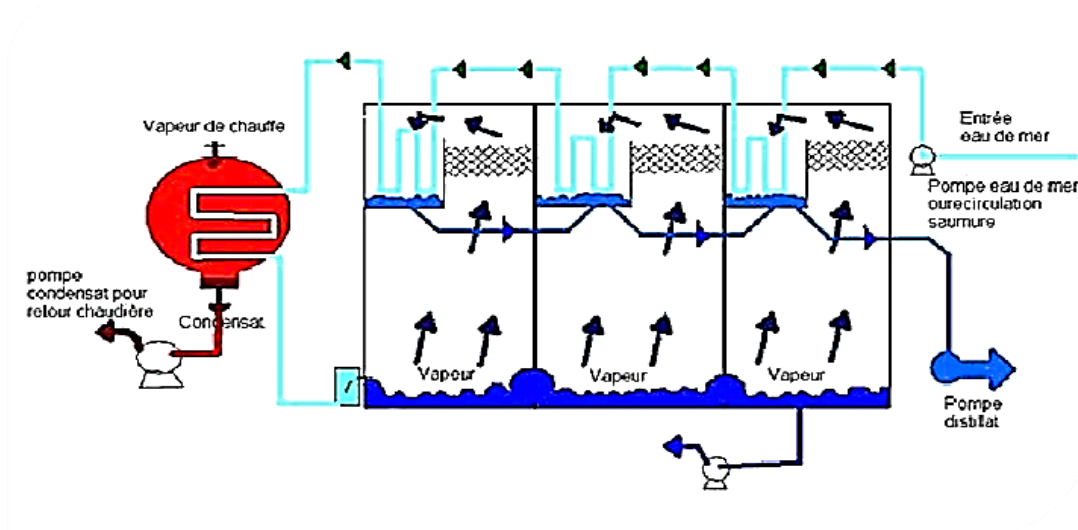


Figure 22: principe de fonctionnement d'un système (MSF) [64]

II.1.3.2. Procédées membranaires

II.1.3.2.1. L'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi- perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10-7 mm de taille.

L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électrique consommée principalement par les pompes haute pression.

La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de 0,5 g.L-1. [65]



Figure 23: : Osmose inverse [65]

II.1.3.2.2. Électrodialyse

L'électrodialyse est un procédé de nature électrochimique. Il permet d'extraire en partie ou en totalité les ions contenus dans une solution en conservant des substances pas ou très peu ionisées. [66]

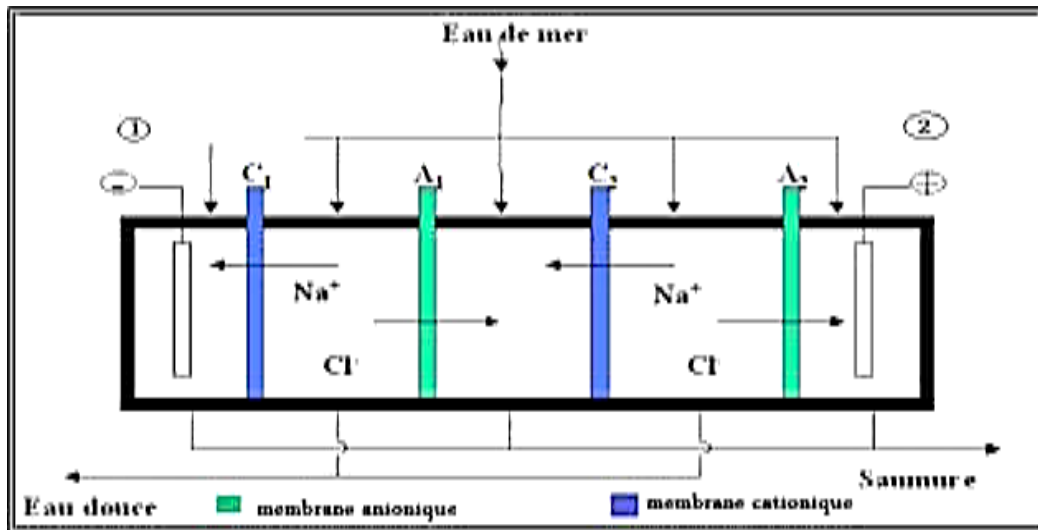


Figure 24: principe du procédé électrodialyse [66]

II.1.3.3. Autres procédés de dessalement

II.1.3.3.1. La congélation :

La congélation de l'eau de mer fournit des cristaux de glace exempte de sel, et depuis des temps immémoriaux, les riverains des mers arctiques se sont ainsi procuré de l'eau douce. [67]

II.1.3.3.2. Dessalement solaire

Ce procédé exploite l'énergie solaire pour chauffer l'eau de mer et induire son évaporation. La vapeur ainsi obtenue est ensuite condensée pour produire de l'eau douce. Des dispositifs varient du simple distillateur solaire à des systèmes intégrés plus complexes. [68]

II.1.3.3.4. Les procédés chimiques

Les procédés chimiques sont employés dans le traitement de l'eau pour éliminer certaines substances dissoutes qui ne peuvent être extraites par des méthodes physiques ou mécaniques.

Ces techniques incluent notamment l'échange d'ions et l'extraction par solvant. Leur efficacité dépend des caractéristiques physico-chimiques de l'eau à traiter, ainsi que de la nature des ions ou composés à éliminer.

➤ Échange d'ions

L'échange d'ions est un procédé chimique dans lequel les ions présents dans une solution aqueuse sont échangés contre d'autres ions fixés sur un matériau solide appelé résine échangeuse d'ions.

Cette méthode est largement utilisée pour la déminéralisation ou la désalinisation partielle de l'eau. Elle repose sur l'attraction électrostatique entre les charges opposées des ions dissous et celles fixées sur la résine.

Il existe deux types principaux de résines : les cationiques (échangeant les cations comme Ca^{2+} , Mg^{2+}) et les anioniques (échangeant les anions comme Cl^- , SO_4^{2-}).

Cette technique est particulièrement utile pour la production d'eau ultra pure dans les industries pharmaceutiques, électroniques et de production d'énergie. [64]

➤ Extraction par solvant :

L'extraction par solvant consiste à transférer sélectivement une ou plusieurs substances dissoutes dans l'eau vers une phase organique non miscible. Le choix du solvant dépend de la nature des substances à extraire et des conditions opératoires (pH, température, etc.).

Ce procédé est couramment utilisé pour éliminer certains métaux lourds, substances organiques spécifiques ou pour la concentration de composés précieux présents en faible quantité. Il s'agit d'un procédé relativement complexe qui nécessite un contrôle précis des conditions physico-chimiques. Toutefois, il permet de cibler efficacement des polluants spécifiques que d'autres procédés ne peuvent retirer. [64]

CHAPITRE III

III.1. Étude comparative de l'eau dessalée et de l'eau de barrage

Notre travail porte sur la caractérisation de deux types d'eaux destinées à la consommation humaine dans la wilaya d'El Tarf : l'eau de mer dessalée produite par la station de Berihane et l'eau de barrage traitée provenant du barrage de Mexa.

Dans le cadre de cette étude, nous avons réalisé un stage pratique au sein du laboratoire du barrage de Mexa. Ce stage avait pour objectif le suivi et l'évaluation des différents paramètres physico-chimiques de l'eau aux différentes étapes du traitement, depuis l'eau brute jusqu'à l'eau traitée destinée à la consommation.

Toutefois, certaines contraintes ont limité l'accès aux installations de la station de dessalement pour la réalisation du stage pratique. Par conséquent, l'ensemble des travaux expérimentaux et des analyses a été effectué au niveau du laboratoire du barrage de Mexa.

III.2. Description des sites d'étude

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 23). Le barrage Mexa est d'une capacité de 280 hm³ a été mis en eau au cours de l'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. [69]

III. 3. Situation géographique

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. [69]



Figure 25: Situation géographique de barrage mexa d'El Tarf [69]

III. 4. Le rôle du site d'implantation Choix du barrage Mexa :

La communauté de Bougous est une zone de haute altitude avec une forte exposition fluviale. C'est un endroit proche des vallées les plus peuplées, ce qui en fait un emplacement stratégique pour le front principal du barrage de Mexa.

- ❖ Le rôle du barrage Mexa est de retenir les quantités d'eau durant la période humide, de réguler le débit du cours d'eau, et d'assurer différents
- ❖ Usages tels que : l'irrigation, l'industrie et l'électricité. [69]



Figure 26: barrage Mexa [60]

Tableau 11: Caractéristiques de la digue du barrage Mexa [69]

Caractéristique	Valeur
Volume utile	41 hm ³
Contre digue	62 m
Largeur de la crête	402 m
Hauteur de la digue à partir du terrain	30 m
Hauteur de la digue à partir de la fondation	42 m
Volume total	51,5 hm ³

III.5. Analyses physico-chimiques et organoleptiques :

Les analyses sur les échantillons prélevés sont effectuées dans le laboratoire de contrôle de qualités physico-chimiques de la station de traitement des eaux Mexa.

Les analyses effectuées sont les suivantes : pH, conductivité ; turbidité ; couleur ; TAC ; taux d'aluminium ; taux de fer et T°. [70]

III.5.1. Présentation des échantillons d'eau :

➤ Eau de robinet (issue par dessalement d'eau de mer) :

L'eau de robinet a été collectée au niveau de la ville de Bouteldja, cette commune est desservie par l'eau de dessalement de la station de la plage de Berrihen.

L'eau de dessalement traitée, est tout d'abord stockée au niveau de réservoir de drawach. Ensuite elle est distribuée par l'ADE, qui complète le traitement par ajout de d'hypochlorite de sodium (eau de Javel).

➤ Eau de barrage de Mexa :

L'eau d'analyse a été collectée au niveau de la station d'épuration des eaux de barrage de Mexa. Les échantillons des eaux sont collectés et analysés à l'entrée (eau brute, eau salée) et à la sortie (eau traitée, eau dessalée).

