

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES



FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

Mémoire

De fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master II

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

Intitulé du thème :

**Etude de la qualité et impacts du dessalement d'eau de mer sur les
écosystèmes cas de la station de Honaine Wilaya de Tlemcen**

Présenter par : M^{lle} Mehtougui sohir

Mémoire soutenu devant l'honorable jury composé de :

Président de jury : Dr Ayache Abbassia. (UDL-SBA)

Examineur : Dr Ouhib Rachide. (UDL-SBA)

Promoteur : Dr MEHTOUGUI Mohamed Samir. (UDL-SBA)

Année universitaire 2019 – 2020

Dédicace :

*Avec l'aide et la protection de DIEU s'est faite la
réalisation de ce modeste travail.*

*J'adresse mes remerciements par un grand respect et
gratitude*

*A mes très chers parents, qui sont la lumière de ma vie,
qui ont tant souffré*

*Et sacrifiés pour que je sois heureuse, pour leurs conseils,
leur affection et*

Leurs encouragements.

A mon très cher frère que dieu le protège.

Toutes la famille Berrouane et Mehtougui.

*A mes chers amis chacune par son nom ; ainsi qu'à tous
ceux qui me*

*Connaissent ; qui ma aidé et qui sont toujours présent à
mes côtés, avec qui*

J'ai partagé le bon et le mauvais,

A tous ma promotion

Tous simplement, a tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Remercîment :

*Je tiens tout d'abord à remercier ALLAH le Tout
Puissant,*

C'est grâce à lui

Ce travail a été réalisé.

*J'adresse un très grand merci à mon encadreur Dr
Mehtougui Samir, pour avoir accepté d'encadrer ce
travail et qui m'a beaucoup aidé, soutenu, guidé,
conseillé et orienté dans mon travail, qu'il sache que
j'ai eu plaisir à travailler avec lui, et que je lui en
suis très reconnaissante.*

*Et je remercie Dr Ouhil et Dr Ayache qui me font
l'honneur de juger ce travail.*

*Je remercie mes enseignants et toute l'équipe de
formation de Master 2 hydrogéologie.*

*J'exprime ma gratitude à tous mes enseignants qui
ont contribué à ma formation*

*Depuis l'école primaire jusqu'aux études
universitaires.*

*Mes vives gratitudes et remerciements vont aussi à
Mr Nasri Mourad et tout l'ensemble du personnel
à la direction de l'environnement de Sidi Bel Abbès.*

*L'ensemble du personnel à l'Algérienne Des Eaux
de Sidi Bel Abbès.*

*Et mes remerciements s'adressent aussi à :
L'ensemble du personnel de la station de
dessalement de l'eau de mer de Honaine.*

الملخص :

من أجل تقييم جودة المياه الناتجة عن تقنية الضغط الاسموزي العكسي وتأثير تصريف المياه المالحة على البيئة في وحدة تحلية مياه البحر في هونين ، والتي تلعب دورًا مهمًا جدًا كمصدر مياه الشرب الرئيسية لولاية تلمسان .بطاقة 200 ألف م 3 / يوم

في هذا السياق، أخذنا عينات وتحليلات في المحطة خلال أشهر فبراير ومارس وأبريل في ضوء النتائج التي تم الحصول عليها، فإن معدل جميع العناصر المعدنية أعلى مقارنة بمعدلات العينة الضابطة (ماء البحر)، والملوحة أعلى، ربما بسبب الاحتفاظ بالأملاح المختلفة بواسطة أغشية الضغط الاسموزي العكسي. تظهر تحليلاتنا أن المياه ذات نوعية بكتريولوجية جيدة الذي يترجم غياب الجراثيم من ناحية ، تتوافق هذه النتيجة مع معايير مياه الشرب المخصصة للاستهلاك البشري.

الكلمات المفتاحية: المياه ، التحلية ، محطة هونين ، الضغط الاسموزي العكسي ، محلول ملحي ، البيئة ، التأثيرات.

Résumé :

Dans le but d'évaluer la qualité des eaux produites par osmose inverse et l'impact des rejets d'eau saumâtre sur l'environnement à l'unité de dessalement de l'eau de mer Honaine, qui joue un rôle très important comme source principale d'eau de consommation de la Wilaya de Tlemcen, avec une capacité de 200.000 m³/ jour.

Dans ce contexte, nous avons effectué des prélèvements et des analyses au niveau de la station pendant les mois de février, mars, avril.

A la lumière des résultats obtenus, Le taux de tous les éléments minéraux est plus élevé par rapport aux taux de l'échantillon témoins (l'eau de mer) la salinité est plus élevée, dû probablement à la rétention des différents sels par les membranes d'osmose inverse.

Nos analyses montrent que l'eau est de bonne qualité bactériologiques ce qui se traduit par une absence de germes test de contamination fécale. D'une part, ce résultat est conforme aux normes d'une eau potable destinée à la consommation humaine.

- **Mots clef :** Eau, dessalement, station de Honaine, osmose inverse, saumure, environnement, impacts.

Abstract:

In order to assess the physico-chemical quality of the water produced by reverse osmosis and the impact of brackish water discharges on the environment at unit desalination sea water of Honaine, which play a very important role because it is the main source of water consumption of the Wilaya of Tlemcen, by a capacity of 200,000 m³ /day.

In this context, we took samples and analyzes at the station during the months of February, March, April.

In the light of the results obtained, the rate of all the mineral elements is higher compared to the rates of the control sample (sea water) the salinity is higher, probably due to the retention of the different salts by the membranes reverse osmosis.

Our analyzes show that the water is of good bacteriological quality, which results in an absence of germs which test fecal contamination. On the one hand, this result complies with the standards for drinking water intended for human consumption.

- **Keywords:** Water, desalination, Honaine station, reverse osmosis, brine, environment, impacts.

Chapitre I : généralité sur l'eau

Introduction générale	1
1 Qu'est-ce que l'eau ?	4
2 Cycle de l'eau	4
3 Ressources en eau :	5
3.1 L'eau dans le monde :	5
3.2 L'eau dans l'Afrique :	7
3.3 L'eau en Algérie :	8
4 Ecosystèmes :	9
4.1 Ecosystème aquatique :	9
4.1.1 Ecosystème aquatiques continentaux :	9
□ Eaux saumâtres :	9
□ Eaux douces :	10
4.1.2 Ecosystèmes marins :	10
5 Qualités de l'eau :	12
5.1 Qualité d'eau de mer :	12
5.2 Qualité d'eau potable :	13
6 Besoin en eau de boisson :	15

Chapitre II : Généralité sur le dessalement

1 Définition de dessalement :	17
2 Historique du dessalement :	17
3 Dessalement dans le monde :	19
4 Dessalement en méditerrané :	21
5 Dessalement en Algérie :	21
6 Organisation générale des usines de dessalement :	22
7 Méthodes de dessalement des eaux de mer :	23
7.1 Procédés thermiques :	23
7.1.1 Distillation :	23
7.1.1.1 Distillation à multiples effets (MED) :	23
7.1.1.2 Distillation à détente étagée (MSF) :	24
7.1.1.3 Distillation à compression de vapeur :	25

7.1.2	Congélation :.....	26
7.2	Procédés utilisant des membranes :.....	26
7.2.1	Osmose inverse :.....	26
7.2.2	Electrodialyse :	27

Chapitre III : zone d'étude

1	Présentation de la zone d'étude :	29
2	Caractéristique de l'eau de mer :	31
3	Processus du dessalement appliqué dans la station du dessalement de Honaine :	31
3.1	Captation de l'eau de mer :	32
3.2	Prétraitement :	33
3.2.1	Prétraitement chimique:.....	34
3.2.1.1	Dosage d'Hypochlorite de sodium :.....	34
3.2.1.2	Dosage du chlorure ferrique :.....	34
3.2.1.3	Dosage du métabisulfite de sodium :	35
3.2.1.4	Dosage du dispersant :	36
3.2.2	Prétraitement physique :.....	36
3.2.2.1	Ebauchage :	36
3.2.2.2	Filtration :.....	37
3.3	L'étape d'osmose inverse :.....	41
3.3.1	Châssis à membrane	42
3.3.2	Pompe à haute pression	43
3.3.3	Pompe de recirculation	43
3.3.4	Système d'échange de pression	43
3.3.5	Réservoir de l'eau dessalée.....	43
3.4	Post-traitement :	44

Chapitre IV : matériels et méthodes

1	Station de prélèvement étudiée :	46
2	Echantillonnage et mode de prélèvement :	46
3	Détermination des paramètres physico-chimiques :.....	47
3.1	Paramètres organoleptiques :	47

3.1.1	Evaluation de la couleur par le colorimètre :.....	47
3.1.2	Evaluation de l'odeur et de la saveur :	48
3.1.3	Mesure de la turbidité :.....	48
3.2	Paramètres physico-chimiques :.....	49
3.2.1	Température :.....	49
3.2.2	Mesure de PH :	49
3.2.3	Mesure de la conductivité :.....	50
3.2.4	Détermination de la dureté totale par titrimétrie à l'EDTA :	51
3.2.5	Salinité :.....	52
3.2.6	Sels Dissous Totaux(TDS) :	52
3.2.7	Oxygène dissous :.....	53
3.2.8	DOSAGE DE L'AMMONIUM :	53
3.2.9	DOSAGE DE NITRITE [NO ₂ -] :	54
3.2.10	DOSAGE DE SULFATE (SO ₄ -2) :.....	54
3.2.11	DOSSAGE DES CHLORURE par la méthode de Mohr :.....	54
3.2.12	Dosage simultané du calcium et du magnésium :	54
3.2.13	Titre alcalimétrique (T.A).....	55
3.2.14	Titre alcalimétrique complet (TAC).....	55
3.2.15	Matières en suspension :.....	55
4	Analyse microbiologique :	56
4.1	Dénombrement des germes totaux :.....	56
4.2	Recherche des coliformes totaux :	57
4.2.1	Test présomptif de la présence ou l'absence des coliformes :	58
4.2.2	Test confirmatif :	58
4.3	Recherche des Streptocoques fécaux :	60
4.4	Dénombrement des Clostridium sulfite réducteurs :	62

Chapitre V : résultats et discussion

1	Résultats et interprétations des analyses microbiologiques de l'eau traitée : 66
1.1	Interprétations des résultats microbiologiques :..... 66
2	Résultats des analyses organoleptiques et physico-chimiques de l'eau traitée:

2.1	Chlorures (mg/l) :	69
2.2	Sulfates (mg/l) :	69
2.3	Ammonium (mg/l) :	71
2.4	Matière organique (mg/l) :	72
2.5	Nitrates, Nitrite et Ortho Phosphate (mg/l) :	73
2.6	Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer:	74
3	Interprétation des résultats :	75
4	Recommandations :	77