III.5.2. L'analyse organoleptique

III.5.2.1. Couleur :

- ✚ Tout d'abord, nous l'avons le tube avec de l'eau distillée.
- ✚ Deuxièmement, nous remplissons le tube d'eau brute jusqu'au point spécifié.
- ✚ Nous essuyons le tube de l'extérieur avec un chiffon lisse pour éliminer les gouttes externes.
- ✚ On place le tube dans le spectrophotomètre, on cherche quelques secondes, puis on lit le résultat sur l'écran.
- ✚ Quand e processus terminé, nous l'avons à nouveau le tube avec de l'eau distillée. [70]



Figure 27: Spectrophotomètre HACH DR1900 (Photo Hendi Fathi 2026)

III.5.3. Les analyses physico-chimiques

III.5.3.1. pH:

- ✚ Le pH est l'une des mesures que l'on doit effectuer le plus fréquemment, il est relié la teneur en ions H^+ et aussi à l'acidité et l'alcalinité de l'échantillon Tout d'abord, nous étalonnons le pH-mètre avec deux étalons, le premier avec pH=7 et l'autre avec pH=4. Après

cela, nous insérons l'électrode à la surface de l'eau (6 à 8 cm) puis lisons le résultat sur l'écran de l'appareil. Après avoir terminé chaque mesure, nous trempions l'électrode dans de l'eau distillée. [70]



Figure 28: Multi- paramètres HACH SL1000 (photo Hendi Fathi 2026)

III.5.3.2. Conductivité électrique :

✚ La mesure en $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou mS/cm (micro ou milli Siemens par cm) de la conductivité électrique d'une eau s'effectue à l'aide d'un conductimètre. Celui-ci mesure le passage de l'électricité entre deux électrodes séparées par un cube de $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ d'eau.

✚ Nous mesurons la conductivité électrique à l'aide d'un appareil multi-paramètres (**Figure 28**), où nous plongeons les électrodes dans l'eau (6 à 8 cm) puis lisons le résultat sur l'écran de l'appareil. [70]

III.5.3.3. Turbidité :

✚ La turbidité est principalement mesurée par différentes méthodes de photométrie des milieux troubles comme la néphélométrie, l'opacimétrie et la turbidimétrie. Dans ce cas, on utilise la turbidité mètre.

On utilise une turbidité mètre de modèle « HANNA FAST TRUCKER » les résultats apparaissent sur l'écran de l'appareil. [70]



Figure 29: Turbidimètre « HACH 2100N » (Photo Hendi Fathi 2026)

III.5.3.4. Titre alcalimétrique complète (TAC) :

Titre alcalimétrique complet (TAC) représente la concentration totale des espèces basiques présentes dans l'eau, principalement les hydroxydes, les carbonates et les bicarbonates des métaux alcalins et alcalino-terreux (Benslimane, 2015). La détermination du TAC s'effectue par titrage acido-basique. Pour cela, un volume de 100 mL d'échantillon d'eau est prélevé dans un bécher, puis on ajoute quelques gouttes de vert de bromothymol comme indicateur coloré. Après agitation, la solution prend une teinte bleue indiquant un milieu basique.

On procède alors au titrage en ajoutant progressivement de l'acide sulfurique (H_2SO_4) jusqu'au changement de couleur de l'indicateur, signalant l'atteinte du point d'équivalence. □
La valeur du TAC est ensuite calculée en degré français à l'aide de la formule suivante :

$$TAC = V_{equ} * N * 50$$

- * V_{equ} : Volume d'acide fort (acide chlorhydrique ou sulfurique) versé à l'équivalent en millilitres (mL).
- * N : Normalité de l'acide utilisé (souvent 0,02 N pour les analyses d'eau courantes).
- * 50 : Coefficient de conversion pour obtenir le résultat en degrés français (°f) [69]



Figure 30: Titrage colorimétrique à l'acide sulfurique (Photo Hendi Fathi 2026)

III.5.3.5. Détermination du taux de fer :

Pour analyser la teneur en fer, trois fioles jaugées de 100 ml sont préparées. Chacune est remplie de 50 ml d'eau brute. Ensuite, les réactifs suivants sont introduits dans un ordre précis :

- ❖ 1 ml de chlorhydrate d'hydroxylamine
- ❖ 2ml de solution d'acétate,
- ❖ 2ml de solution de 1,10-phénanthroline.

Une fois les ajouts effectués, les flacons sont placés à l'abri de la lumière pendant 15 minutes pour permettre à la couleur de se développer pleinement.

Enfin, l'absorbance est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre (**figure 27**) pour déterminer la concentration en fer. [69]



Figure 31: dosage colorimétrique du fer par la 1,10-phénanthroline [69]

III.5.3.6. Taux d'aluminium :

Pour évaluer la concentration d'aluminium, on commence par la préparation d'une solution étalon composée de 5 ml de la solution mère diluée dans 20 ml d'eau distillée. Cette étape est cruciale pour la calibration. Parallèlement, on prépare un échantillon blanc en utilisant uniquement 25 ml d'eau distillée. Ensuite, on prélève 25 ml de l'échantillon à analyser, auquel on ajoute successivement:

- ❖ 2,5 ml de chlorure de calcium,
- ❖ 1 ml d'acide thioglycolique,
- ❖ 5 ml de tampon,
- ❖ 1 ml de solution colorante au rouge d'alizarine.

Remarque : Le respect de cet ordre assure la fiabilité de la mesure.

Une fois tous les réactifs ajoutés, les récipients sont hermétiquement fermés, puis vigoureusement agités. On laisse ensuite reposer la solution pendant une durée de 1 heure et 30 minutes.

Le jour suivant, l'intensité de la coloration développée et évaluée à l'aide d'un spectrophotomètre (**figure 27**) pour déterminer la teneur en aluminium. [69]



Figure 32: dosage de l'aluminium au rouge d'alizarine. [69]

III.5.3.7. Permanganate :

Dans un erlenmeyer de 250ml, on introduit :

Tableau 12 : Mode opératoire pour la détermination du permanganate [71]

L'erlenmeyer	Réactifs à introduire	Observations
Blanc	.25ml d'eau distillée .05ml de H_2SO_4 à 2mol/L . Bain marie pendant 10 min .05ml de KMnO_4 à 02mmol/L . Bain marie pendant 10 min .05ml de $\text{NO}_2\text{C}_2\text{O}_4$ à 5mmol/L .Titration avec KMnO_4 à 2mol/L	.Virage jusqu'au rose pâle
Le titre	. Sur le blanc on rajoute .05ml de $\text{NO}_2\text{C}_2\text{O}_4$ à 5 mmol/L . Réchauffer la solution à environ 80°C .Titration avec KMnO_4 à 2mol/L	.Virage jusqu'au rose pâle.Le titre ne doit pas dépasser 05ml

L'ermeneyer	Réactifs à introduire	Observations
L'échantillon	.25ml d'échantillon (eau brute et eau traitée) .05ml de H ₂ SO ₄ à 2mol/L . Bain marie pendant 10min .05ml de NO ₂ C ₂ O ₄ à 02mmol/L . Bain marie pendant 10 min .05ml de NO ₂ C ₂ O ₄ à 5mmol/L Titrations avec KMnO ₄ à 2 mol/L	.Virage jusqu'au rose pâle

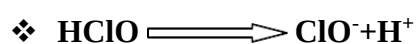
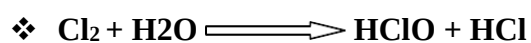
III.5.3.8. Test de chlore :

A/ Généralités sur la chloration :

Le principe de la chloration consiste à appliquer une dose de chlore suffisante pour oxyder toutes les matières organiques, éliminer certaines matières minérales (fer, manganèse...) et détruire les germes pathogènes (c'est la désinfection).

Les produits de désinfection utilisés au niveau de la station de traitement de Mexa sont : l'hypochlorite de sodium NaClO ou eau de javel et l'hypochlorite de calcium Ca (ClO⁻).

Dissous dans l'eau, l'hypochlorite de sodium, donne lieu aux réactions suivantes :



Le sens de déplacement de ces réactions dépend du pH :

- ❖ pH < 2, tout le chlore est sous forme moléculaire (Cl₂) ;
- ❖ pH=5, tout le chlore est sous forme d'acide hypochloreux (HClO) à effet bactéricide le plus fort ;
- ❖ pH=10, tout le chlore est sous forme d'hypochlorite (ClO⁻) ;

L'effet bactéricide du chlore est maximal lorsque le chlore est sous forme HClO et moins puissant avec ClO^- . Toutes les formes de chlore rencontrées dans une eau de consommation sont actives, on les appelle chlore actif et on a :

- ❖ Chlore actif libre : $\text{HClO} + \text{ClO}^-$;
- ❖ Chlore actif combiné : c'est l'ensemble des dérivés du chlore, ce sont les chlor-amines.
- ❖ Chlore actif total : c'est l'ensemble des deux précédents. Entre $\text{pH}=5-10$, il y a un mélange de $\text{HClO} + \text{ClO}^-$.

B/ Principe du test de chlore :

Pour l'évaluation du chlore on utilise un comparimètre ou comparateur à la DPD : il met en œuvre la DPD (ou N-Diéthyl-Paraphénylène Diamine) et l'iodure de potassium. (Photo n°20 et 21).

Souple d'emploi (sous forme de comprimés ou de capsules), il a l'avantage de permettre la détermination des trois formes de chlore : [71]

- ❖ DPD1 $\Rightarrow$ Chlore libre
- ❖ DPD2+DPD3 $\Rightarrow$ Chlore combiné
- ❖ DPD4 Chlore total [71]



Figure 33: comparateur de chlore
(photo Hendi Fathi2026)



Figure 34: DPD N°1 [71]

CHAPITRE IV

IV Résultats et discussions

IV.1 Résultat des analyses physico-chimiques

Tableau 13: les résultats obtenus après les analyses physico-chimiques.

Paramètres	Unité	Eau de dessalement	Eau de mer	Eau de barrage brute	Eau de barrage traité
pH	-	8,30	8,35	7,82	7,3
Conductivité	μS/cm	58,5	413	417	22
Turbidité	NTU	1	1	158	3
Température	°C	14	14	14	14
Fer résiduel	mg/L	0,062	0,008	0,200	0,002
TAC	mg/L	70	175	110	75
Aluminium résiduel	mg/L	0,05	0,17	0,05	0,05
Chlorures (Cl ⁻)	mg/L	0,10	-	-	0,30
Indice de permanganate	mg/L O ₂	0,40	12,64	4,40	2,16

IV.2 paramètres organoleptiques :

IV.2.1. la couleur :

La couleur de l'eau constitue un paramètre organoleptique important qui renseigne sur la présence de matières en suspension, de substances dissoutes ou de matières organiques.

- **Eau de mer brute :**

L'eau de mer présente généralement une couleur bleu-vert à légèrement verdâtre. Cette coloration est due à la présence de sels minéraux dissous, de micro-organismes, d'algues microscopiques et de matières organiques naturelles. La couleur peut varier selon les conditions environnementales et le degré de pollution.

- **Eau dessalée :**

Après le processus de dessalement, l'eau devient généralement incolore et limpide. L'élimination des sels, des matières organiques et des particules en suspension permet d'obtenir une eau de très bonne qualité visuelle, conforme aux exigences de l'eau potable.

- **Eau brute de barrage :**

L'eau brute de barrage présente souvent une couleur jaunâtre à brunâtre en raison de la présence de matières en suspension, de particules argileuses, de matières organiques issues de la décomposition de végétaux et de divers apports provenant du bassin versant. La forte turbidité mesurée (158 NTU) confirme cette coloration plus prononcée.

- **Eau de barrage traitée :**

Après les étapes de coagulation, floculation, décantation et filtration, la couleur diminue fortement. L'eau devient claire et pratiquement incolore grâce à l'élimination de la majorité des matières responsables de la coloration. La baisse importante de la turbidité à 3 NTU traduit cette amélioration visuelle.

Les résultats montrent que les traitements appliqués aux eaux de barrage et aux eaux de mer permettent une élimination efficace des substances responsables de la coloration. Ainsi, l'eau dessalée et l'eau de barrage traitée présentent une apparence claire et incolore, caractéristique essentielle d'une eau destinée à la consommation humaine, tandis que l'eau brute de barrage et l'eau de mer conservent une coloration naturelle liée à leur composition et à la présence de matières dissoutes ou en suspension. [38]

IV.3 Discussion des résultats physico-chimique

Le but de notre travail consiste à réaliser une étude comparative physico chimique sur la qualité d'eau entre l'eau de dessalement, l'eau de barrage et enfin de déterminer leurs potabilités en les comparants aux normes internationales.

IV.3.1. Potentiel Hydrogène (pH) :

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans même solution est une fonction linéaire de pH de celle-ci selon les lois de Nernst le potentiel de l'électrode est liée à l'activité des ions H^+ .

Les résultats obtenus (voir figure n) montrent que toutes les eaux analysées ont un pH basique.

Et conformes à la norme Algérienne qui fixe les normes acceptables par le pH entre 6,5 à 8,5.[39]

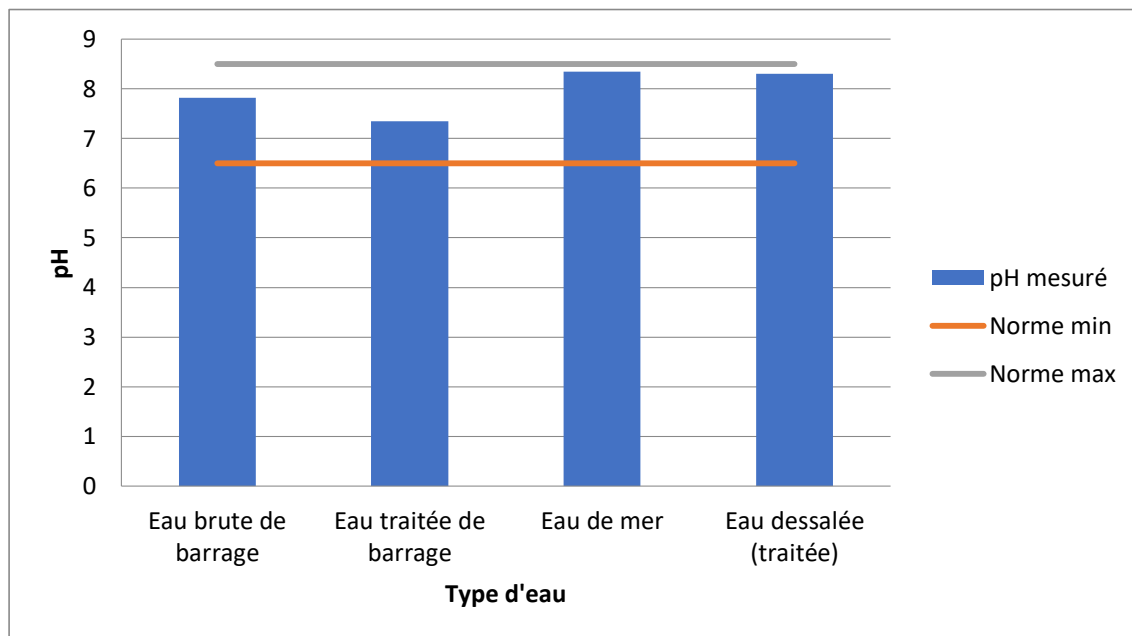


Figure 35: Résultat de pH pour les quatres type d'eau.

Le pH mesure la concentration des ions H^+ dans l'eau et a un grand impact sur les équilibres physico-chimiques. Une eau acide avec un pH bas est corrosive pour les canalisations, entraînant la libération de particules métalliques dangereuses pour la santé. Par contre, une eau trop basique peut être agressive pour les tissus. Les normes Algériennes de potabilité recommandent un pH entre 6,5 et 9.

Les valeurs du pH de notre échantillon (eau de dessalement de station drawach, eau de mer berrihane de Barrage mexa brute et eau de barrage mexa traite) représentées dans la figure * sont situées dans les limites requises pour les eaux de consommation selon les normes Algérienne et de l'OMS).

Cependant le pH de dessalement (8.30) et l'eau de mer (8.35) sont plus élevés que celle de l'eau de barrage brute (7.82) et l'eau de barrage traitée (7.35), ceci est liée au traitement par les produits chimiques ajoutés qui affecte la concentration des ions H^+ dans l'eau (élévation et élimination) mais reste quand même relativement stable est dans l'énorme.

IV.3.2. Température :

C'est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. L'unité utilisée dans le système international est le degré Celsius ($^{\circ}C$). Dans ce système. Le paramètre de la température très importante dans la potabilité de l'eau, Les résultats obtenus montrent que tous les eaux analysés ont une même température La norme algérienne indique la température est $\leq 25^{\circ}C$. [39]

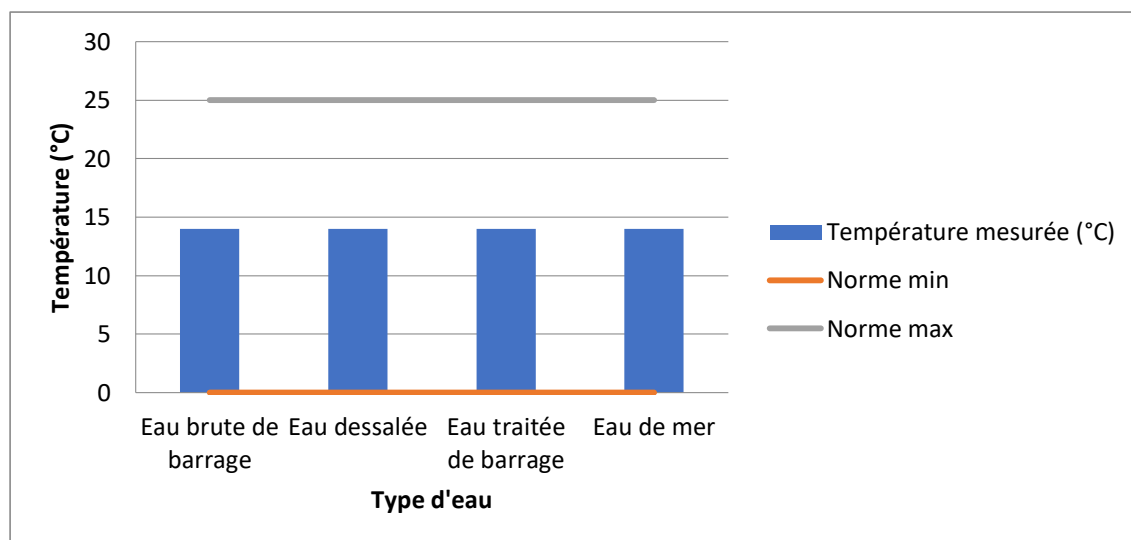


Figure 36: Résultat de température des quatre types d'eau.

La température de l'eau, joue un rôle non négligeable dans l'intensité de la sensation de l'eau. Elle est le facteur le plus apprécié pour une eau destinée à la consommation humaine déclarent (Gregorio et Pierre-Marie, 2007). La teneur moyenne de la température de nos échantillons (figure36) :

- L'eau de dessalement drawch: $T = 14^{\circ}C$.
- L'eau d'eau de mer : $T = 14^{\circ}C$.
- L'eau de barrage mexa brute : $T = 14^{\circ}C$
- L'eau de barrage mexa traitée : $T = 14^{\circ}C$

Les directives du conseil de communauté européen, la réglementation française ainsi que la réglementation algérienne fixent la température de l'eau potable à 25°C.

Ce qui nous permet de dire que notre eau est dans les normes exigées par les normes Algérienne et l'OMS, le résultat peut dépendre du cadre climatologique de la région de se leur de prélèvement et même T et prise après le transport des échantillons dans des glaciers vers le laboratoire.

Les températures des eaux analysés est presque constante 14 °C. Ces valeurs sont proches a celle recommandé pour les eaux potables a savoir une température de 25°C.