Chapitre VI : impacts de la station de dessalement

1	Indicateurs de suivi de l'impact environnemental des rejets de station de dessalement :	80
1.1	Température :	80
1.2	Salinité :	80
1.3	pH :	80
1.4	Oxygène dissous :	80
1.5	Additifs antitartres :	81
1.6	Anti-salissures :	81
1.7	Anti-mousses :	81
2	Impacts des rejets saumures sur les ressources marines :	81
2.1	Facteurs des rejets :	81
2.2	Les effets des rejets :	82
3	Moyens pour réduire l'impact des rejets :	83
4	Impact sonore :	84
5	Le cout énergétique pour l'eau :	84
	Conclusion générale :	86
	Annexe :	89

Liste des figures

Figure 1: cycle de l'eau (anonyme1, n.d.)	4
Figure 2 : cycles hydrologiques sur terre (Boix, n.d.)	5
Figure 3 : source d'approvisionnement en eau (anonyme2, 2017)	7
Figure 4 : zonation dans les océans (Berg et al., 2015)	11
Figure 5 : l'usine de Djebel Ali, la plus grande du monde, des Emirats arabes unis (Janah et al., 2017)	22
Figure 6 : technique de désalinisation (Pajon-Perrault, n.d.).....	23
Figure 7 : distillateur à effets multiples (MED)(BIYOUNE, 2017).....	24
Figure 8 : distillateur à Multi Stage Flash (MSF)(BIYOUNE, 2017)	25
Figure 9 : procédé de dessalement par compression de vapeur (BIYOUNE, 2017)	25
Figure 10 : schéma du principe de fonctionnement de l'osmose inverse(BIYOUNE, 2017)	26
Figure 11 : schéma du principe de fonctionnement de l'électrodialyse (BIYOUNE, 2017)	27
Figure 12 : photo de la station de dessalement de Honaine.....	29
Figure 13 : schéma des étapes de traitement à la station de dessalement de Honaine (Benallouda, 2013).....	32
Figure 14 : photo du poste de pompage de l'eau de mer.....	33
Figure 15 : photo d'une citerne de stockage d'hypochlorite de sodium (Benallouda, 2013)	34
Figure 16 : photo de la citerne de stockage de chlorure ferrique.....	35
Figure 17 : photo des citernes de stockage du métabisulfite de sodium.....	35
Figure 18 : schéma de l'étape de filtration	38
Figure 19 : photo des filtres à sables et anthracite	40
Figure 20 : photo d'un filtre à cartouche	40
Figure 21 : photo du bloc d'osmose inverse.....	42
Figure 22 : la membrane spirale de l'osmose inverse(Atallah, 2014).....	42
Figure 23 : photo du réservoir de l'eau dessalée	43
Figure 24 : photo des réservoirs de co2(Atallah, 2014).....	44

Figure 25 : photo d'un turbidimètre	49
Figure 26 : photo d'un ph mètre	50
Figure 27 : photo d'un conductimètre	51
Figure 28 : photo d'un oxymètre	53
Figure 29 : photo d'un spectrophotomètre	54
Figure 30 : photo de la burette	55
Figure 31 : recherche et dénombrement des germes totaux.....	57
Figure 32 : recherche et dénombrement des coliformes dans l'eau	59
Figure 33 : recherche et dénombrement des streptocoques fécaux dans l'eau.....	62
Figure 34 : recherche et dénombrement des clostridium sulfito-réducteurs.....	64

Liste des tableaux

Tableau 1 : normes de potabilité définie par la WHO sur les sels (Mericq, 2009)	12
Tableau 2 : normes de l'OMS sur l'eau potable (anonyme3, n.d.)	14
Tableau 3 : principales caractéristiques de fonctionnement de la station de dessalement de Honaine(Benallouda, 2013)	30
Tableau 4 : caractéristique de l'eau de mer Honaine (conditions de base du site)	31
Tableau 5 : résultats des analyses microbiologiques	66
Tableau 6 : résultats des analyses organoleptiques.....	67
Tableau 7 : résultats des analyses physico-chimiques	68
Tableau 8 : echantillon de l'eau de mer.....	74

Abréviation:

WHO: World Health Organisation

OMS: organisation mondial de la santé

Ppm : partie par million

IDA : Association Infranational de Dessalement

OI : osmose inverse

MSF: distillation multi-flash

MED: distillation à multiples effets

AEC: Algerian Energy Company

ADE: l'algérienne des eaux

NTU: Nephelometric Turbidity Unit

EDTA: Acide Éthylène diamine tétraacétique

TDS : sels dissous totaux

NPP : le nombre le plus probable

UFC : unité formant colonie



Introduction générale

Le cycle de l'eau, c'est de la nature à la nature en passant par chez vous.

Cette ressource naturelle qui se renouvelle sans cesse est fragile. L'intervention des hommes est indispensable pour la préserver, la protéger avant, pendant et après son utilisation afin de rendre l'eau récupérée en quantité et en qualité dans le milieu naturel.

La demande en eau potable de bonne qualité est de plus en plus forte et les besoins en eau dans les secteurs industriels et agricoles sont de plus en plus élevés. En effet, les estimations les plus modérées prédisent un déficit de plusieurs millions m³/J dans les années à venir, ce qui se traduira dans certains pays par la baisse de la qualité de la vie et pour d'autre à la mise en danger de sa population.