IV.3.3. Turbidité :

La turbidité est liée à la présence plus ou moins importante de matières en suspension d'origine minérale ou organique. La mesure de la turbidité permet de donner les informations visuelles sur l'eau. Elle traduit donc la présence des particules en suspension dans l'eau (débris d'organismes microscopiques). Selon la norme Algérienne qui fixe la turbidité a 5 NTU. [38]

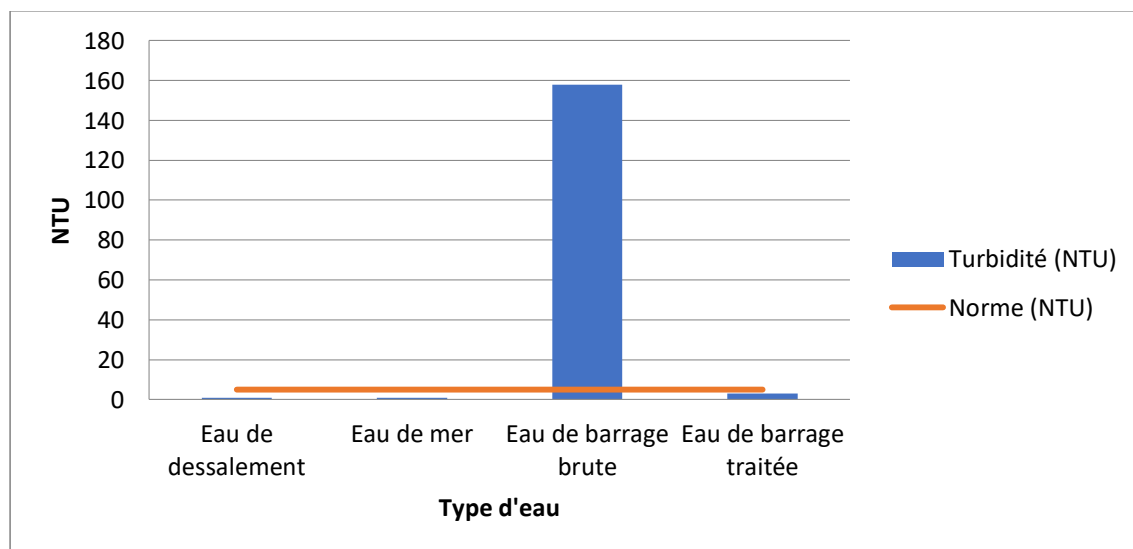


Figure 37: Résultat de turbidité des quatre types d'eau.

Les valeurs de turbidité de l'eau de mer brute sont souvent comprises entre **1 et 10 NTU**, mais peuvent dépasser **50 NTU** lors de tempêtes ou de fortes matières en suspension

Les valeurs enregistrées du turbidimètre varient entre 01 NTU à 158 NTU. L'eau de barrage brute a une turbidité élevée (158 NTU) par rapport à l'autre eau analysée.

Les résultats obtenus restent conformes à la norme algérienne qui fixe la norme acceptable pour la turbidité à 5 NTU.

IV.3.4. Conductivité

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations, La conductivité permet de déterminer la capacité de l'eau à conduire l'électricité. En effet, elle permet de juger la quantité de sels dissous dans l'eau. La valeur de la conductivité est aussi en relation avec la nature des couches géologiques de la nappe ou de la présence des minéraux indésirables. [39]

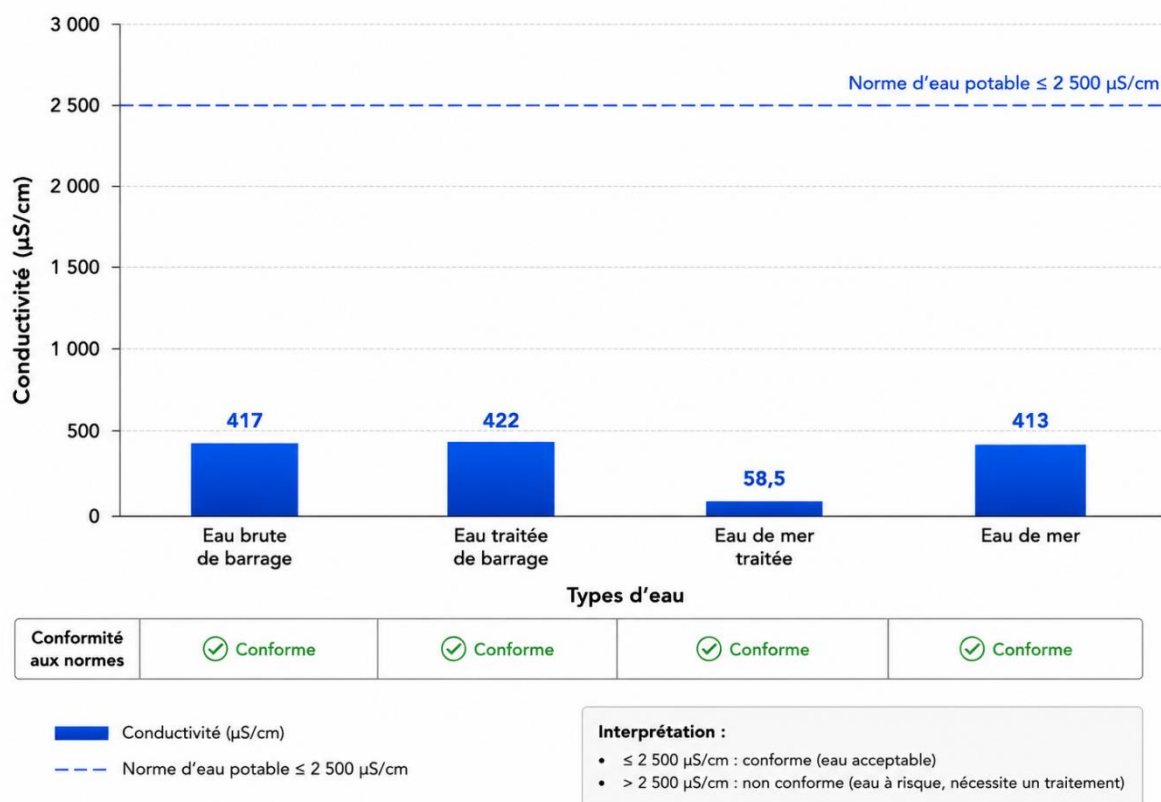


Figure 38: Résultat de conductivité des quatre type d'eau.

Les résultats se traduisent en microsiemens par centimètre (us/cm).

Les valeurs de notre échantillon représenté dans la figure 38 sont conformes à la norme Algérienne et même à celle de l'OMS.

En effet La valeur de conductivité électrique le plus élevée (422 us/cm) ce qui traduit la richesse de cette eau en sels dissous pour l'eau de barrage traitée, et la conductivité moins élevée (58.5 us/cm) ce qui traduit la pauvreté de cette eau en sels dissous pour l'eau de dessalement.

Ce ci montre que notre résultats conforme aux normes de potabilité inférieure à 1055us/cm

IV.3.5. Titre Alcalimétrique Complet :

Le **TAC** (Titre Alcalimétrique Complet) mesure la concentration en ions bicarbonates et carbonates dans l'eau. Il indique le **pouvoir tampon** de l'eau (sa capacité à stabiliser le pH face aux variations acides ou basiques) et s'exprime généralement en **degrés français (°f)** ou en **ppm** (1 °f = 10 mg/l). [40]

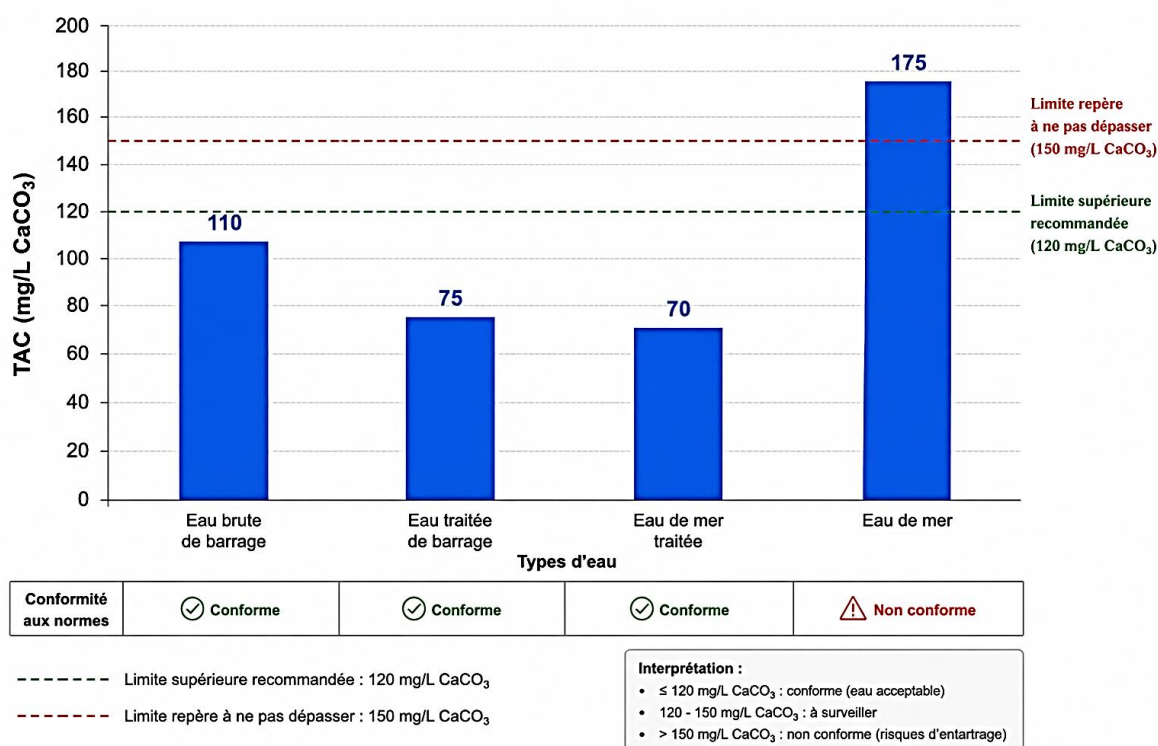


Figure 39: Résultat de TAC des quatre types d'eau.

L'alcalinité totale (TAC) représente la somme des hydroxydes (OH^-), des carbonates (CO_3^{2-}) et bicarbonates (HCO_3^-) dans les eaux naturelles.

Les eaux faiblement chargées en sels vont avoir conservé un potentiel de dissolution vis-à-vis des matériaux avec lesquels elles seront en contact (récipients, tuyaux...). A l'inverse, les eaux riches en sels et surtout en sels alcalinoterreux auront la possibilité de laisser déposer les moins solubles de ceux-ci, elles auront tendance à produire des dépôts donnant lieu à la formation de cristaux à l'interface solide-liquide.

On parle alors des phénomènes d'agressivité et d'entartrage. Ces derniers dépendent principalement de quatre facteurs : anhydride carbonique libre (CO_2), alcalinité, température et pH. La teneur en CO_2 influence le pH :

- **Si : le CO_2 libre > CO_2 équilibrant L'eau est agressive (pH acide)**
- **Si : le CO_2 libre = CO_2 équilibrant Eau en équilibre (pH neutre)**
- **Si : le CO_2 libre < CO_2 équilibrant Eau incrustante (saturée en sels dissous) pH de saturation [40].**

Les valeurs de TAC pour les quatre prélèvements varient entre 70 mg/l pour l'eau de dessalement et 175 mg/l pour l'eau de mer.