En Algérie, la conjugaison de la croissance démographique, du développement des secteurs industriels et agricoles, a entraîné un accroissement spectaculaire des besoins en eau ; accroissement nettement plus important par rapport aux quantités mobilisées, au point où le déficit entre l'offre et la demande en eau risque de constituer, à long terme, un handicap insurmontable au développement et un impact négatif sur le plan socio-économique.

Devant les besoins croissants en eau douce, et l'impossibilité de se contenter des ressources naturelles, l'état algérien est appelé à étudier et à développer divers procédés permettant de l'obtenir à partir de l'eau de mers, des eaux saumâtres, et des eaux usées dans des conditions admissibles techniquement et économiquement.

Le dessalement de l'eau est considéré comme une technique aussi ancienne que la terre elle-même, en effet, Ce cycle naturel de l'eau, qui consiste à une évaporation à partir des océans et des mers suivie d'une condensation de la vapeur ainsi formée donnant de l'eau douce qui tombe sous forme de pluies et de chutes de neige, est considéré comme le plus grand système de dessalement sur terre. Par ailleurs, il semble que l'homme ait connu ce phénomène depuis fort longtemps.

Au-delà de la connaissance théorique du procédé chimique et du fonctionnement classique de la technique. L'objectif principal est d'étudier l'impact du rejet de la saumure sur l'environnement

Compte tenu des nombreuses difficultés que rencontrent la population dans l'accès à l'eau douce et leurs nombreuses contestations sur la qualité de l'eau du robinet issu de la station du dessalement. Notre travail consiste à apporter quelques éclaircissements, dans l'optique de confirmer ou d'infirmer les nombreuses spéculations des populations concernant la qualité de cette eau.

Au cours de la réalisation de ma mémoire intitulé :

« Etude de la qualité et impacts du dessalement d'eau de mer sur les écosystèmes cas de la station de Honaine wilaya de Tlemcen », j'essaye d'apporter le minimum requis pour satisfaire la curiosité de ceux qui s'intéressent à ce sujet.

Ce travail, consiste à réaliser après une première partie qui est une synthèse bibliographique, une deuxième partie consacrée à des analyses physicochimiques, bactériologiques et les résultats obtenus et leurs interprétations la dernière partie portera l'étude d'impacts de la station de dessalement sur l'environnement

Chapitre I : Généralité sur l'eau

1 Qu'est-ce que l'eau ?

« L'eau est un organe du monde » a écrit Gaston Bachelard dans « L'eau et les rêves » publié en 1942. Cette métaphore laisse entendre que l'eau est quasiment l'équivalent du sang. Elle irrigue, en effet, les continents par un réseau dont la morphologie peut évoquer celle du système circulatoire. Elle abreuve les êtres vivants et leur procure la nourriture, tout comme le sang apporte les éléments nutritifs. Elle charrie les limons et déchets, à l'égal du sang qui évacue les toxines. Son rythme est celui des pluies saisonnières comme les battements du cœur rythment les apports. Son fonctionnement peut être entravé par des barrages et conduire à une sorte d'embolie. Une surcharge d'éléments peut conduire à une thrombose et une asphyxie. L'eau est tellement prégnante que beaucoup d'aphorismes et citations y font référence. L'eau semble un produit banal. .. Jusqu'à ce que l'on en manque : << on ne connaît la valeur de l'eau que lorsque le puits est sec. » (Wever, 2015)

2 Cycle de l'eau

Le cycle de l'eau pris dans son ensemble regroupe deux branches bien distinctes, bien que couplées entre elles : le cycle de l'eau dans l'atmosphère d'une part, le cycle de l'eau dans le sol d'autre part. (Grosclaude, 1999)

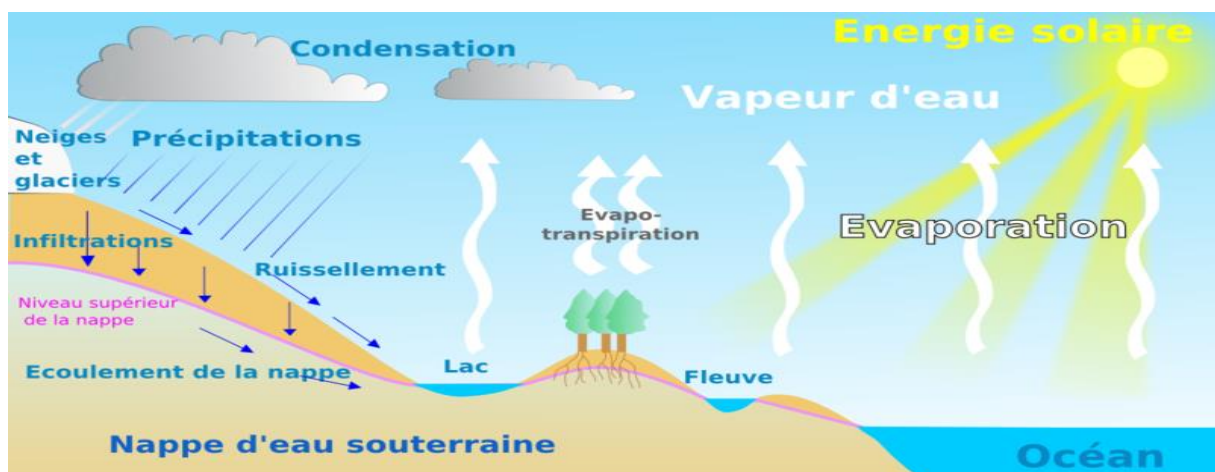
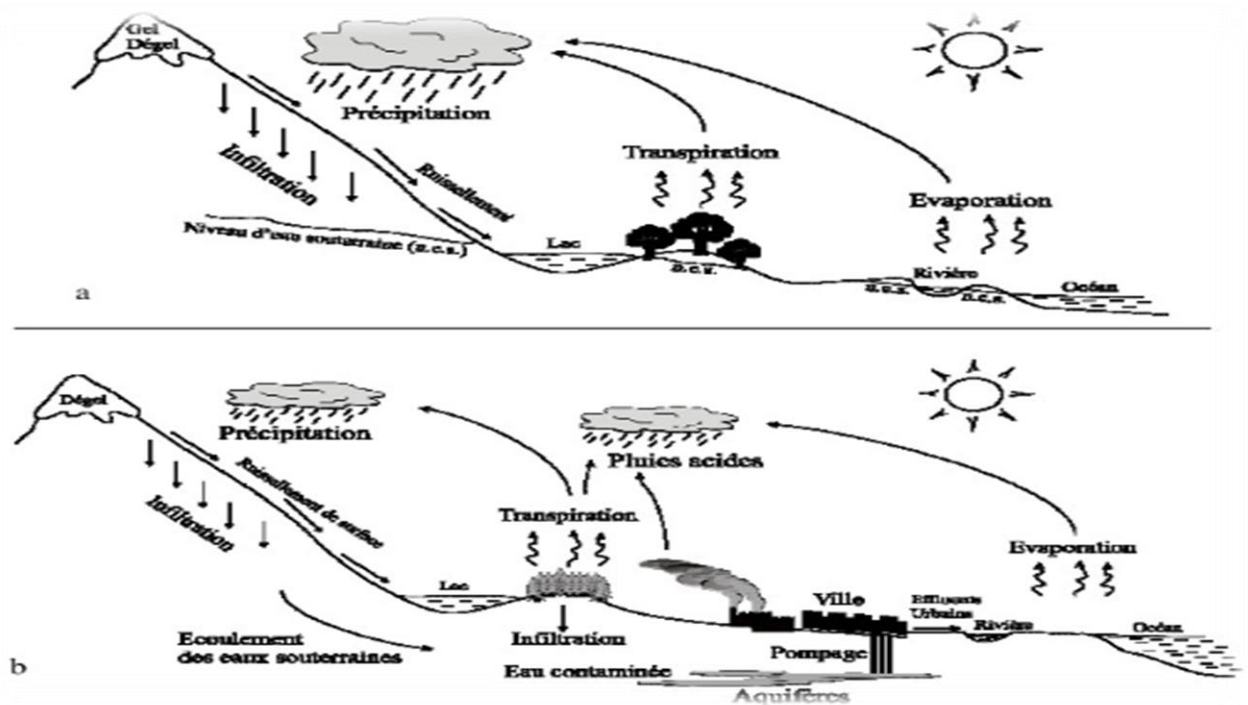


Figure 1: cycle de l'eau (anonyme1, n.d.)

3 Ressources en eau :

3.1 L'eau dans le monde :

La quantité d'eau douce dans le monde est finie et renouvelable mais sa distribution à la surface de la Terre n'est pas homogène et varie de façon considérable. Ces variations sont principalement contrôlées par des épisodes successifs de gel/dégel, d'évaporation/précipitation ainsi que par l'évapotranspiration forestière et le ruissellement. La majorité de l'eau présente sur Terre est de l'eau de mer, seuls 2.5 % du total sont constitués par l'eau douce. Les activités anthropiques sont devenues le premier facteur contrôlant les systèmes hydrologiques de notre planète. Ces pressions sont le plus souvent liées au développement humain ainsi qu'à la croissance économique ; de fait, le cycle hydrologique naturel s'en trouve modifié tel que l'illustre la figure :



D'après un rapport de l'UNESCO (2009), la quantité totale d'eau douce annuelle utilisée par l'Homme est estimée à environ 4000 km³ par an, tous usages confondus (domestiques, industriels, agricoles). A cette valeur s'ajoutent 6400 km³ d'eau de

pluie directement utilisés par l'agriculture. Bien sûr, la quantité d'eau consommée à travers le Monde est fortement dépendante de la démographie (et implicitement du niveau de vie de chacun). L'accroissement démographique actuel est estimé à 80 millions d'humains supplémentaires chaque année, conduisant logiquement à multiplier les interactions entre l'Homme et la nature dans le temps. Si la croissance démographique reste stable, nous devrions être plus de 8 milliards d'individus sur Terre d'ici l'an 2025. Cet accroissement de population induira donc une intensification des activités agricoles, industrielles et domestiques, et par conséquent, une augmentation générale de la consommation d'eau douce. Ainsi, les quantités d'eau consommées devraient augmenter de 64 km³ par an, compte tenu du développement actuel de la population.