Ce qui montre que l'eau de mer atteint une TAC élevée par rapport aux autres eaux analysés.

Les résultats obtenus répondent à la norme indiquée par la réglementation algérienne et celle de L'OMS

IV.3.6. Fer résiduel

Le fer dans l'eau n'est généralement pas dangereux pour la santé aux concentrations courantes, mais il altère le goût, donne une couleur orange ou rougeâtre, et laisse des taches sur les vêtements et la plomberie. Selon l'OMS, la limite recommandée est de 0,3 mg/l pour éviter ces désagréments.

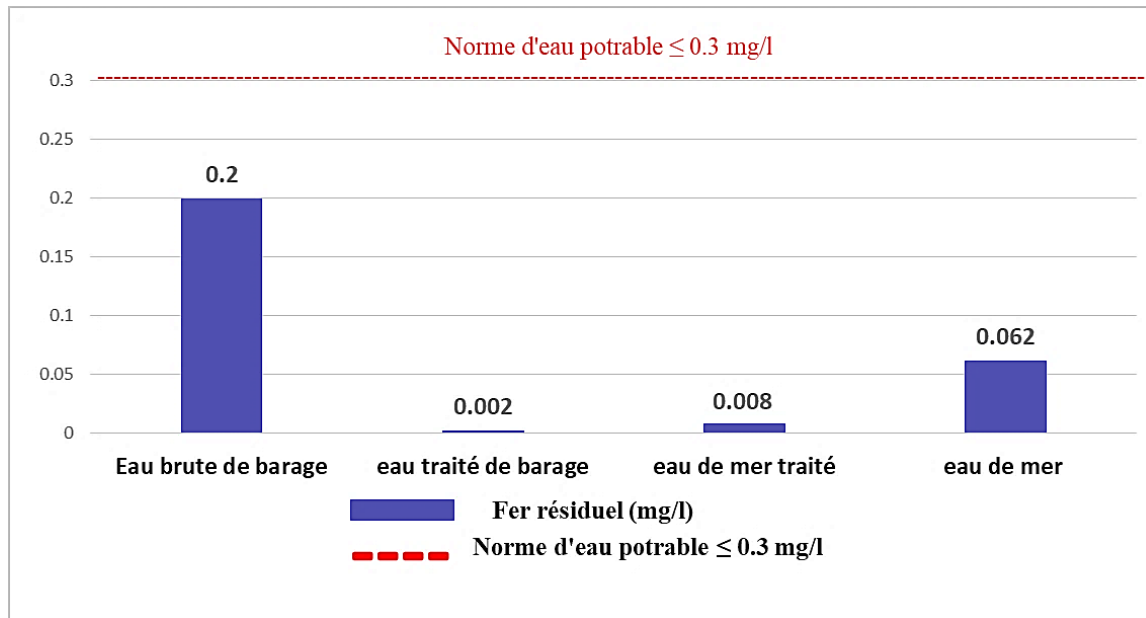


Figure 40: Résultat de fer des quatre types d'eau.

La concentration en fer est la plus élevée dans l'eau brute de barrage (0,20 mg/l). L'eau brute de mer présente une teneur intermédiaire (0,062 mg/l), tandis que l'eau traitée de barrage contient une très faible concentration (0,002 mg/l). Cette diminution importante après traitement montre l'efficacité des procédés de traitement pour l'élimination du fer.

IV.3.7. Aluminium

L'aluminium est le métal le plus abondant dans la croûte terrestre. Dans l'eau, il provient de l'érosion naturelle des roches et des activités industrielles, mais il est également **ajouté intentionnellement dans les stations de potabilisation** sous forme de sels (comme le sulfate d'aluminium) pour clarifier l'eau et éliminer les impuretés.

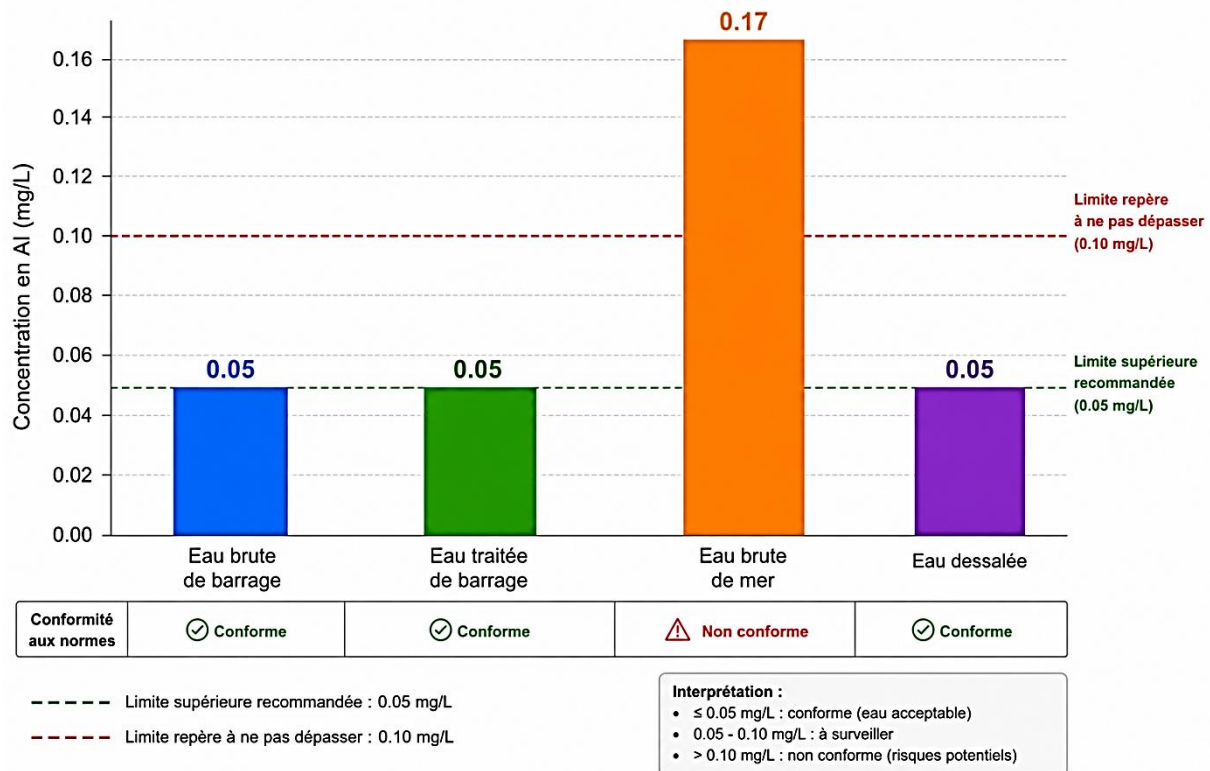


Figure 41: Résultat d'aluminium pour les quatre types d'eau

Les concentrations en aluminium mesurées dans l'eau brute de barrage, l'eau traitée de barrage et l'eau dessalée sont identiques (**0,05 mg/l**). Cette valeur relativement faible indique une faible présence d'aluminium dans ces eaux.

L'eau brute de mer présente la concentration la plus élevée (**0,17 mg/l**), ce qui peut être lié à la présence naturelle de particules minérales contenant de l'aluminium ou à des apports provenant de l'environnement marin.

Dans l'ensemble, toutes les valeurs mesurées restent inférieures à la valeur guide de **0,2 mg/l** recommandée pour l'eau destinée à la consommation humaine. Les eaux étudiées sont donc conformes aux normes relatives au fer, et l'eau traitée de barrage présente la meilleure qualité vis-à-vis de ce paramètre.

IV.3.8. Test de chlore

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations variables, leur présence en quantité excessive dans l'eau la rend corrosive pour les réseaux de distributions et nocive pour les êtres. Les ions chlorures sont toujours présents dans toutes les eaux à des concentrations

différentes et sous forme des sels : chlorure de sodium (NaCl), chlorure de potassium (KCl) ou chlorure de calcium (CaCl_2). Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives, La concentration des chlorures dans l'eau dépend aussi du terrain [31].

D'après les normes Algériennes, pour les chlorures (500 mg/l) les valeurs de ce paramètre pour l'eau analysée ne dépassent pas cette norme avec (figure 41) :

- L'eau de dessalement : $\text{Cl}^- = 0.1 \text{ mg/l}$
- L'eau de mer $= 0.17$
- L'eau de barrage traite : 0.3 mg/l

Ce résultat peut être expliqué par la nature des terrains traversés par cette eau telle que les formations argilo- sableuses ou argileuses, ce qui facilite la dissolution des terrains salifères. Donc elle est d'une qualité acceptable concernant le chlorure.

La présence du chlorure dans ces eaux, en raison de la structure géologique des couches de la terre, à travers lesquelles cette eau se déplace à travers des couches rocheuses et argileuses riche en ion de chlorure.