Parallèlement à cette demande en forte croissance, la distribution des ressources en eau à la surface de la Terre n'est pas homogène et bien souvent, ce sont les régions qui sont les plus dépourvues en eau qui en sont les plus importantes consommatrices. Le volume total d'eau douce utilisable s'élève à environ 12500 km³ et si cette quantité était équitablement répartie, elle serait probablement suffisante pour satisfaire tous les besoins anthropiques. La figure I-2 montre que les cinq pays utilisant le plus d'eau (en volume) sont l'Inde, la Chine, les Etats-Unis, le Pakistan et le Japon. Neuf pays se partagent plus de 60% des ressources en eau douce. Par conséquent, des écarts considérables s'observent entre les différentes consommations allant de 646 km³ par an pour l'Inde à moins de 0.003 km³ par an en Tanzanie, par exemple. De plus, les modifications climatiques dues aux activités anthropiques s'accompagnent d'une dénaturation des réserves d'eau douce, d'une diminution du niveau des précipitations, ainsi que d'un accroissement de la superficie des zones désertiques, créant ainsi des besoins accrus en eau douce. (Boix, n.d.)

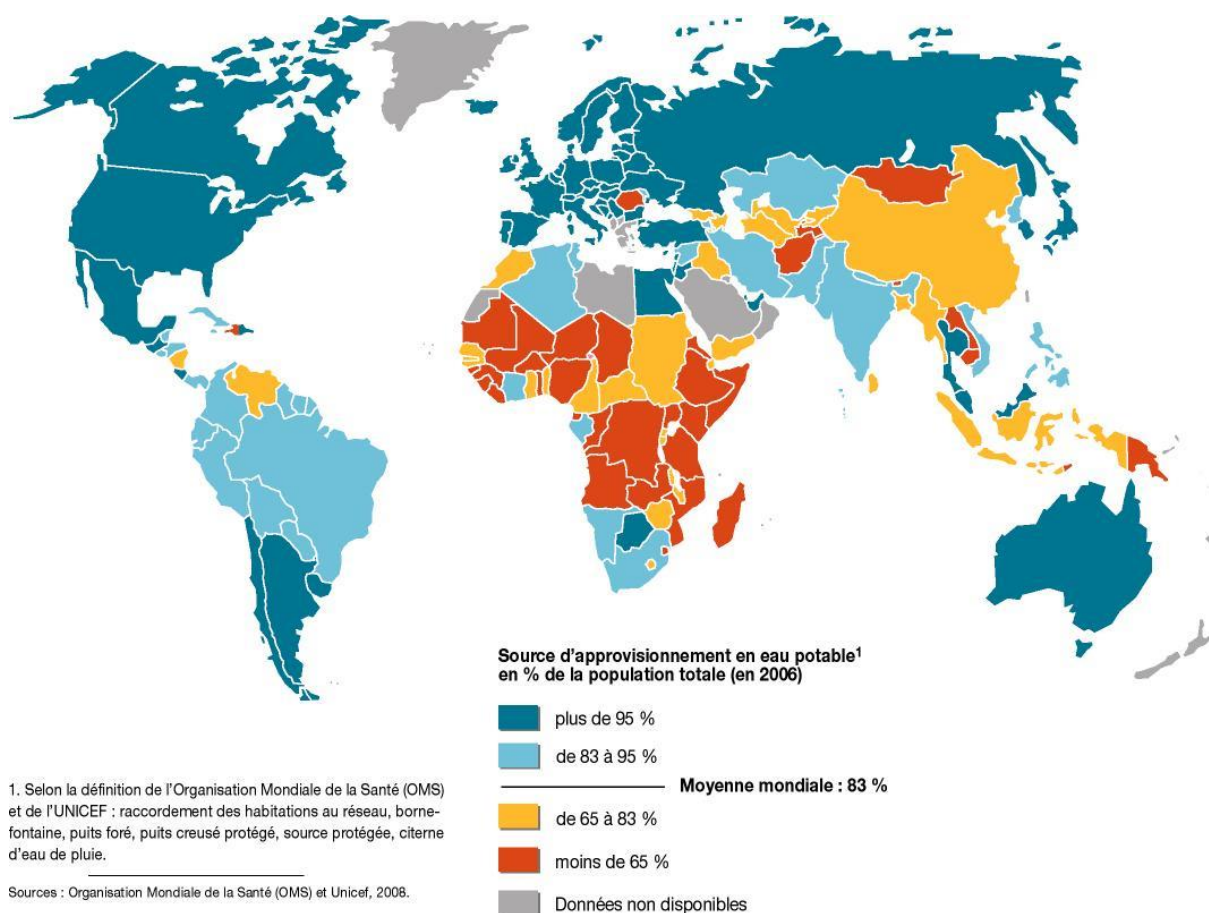


Figure 3 : source d'approvisionnement en eau (anonyme2, 2017)

3.2 L'eau dans l'Afrique :

L'Afrique n'est pas un immense désert privé d'eau. Il existe d'ailleurs, historiquement, entre l'Afrique et l'eau, un lien étroit : une grande partie des noms d'États africains est liée à l'eau, la libre circulation sur les fleuves a joué un grand rôle dans le partage entre puissances coloniales. En revanche, l'eau est, sur le continent africain, inégalement répartie : 14 pays sont menacés d'une grave pénurie ; 80 % des personnes privées d'un accès à une source d'eau potable vivent en Afrique ; un Africain sur deux est obligé de parcourir, chaque jour, dix kilomètres pour aller chercher l'eau dont il a besoin. Les experts occidentaux parlent de l'eau, pendant que les Africains la portent.