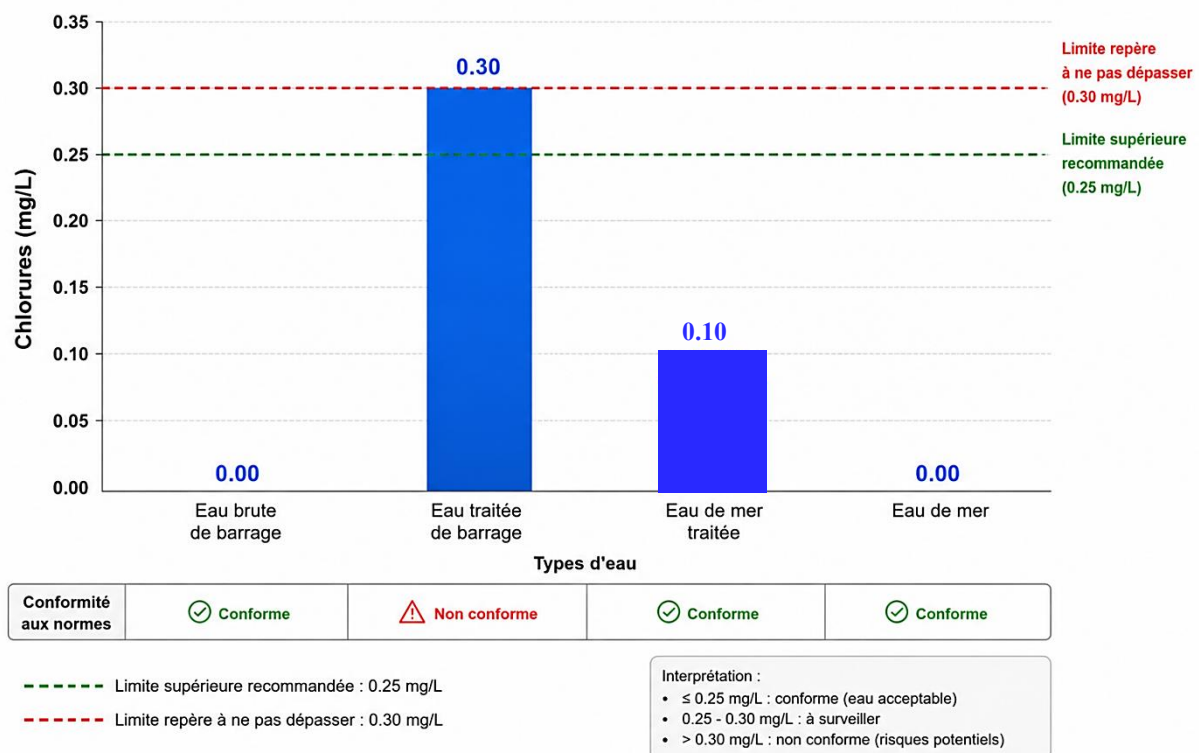


Figure 42: Résultat du test de Chlore résiduel pour les quatre type d'eau.

La teneur moyenne des eaux étudiées en chlorures est comprise entre 0.3 mg/l pour l'eau traitée de barrage et de 0.1 mg/l pour l'eau de mer traitée.

IV.3.9. Indice de permanganate

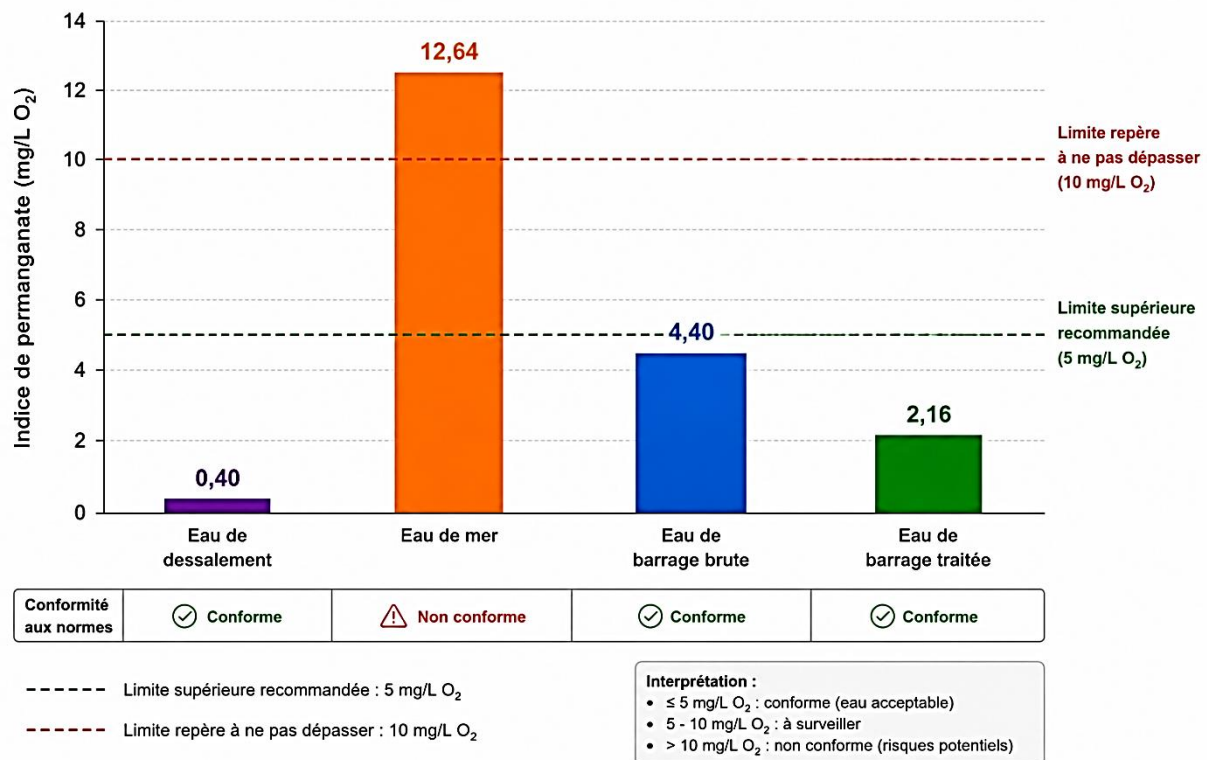


Figure 43: résultat de permanganate pour les quatre type d'eau

L'indice de permanganate est un indicateur de la quantité de matières organiques oxydables présentes dans l'eau. Plus sa valeur est élevée, plus la charge organique est importante. [41]

- L'eau brute de mer présente la valeur la plus élevée (12,64 mg/L O₂), indiquant une forte teneur en matières organiques et substances oxydables.
- L'eau brute de barrage montre une valeur intermédiaire (4,4 mg/L O₂), traduisant la présence de matières organiques d'origine naturelle.
- Après traitement, l'eau traitée de barrage atteint 2,16 mg/L O₂, ce qui montre une réduction significative de la charge organique grâce aux procédés de traitement.
- L'eau dessalée présente la valeur la plus faible (0,4 mg/L O₂), ce qui témoigne d'une excellente qualité vis-à-vis des matières organiques et de l'efficacité du procédé de dessalement.

Ces résultats montrent que les traitements appliqués améliorent nettement la qualité de l'eau en diminuant les substances organiques oxydables et inorganiques.

Interprétation générale

L'analyse des paramètres physico-chimiques des différentes eaux étudiées met en évidence l'efficacité des traitements appliqués aussi bien au dessalement de l'eau de mer qu'à la potabilisation de l'eau de barrage.

Les valeurs du pH demeurent comprises entre 7,35 et 8,01, indiquant un caractère légèrement alcalin compatible avec les normes de potabilité. La conductivité diminue considérablement après traitement, passant de 413 $\mu\text{S/cm}$ pour l'eau de mer à 58,5 $\mu\text{S/cm}$ pour l'eau dessalée, et de 417 $\mu\text{S/cm}$ pour l'eau brute de barrage à 22 $\mu\text{S/cm}$ pour l'eau traitée, traduisant une réduction importante de la charge ionique et des sels dissous.

La turbidité de l'eau brute de barrage, très élevée (158 NTU), est réduite à 3 NTU après traitement, ce qui témoigne d'une excellente élimination des matières en suspension. De même, la concentration en fer diminue de 0,20 mg/L dans l'eau brute de barrage à 0,002 mg/L dans l'eau traitée, confirmant l'efficacité du traitement dans l'élimination des métaux. Les teneurs en aluminium résiduel restent faibles (0,05 mg/L) et conformes aux valeurs recommandées.

Concernant le titre alcalimétrique complet (TAC), les valeurs observées montrent une minéralisation plus faible pour l'eau dessalée (70 mg/L) que pour l'eau de mer (175 mg/L) et l'eau brute de barrage (110 mg/L), ce qui reflète l'élimination d'une grande partie des sels minéraux lors du dessalement. Les concentrations en chlorures demeurent également faibles dans les eaux traitées.

En conclusion, les résultats obtenus démontrent que les procédés de dessalement et de traitement des eaux de barrage permettent d'obtenir une eau de bonne qualité physico-chimique répondant aux exigences de la consommation humaine. Toutefois, l'eau dessalée se caractérise par une minéralisation plus faible, tandis que l'eau traitée de barrage conserve une composition minérale légèrement plus équilibrée après traitement. Ces deux ressources constituent ainsi des solutions efficaces pour l'alimentation en eau potable. Néanmoins, une évaluation plus approfondie nécessiterait l'analyse d'autres paramètres physico-chimiques, chimiques et microbiologiques afin d'établir un diagnostic complet de la qualité de ces eaux et de confirmer leur conformité aux normes de potabilité.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Conclusion générale

L'eau est une ressource naturelle essentielle qui fait l'objet d'un contrôle rigoureux afin de préserver la santé publique. La problématique de la qualité de l'eau occupe une place importante dans les programmes de gestion des ressources hydriques, notamment pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation. Une dégradation de la qualité de l'eau, qu'elle soit d'origine naturelle ou anthropique, peut constituer un risque pour les populations et les écosystèmes qui en dépendent pour satisfaire leurs besoins.

La présente étude a pour objectif de réaliser une comparaison de la qualité physico-chimique de deux ressources en eau destinées à la consommation humaine dans la région d'El Tarf : l'eau dessalée produite à Draouche et l'eau de barrage provenant du barrage de Mexa.

Les différentes analyses physico-chimiques disponibles réalisées sur les échantillons prélevés ont permis d'évaluer la qualité de ces eaux. Les résultats obtenus montrent que les paramètres étudiés respectent les limites fixées par la réglementation algérienne en vigueur. Les caractéristiques physico-chimiques mesurées se situent dans les intervalles recommandés, ce qui témoigne d'une qualité satisfaisante et d'une conformité aux normes de potabilité.

Les résultats obtenus montrent que les procédés de traitement appliqués aux eaux de barrage et aux eaux de mer améliorent considérablement leur qualité physico-chimique. L'eau dessalée présente globalement les meilleures caractéristiques, notamment en termes de minéralisation, de charge organique et de teneur en métaux résiduels. L'eau de barrage traitée présente également une qualité satisfaisante grâce à la réduction significative de la turbidité, du fer et de la matière organique. Toutefois, pour une évaluation complète de la potabilité et de la qualité sanitaire de ces eaux, il est recommandé de compléter cette étude par des analyses microbiologiques et par la détermination d'autres paramètres chimiques tels que les nitrates, les sulfates, les fluorures et les métaux lourds.

Par ailleurs, le stage pratique effectué au sein de la station de traitement des eaux du barrage de Mexa nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques et expérimentales dans le domaine du contrôle de la qualité des eaux. Cette expérience a également favorisé notre intégration dans le milieu professionnel et nous a permis de mieux comprendre les différentes étapes du traitement et du suivi analytique des eaux destinées à la consommation humaine.

Conclusion générale

- [1]O. Belhouari et H. Belhadji, « Etude et comparaison de l'eau de dessalement (SONACTER) avec les eaux potables de la ville de Mostaganem », 2021, Consulté le: 13 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://e-biblio.univ-mosta.dz/handle/123456789/20432>
- [2]H. Cherrati et O. Mehidi, « Etude comparative entre différentes eaux (une eau minéral, une eau de puit une eau de barrage et une eau dessalement) », 2022, Consulté le: 29 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://e-biblio.univ-mosta.dz/handle/123456789/23999>
- [3]BERRACHICHE Mohamed, « EXTENSION DE LA STATION DE DESSALEMENT D'EAU DE MER DE BENI-HAOUA WILAYA DE CHLEF PAR L'OSMOSE INVERSE ». JUIN 2024.
- [4]Ben Belkacem, Mazigh/Mr BELAID Med ACHOUR, « CONTRIBUTION A L'ETUDE DE REGENERATION DES MEMBRANES ET DES FILTRES A LAINE D'UNE STATION DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER . » Décembre 2013.
- [5]T. Sarah, « ETUDE DES PERFORMANCES DE LA STATION DE DESSALEMENT DES EAUX DE MER PAR OSMOSE INVERSE DE FOUKA WILAYA DE TIPAZA », sept. 2015.
- [6]A. Ouiles, « Analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de source de la région Iferrhounene », Université Mouloud Mammeri, 2021. Consulté le: 28 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.ummto.dz/handle/ummto/19576>
- [7]E. Y. Ramdane et M. Tiguercha, « Étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de source « Alma, Tamazirt Ourabah » de la commune de Mizrana, wilaya de Tizi-Ouzou. », Université Mouloud Mammeri, 2015. Consulté le: 28 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.ummto.dz/handle/ummto/4707>
- [8]CHIBANE Katia & DJENNAD Lynda, « Caractérisation physico-chimique et dosage de quelques métaux lourds de certaines sources d'eau de la région de M'Chedallah wilaya de Bouira ». 07 2019.
- [9]ع. ا. عربوي, « Etude du système d'alimentation en eau potable des localités d'Ouanougha et Bouider à partir de la SR4 (Système de Dessalement de l'Eau de Mer de Cap Djanet) Commune d'Issers (W. Boumerdes).. », nov. 2021.
- [10] BOURAHILA Fares Et DJELLID Rabeh, « Réalisation d'un appareil de distillation pour le dessalement d'eau de mer ». 2022 2021.
- [11] M. Arbaoui, « EXTENSION DE LA STATION DE DESSALEMENT D'EAU DE MER DE BOUSMAIL POUR LE RENFORCEMENT DE L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE LA VILLE DE BOUSMAIL W.TIPASA », nov. 2021.

Conclusion générale

[12] K. Saidi, R. Koudri, et D. Aroune, « L'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de quelques marques d'eaux minérales naturelles embouteillées commercialisées en Algérie », Faculté des sciences: Boumerdes, 2023. Consulté le: 29 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.univ-boumerdes.dz/handle/123456789/15622>

[13] « Eau | Définition, formule chimique, structure, molécule et faits | Britannica ».

Consulté le: 29 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur:

<https://www.britannica.com/science/water>

[14] A. Djihene et C. Fadia, « ANALYSE COMPARATIVE ENTRE L'EAU DE DÈSSALEMENT, L'EAU DE SOURCE et L'EAU MINERALE », University of Tlemcen, 2024. Consulté le: 29 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.univ-tlemcen.dz/handle/112/22320>

[15] S. Widjdane et Z. Abir, « Thème : La Qualité Physico-chimique de l'eau Potable de la région de Guelma. ».

[16] « Aurélian-Laurent Bellou-Bousselaire sur Instagram: "Le cycle de l'eau est un mouvement perpétuel qui permet à l'eau de se renouveler et de circuler entre la terre, les océans et l'atmosphère. Le Cycle de l'Eau : Le Voyage de la Vie Le cycle de l'eau est un circuit fermé : la quantité d'eau sur Terre reste toujours la même, elle change simplement d'état (liquide, gaz, solide) et de lieu. 1. L'Évaporation et la Transpiration (La montée vers le ciel) Tout commence avec la chaleur du Soleil. • L'Évaporation : Le soleil chauffe l'eau des océans, des mers et des lacs. L'eau liquide se transforme en vapeur d'eau (un gaz invisible) qui s'élève dans les airs. • La Transpiration : Les plantes et les arbres rejettent aussi de la vapeur d'eau dans l'atmosphère par leurs feuilles. On appelle cela l'évapotranspiration. 2. La Condensation (La formation des nuages) En montant, la vapeur d'eau rencontre de l'air plus froid. Elle se refroidit et se transforme en minuscules gouttelettes d'eau ou en cristaux de glace. C'est ce qui forme les nuages. 3. Le Transport Les nuages ne restent pas sur place ! Ils sont déplacés par les vents sur de longues distances, voyageant souvent des océans vers les continents. 4. Les Précipitations (Le retour au sol) Lorsque les gouttelettes d'eau dans le nuage deviennent trop lourdes ou trop nombreuses, elles tombent. • Si l'air est doux, c'est de la pluie. • Si l'air est très froid, c'est de la neige ou de la grêle. 5. Le Ruissellement et l'Infiltration (Le parcours terrestre) Une fois au sol, l'eau suit deux chemins principaux : • Le Ruissellement : L'eau s'écoule à la surface du sol, forme des ruisseaux, puis des rivières et des fleuves qui se jettent à nouveau dans les océans. • L'Infiltration : Une partie de l'eau pénètre dans la terre à travers les roches et le sable. Elle vient nourrir les plantes ou remplir

Conclusion générale

les nappes phréatiques (réserves d'eau souterraines). 6. Le Retour à l'Océan Toute l'eau finit par retourner vers les océans, et le cycle recommence indéfiniment grâce à l'énergie solaire.

#météo” », Instagram. Consulté le: 29 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur:

<https://www.instagram.com/bpicsou/p/DXWxt42CDKP/>

[17] Z. Meryem, Wissem, Sedari, « Etude des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage Beni Haroune- Mila ».

[18] L. Aymen, « Etude du système de distribution à partir du barrage de SIDI MHAMED BEN TAIBA Et de la qualité physico-chimique des eaux de barrage (SMBT) », *wilaya ain defla*, mars 2021, Consulté le: 3 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur:

<http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/5513>

[19] Z. Bidi et C. Djidja, « Analyse de quelques paramètres physico-chimiques d'une source d'eau au niveau de la commune de Mizrana (Tizi-Ouzou) », Université Mouloud Mammeri, 2020. Consulté le: 30 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur:

<https://dspace.ummto.dz/handle/ummto/13962>

[20] S. Kernoug et F. Slamani, « Etude comparative de la qualité physico-chimique et de la qualité bactériologique de l'eau potable obtenue par deux procédés de traitement des eaux de surface : le cas de la station de Taksebt et la station d'Imsohal », Université Mouloud Mammeri, 2022. Consulté le: 30 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur:

<https://dspace.ummto.dz/handle/ummto/19841>

[21] L. Dehia et H. Hayet, « Etude de procédés et suivi du processus de dessalement des eaux de mer : cas station Fouka marine », juill. 2023, Consulté le: 30 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.enssmal.edu.dz/handle/123456789/2084>

[22] D. Mezerdi, « Analyses Physicochimique des ressources en eau de surface Réception d'effluents d'eaux usées courants à BISKRA Etude comparative entre oued Biskra et Zemor », *biologie*, juin 2020, Consulté le: 30 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur:

<http://archives.univ-biskra.dz:80/handle/123456789/16583>

[23] B. Imane Abdelghani, HANANE, « ETUDE DU PROCEDE DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER ET DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU DESSALEE DE LA STATION DE CAP DJINET DE LA WILAYA DE BOUMERDES », *مذكرة تخرج*, Juin 2015.

[24] B. Ikram Aya, « Analyse physicochimique et microbiologique de quelques marques d'eaux embouteillées (Baniane, Bouglez, El-kantara, Manbaa al-ghezlane et Guedila) », mars 2019.

Conclusion générale

- [25] N. el H. Beggar et H. (Promoteur) Baloul, « Suivi de l'eau brute et traitée (SEAL Boudouaou) et mélange (Taksebt ,Keddara) », Université M'Hamed Bougara Boumerdes: Faculté de Technologie, 2024. Consulté le: 30 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.univ-boumerdes.dz/handle/123456789/15065>
- [26] Z. Benaissa, A. Bouzelifa, D. Boumendjel, et R. Dirahli, « Qualité des eaux de mer après dessalement au niveau de la station de dessalement de la ville de Skikda (Désaladora) - impact de dessalement sur l'environnement (milieu aquatique) », Faculté des Sciences, 2025. Consulté le: 30 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://dspace.univ-skikda.dz:4000/handle/123456789/5432>
- [27] « PDF ».
- [28] M. Becharef et B. S. Bennoura, « Etude de la qualité de l'eau dessalée et traitée par la station Chatt EL Hillal (Ain Temouchent) », 2019, Consulté le: 30 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://dspace.univ-temouchent.edu.dz/handle/123456789/1682>
- [29] F. Orelie et U. de L. > M. spéc sc & gest env dans pays Dév, « Étude de la qualité de l'eau destinée a la consommation humaine dans le sous-bassin versant de Ravine Diable (Anse-a-Veau) », sept. 2017, Consulté le: 30 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/3245>
- [30] A. Zohra et L. Amina, « Etude comparative entre l'eau de dessalement et quelques eaux potable au sein de l'ADE Mostaganem », 2023, Consulté le: 30 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://e-biblio.univ-mosta.dz/handle/123456789/23854>
- [31] B. M. Seghira, Soumia, « L'analyse physicochimique et microbiologique et microbiologique de l'eau de source dans différents régions de Bordj Bou Arreridj ». Consulté le: 30 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.univ-bba.dz/items/867a60c4-bfba-4dd2-a194-5a44ccff4110>
- [32] N. Abdenmour et T. Ait Namane, « Etude comparative de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux mises en distribution de la ville de Tizi-Ouzou (Barrage de Taksebt et forages de Boukhalfa) », Université Mouloud Mammeri, 2015. Consulté le: 30 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.ummto.dz/handle/ummto/9467>
- [33] T. Houmel, « Contribution à l'étude des paramètres physicochimiques et bactériologiques sur deux périodes d'échantillonnage de deux sources d'eau au niveau de deux communes « Tizi Rached et Ait Toudert » Wilaya de Tizi-Ouzou », Université Mouloud Mammeri, 2017. Consulté le: 31 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.ummto.dz/handle/ummto/3673>