L'eau est une nécessité absolue pour la vie. À quoi servirait une route qui conduirait à un endroit privé d'eau ? On ne peut pas dissocier développement économique et accès à l'eau. Mais l'eau est aussi le premier facteur de mortalité à travers les maladies hydriques. On voit donc que les défis relatifs à l'eau sont nombreux en Afrique. On a, d'un côté, la nécessité d'apporter des solutions pérennes pour la desserte en eau et l'assainissement, notamment en périphérie des grandes villes et des villes moyennes,

avec, comme objectifs, l'amélioration de la qualité et la professionnalisation du secteur ; de l'autre, la nécessité de conduire des actions dans le domaine de la santé publique avec l'apprentissage des règles d'hygiène souvent ignorées des populations. Un seul chiffre : en Afrique, chaque jour, 3 000 enfants meurent à cause du manque d'eau potable. À cela s'ajoutent toutes les maladies provoquées par l'utilisation d'une eau insalubre: diarrhée, typhoïde, choléra, etc.(Jamati and Schoepfer, 2014)

3.3 L'eau en Algérie :

En Algérie, l'eau est une ressource fondamentalement préoccupante du fait de sa rareté et du développement économique et social désordonné. Cela entraîne une suite de problèmes de gestion au sens large : pertes, gaspillages, traitements aléatoires, dégradations et manque de protection de la ressource, qui s'ajoutent aux conditions naturelles défavorables. En effet, la complexité de la problématique de l'eau en Algérie et particulièrement celle du Nord du pays s'explique par :

- les caractéristiques naturelles et la répartition de population : Cette région représentant à peine 7 % de la surface du pays, soit 166 721 km², reçoit cependant 92 % des écoulements. La tranche pluviométrique la plus intéressante (supérieure à 700 mm/an) n'y concerne que 30.103 km² et seulement 7 % des bassins versants nécessitant un traitement contre l'érosion ont été pris en charge en 1985. D'autre part, près de 60 % de la population du pays sont concentrés sur cette partie du territoire national.
- La connaissance précise de l'état des ressources hydriques qui reste à parfaire en raison de l'information fragmentaire au niveau des grandes structures publiques et la mauvaise coordination qui existe entre elles, ce qui nuit à la dynamique qu'impose l'enjeu.
- Le mauvais recyclage par manque de maîtrise des stations d'épuration (technicité et moyens financiers nécessaires) qui s'est traduit par l'arrêt provisoire de la quasi-totalité des stations existantes (145/150). Problèmes aux conséquences dramatiques particulièrement dans les grandes wilaya (préfectures) relativement industrialisées dont Oran où seule une station sur les 21 fonctionne, Alger où une seule est fonctionnelle et Constantine où 2 stations uniquement assurent un recyclage intermittent .(Boudjadja et al., 2003)

4 Ecosystèmes :

Le concept d'écosystème est souvent considéré comme le dogme central de l'écologie que l'on peut comparer à celui du code génétique en biologie moléculaire. Un écosystème est un système biologique formé par deux éléments indissociable, la biocénose et le biotope. La biocénose est l'ensemble des organismes qui vivent ensemble et le biotope est le fragment de la biosphère qui fournit à la biocénose le milieu abiotique indispensable.

Un écosystème est par définition un système c'est-à-dire un ensemble d'élément en interaction les uns avec les autres, formant un tout cohérent et ordonné. C'est un système hiérarchisé dans lequel les éléments constitutifs sont eux-mêmes des sous-systèmes structurés. La nature et l'étendue des écosystèmes sont variables.(Dajoz, 2019)

4.1 Ecosystème aquatique :

Il existe divers types d'écosystèmes aquatiques continentaux et marins. Bien que les océans occupent la majeure partie de la surface de la biosphère et jouent un rôle essentiel dans l'écologie globale, les écosystèmes constitués par les divers types de milieux aquatiques continentaux, malgré leur faible surface relative à l'échelle de la biosphère, présentent une importance majeure par suite de leur rôle dans l'écologie des bassins versants et dans la vie des populations humaines riveraines.

Les écosystèmes aquatiques se répartissent en deux groupes majeurs en fonction de leur salinité :

- Les écosystèmes marins, l'ensemble des mers et océans du monde étant parfois considéré comme un super macro-écosystème dénommé océan mondial.
- Les écosystèmes d'eaux douces ou saumâtres continentales. (Ramade, 2003)

4.1.1 Ecosystème aquatiques continentaux :

➤ Eaux saumâtres :

Les eaux douces, ont une teneur maximale en substances dissoutes de 0,5 g/l et l'eau de mer a une teneur en sel dissous comprise entre 35 et 42 g/l. les eaux saumâtres sont donc soit des eaux dites hypo-halines, dont la teneur en sels dissous est comprise entre 0,5 et 35 g/l. soit des eaux hyper-halines, dont la salinités est supérieure à 42 g/l, et peut atteindre 170 g/l.

Les eaux saumâtres peuvent être des lagunes littorales, c'est-à-dire des étangs en communication plus ou moins large avec la mer, et recevant à la fois de l'eau douce et de l'eau de mer.

Les eaux saumâtres sont caractérisées (mais pas toujours) par leur salinité souvent variable et par la variabilité des rapports entre les divers éléments présents. Les espèces animales et végétales qui supportent les eaux saumâtres sont rares. (Dajoz, 2019)

➤ **Eaux douces :**

Les écosystèmes d'eau douce comprennent : les ruisseaux, les fleuves et les rivières (eaux courantes ou milieux lotiques) ; les lacs et les étangs (eaux calmes ou milieux lenticques) ; et les zones humides d'eau douce (marécages et marais).