Conclusion générale

- [34] H. Zekrini et N. Bouakil, « Contribution à l'analyse physico-chimique et bactériologique de la source d'eau Ait Ergane sur deux périodes d'échantillonnage au niveau de la commune des Ouadhias, wilaya de Tizi-Ouzou », Université Mouloud Mammeri, 2024. Consulté le: 1 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.ummto.dz/handle/ummto/25031>
- [35] « Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de source de Sebain –Wilaya de Tiaret ». Consulté le: 31 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.univ-tiaret.dz/items/e7959044-485a-40d0-b44f-a3067c432154>
- [36] F. Z. Merine, « Etude de la qualité physico-chimique des eaux alimentant la ville de Mascara à partir du barrage de Bouhanifia (w.Mascara) », Thesis, 2024. Consulté le: 31 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/982>
- [37] O. Bouhoreira, « Etude de la possibilité d'amélioration de la performance du prétraitement du station de dessalement d'El-Oued », Thesis, UNIVERSITÉ KASDI MERBAH – OUARGLA, 2025. Consulté le: 1 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/38953>
- [38] « Contribution à l'analyse physico-chimique et bactériologique des eaux de forages de la wilaya de Tizi-Ouzou ». Consulté le: 1 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: https://dspace.ummto.dz/items/48d4710f-0bf3-475a-aaa9-89f21d158c73?utm_source=chatgpt.com
- [39] A. Menad, « Caractérisation physico-chimique de l'eau du barrage de Bougara, wilaya de Tissemsilt », 2021. Consulté le: 1 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://dspace.univ-tissemsilt.dz/bitstream/handle/123456789/2431/MM577-049.pdf?sequence=1>
- [40] « Caractérisation physico-chimique et microbiologique de l'eau de source de « Ain Essebaine » (willaya de TIARET) ». Consulté le: 1 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.univ-tiaret.dz/items/d2e0f636-ff48-4c94-a8f8-68fed3105afd>
- [41] S. Akriche et M. Benfadel, « Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de source de Tousnina (Lejdar) –Tiaret. », université ibn khaldoun-tiaret, 2017. Consulté le: 1 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://dspace.univ-tiaret.dz:80/handle/123456789/3697>
- [42] C. Ait Younes et L. Akarkar, « Suivi du procédé de dessalement de l'eau de mer à la station Palm Beach de Staouali et évaluation de sa qualité physico-chimique et bactériologique », Université Mouloud Mammeri, 2022. Consulté le: 2 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.ummto.dz/handle/ummto/21188>

Conclusion générale

- [43] M. Cherrati, « Contribution à l'évaluation de la qualité bactériologique des eaux destinée à la consommation humaine de la région de Theniet El Had », 2025, Consulté le: 2 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://dspace.univ-tissemsilt.dz/handle/123456789/3437>
- [44] L. Arab et N. Oudafal, « Evaluation de la qualité Physico-chimique et bactériologique des eaux brutes et traitées du barrage de Taksebt de la ville de Tizi-Ouzou », PhD Thesis, Université Mouloud Mammeri, 2015. Consulté le: 2 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.ummto.dz/bitstreams/e1f5bd95-016a-49b6-afde-837ffcbabaff/download>
- [45] G. Sarra et R. Yousra, « Analyse en amont et en aval de l'eau de la station de traitement du barrage HAMMAM DEBAGH-GUELMA », université de guelma, Working Paper, 2021. Consulté le: 2 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/handle/123456789/11719>
- [46] C. Amrani, « Etude de la qualité de l'eau du barrage Taksebt (Tizi-Ouzou) », Université Mouloud Mammeri, 2017. Consulté le: 3 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.ummto.dz/handle/ummto/2948>
- [47] Z. Kerrichi et R. Medakene, « Etude de la qualité physicochimique et microbiologique de l'eau potable des stations de déminéralisation de la ville de Ouargla », Thesis, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2021. Consulté le: 3 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/28915>
- [48] Y. Bara, « Etude comparative de la qualité physicochimique et bactériologique de l'eau du barrage de Hammam Debagh avant et après traitement Cas de la station de traitement de Hammam Debagh-Guelma », 2016, Consulté le: 3 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://lbee.univ-guelma.dz/sites/lbee.univ-guelma.dz/files/Bara%20yassamine.pdf>
- [49] « Caractérisations physico chimiques et bactériologiques de l'eau traitée du barrage Bakhadda (Tiaret) ». Consulté le: 3 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.univ-tiaret.dz/items/7c60cd67-005c-4c21-8505-76dcd8f4e4ab>
- [50] CHENTOUT, GHODBANE-Chérif , Riyadh, « Développement d'une interface homme machine pour la commande et supervision d'une station de pompage ».
- [51] L. Rania et A. Fatima, « Evaluation de la qualité physico- chimique de l'eau traitée du barrage de Ain Zada, Wilaya Bordj Bou Arréridj », 2022, Consulté le: 3 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://10.10.1.6:4000/handle/123456789/2822>
- [52] B. Asma, « Analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de barrage d'Ain Zada », faculté des sciences et de la technologie* univ bba, 2023. Consulté le: 3 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://10.10.1.6:4000/handle/123456789/4934>

Conclusion générale

- [53] N. Ouaddar et M. Ben Akil, « Evaluation de la qualité des eaux du barrage de Taksebt avant et après traitement », PhD Thesis, Université Mouloud Mammeri, 2022. Consulté le: 3 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.ummtto.dz/items/da63ede4-d91d-44a9-854a-9626321daaa8>
- [54] D. A. L. L. AU, « ETUDE DES POSSIBILITES TECHNOLOGIQUES DE DESSALEMENT A L'ECHELLE LOCAL AU BENEFICE DES PETITES COMMUNAUTES OU FAMILIALES MALGACHES ».
- [55] M. Missaoui, A. Bendaoud, et D. Nehari, « Dessalement de l'eau de Mer par osmose inverse », PhD Thesis, 2024.
- [56] AMOURA-Chaima, « Dessalement de l'eau de Mer par osmose inverse.AMOURA-Chaima ».
- [57] KERIOUDJ Nada ,MESSAOUDENE Khouloud, « Efficacité du dessalement de l'eau de mer par osmose inverse ». Consulté le: 5 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.univ-bba.dz/items/9aab8c1e-13e4-40e4-9b3f-dfe651c3a8b7>
- [58] « Qu'est-ce que le prétraitement de l'eau ? | JC France Industrie ». Consulté le: 6 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.jcfranceindustrie.fr/qu-est-ce-que-le-pretraitement-de-l-eau/>
- [59] Abderrazak ATALLAH, « Procédé De Dessalement Et Qualité Physico-chimique De L'eau Dessalée Par La Station De Dessalement De L'eau De Mer De Honaine ». Année universitaire -2014 2013.
- [60] Machid Dahbia ,Doudi Mohamed Walid, « Dessalement de l'eau de mer - univ.Abdelhamid In Badis ».
- [61] Melle ABDELLAOUI HORIYA, « Etude comparative de la qualité de l'eau de mer dessalée par distillation et osmose inverse « cas de la station de Honaine » ». Juin 2015.
- [62] I. Ramdani, « Etude sur la station de dessalement d'eau de mer (Honaine) », University of Tlemcen, 2024. Consulté le: 6 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.univ-tlemcen.dz/handle/112/23006>
- [63] Melle KELLAL Safia Ferdous, « Nouvelles techniques de dessalement des eaux de mer, cas d'études :Dessalement des eaux de mer dans la Wilaya de Mostaganem ». 9 octobre 2023.
- [64] H. Mansouri, « Etude de la performance de la station de dessalement de l'eau de mer de Mostaganem », sept. 2025, Consulté le: 7 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://e-biblio.univ-mosta.dz/handle/123456789/29519>

Conclusion générale

- [65] H. Bouabdallah et M. E.-A. Behilil, « ETUDE DU PROCEDE ET DE LA CONDUCTIVITE DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER DE LA STATION DE MOSTAGANEM », juill. 2021, Consulté le: 10 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://e-biblio.univ-mosta.dz/handle/123456789/20064>
- [66] A. Boumoussa et A. Abadelia, « Etudes de procédé de dessalement de l'eau de mer par la station de dessalement de Ténès -Wilaya de Chlef », 2022, Consulté le: 7 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://e-biblio.univ-mosta.dz/handle/123456789/20897>
- [67] B. Fatima Zohra, « Etude sur le procédé d'osmoseinverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres », 10 2013.
- [68] R. Abbassa, « Etude comparative saisonnière des propriétés physico-chimiques et organoleptiques de l'eau au niveau de la station de dessalement de Sonacter-Mostaganem », juin 2025, Consulté le: 7 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://e-biblio.univ-mosta.dz/handle/123456789/28956>
- [69] D. Anfel et M. Oussam, « Caractérisation physico-chimique et évaluation de la Contamination organique des eaux de barrage Mexa au niveau de la wilaya d'El TArF. », 2025, Consulté le: 7 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://depotucbet.univ-eltarf.dz:4000/handle/123456789/725>
- [70] F. Zakaria et T. Salmi, « Caractérisation physico-chimique et évaluation de la contamination organique des eaux de du barrage Mexa au niveau de la wilaya d'El TArF. », 2024, Consulté le: 7 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://depotucbet.univ-eltarf.dz:4000/handle/123456789/1570>
- [71] A. Khouloud et O. Hasnette, « Contribution à l'étude de l'efficacité du traitement des eaux potables par la méthode physico-chimique au niveau de la station du barrage Mexa wilaya d' El Tarf », 2022, Consulté le: 8 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <http://depotucbet.univ-eltarf.dz:4000/handle/123456789/2076>