Des conditions abiotiques bien spécifiques et des organismes caractéristiques distinguent chaque écosystème d'eau douce. Bien que les écosystèmes d'eau douce occupent une partie relativement petite de la surface de la terre (environ 2 %). Ils jouent un rôle important dans le cycle de l'eau. En effet, ils sont constitués des eaux de précipitation non infiltrées dans le sol, c'est-à-dire les eaux de surface, qui rejoindront un jour l'océan. De gros volume d'eau douce modèrent les changements de températures journalières et saisonnières sur les milieux terrestres voisins. Les habitats d'eau douce abritent de nombreuses espèces. (Berg et al., 2015)

4.1.2 Ecosystèmes marins :

Bien que les lacs et les océans comparables à bien des égards, ils présentent beaucoup de différences physiques. Les lacs les plus profonds n'atteignent pas les profondeurs des abysses de l'océan, qui peuvent aller dans certains endroits jusqu'à plus de 6 km sous la surface exposés au soleil.

Les marées et les courants ont une grande influence sur l'océan. La gravitation du soleil et la lune produit habituellement deux marées hautes et deux marées basses chaque jour le long du littoral, mais la hauteur de ces marées change selon la saison, la topographie locale et les phases de la lune (la pleine lune provoque les marées les plus hautes).

L'immense environnement marin se subdivise en plusieurs zones de vie :

- Les zones intertidales : dans laquelle les organismes vivent le long du rivage, entre les limites des marées hautes et des marées basses ;
- L'environnement benthique : dans laquelle les organismes vivent sur les fonds marins ou s'y enfouissent ;

- L'environnement pélagique : qui est à son tour, divisé en deux domaines, selon la profondeur (le domaine néritique et le domaine océanique). Le domaine néritique est constitué d'eau profonde, proche du rivage, et le domaine océanique comprend la plus grande partie de l'océan. (Berg et al., 2015)

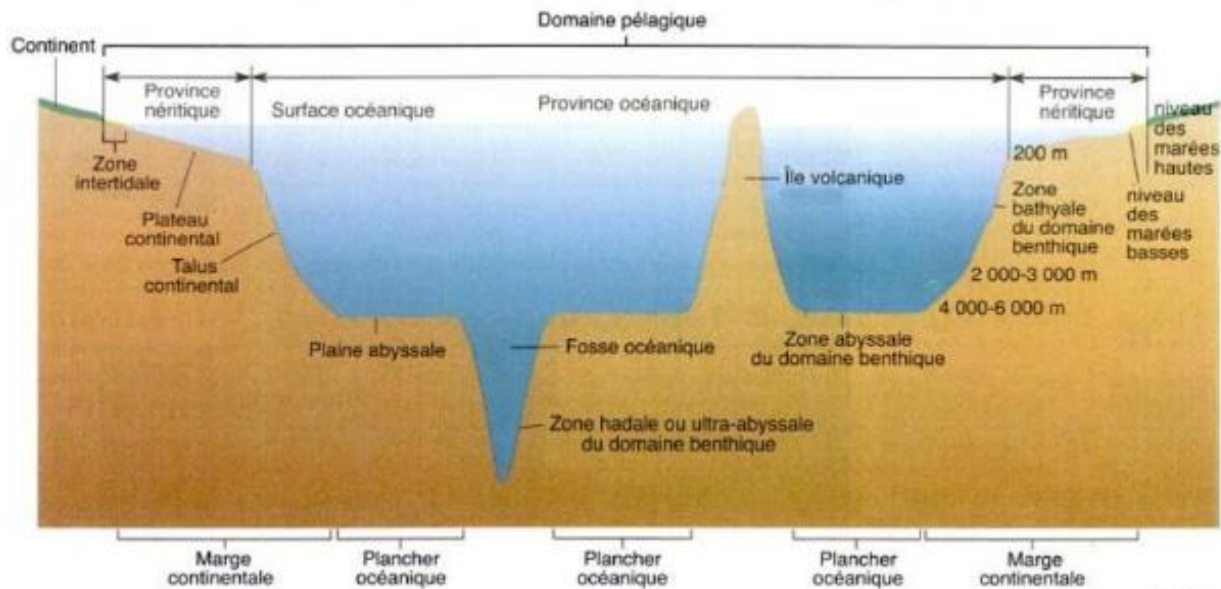


Figure 4 : zonation dans les océans (Berg et al., 2015)

On a décelé dans l'eau de mer au moins 53 éléments. Certains sont rares mais ils peuvent être concentrés par les êtres vivants : le strontium par les radiolaires acanthaires ; le brome et l'iode par les algues brunes et certains coraux ; le vanadium par les ascidies. La salinité moyenne de l'eau de mer est de 35 g/l. après évaporation le pourcentage des principaux sels est le suivant : chlorure de sodium : 77.8% ; chlorure de magnésium : 9.7% ; sulfate de magnésium : 5.7% ; sulfate de calcium : 3.7% ; chlorure de potassium : 1.7% ; carbonate de calcium : 0.3%. (Dajoz, 2019)

5 Qualités de l'eau :

5.1 Qualité d'eau de mer :

La présence de sels dans l'eau modifie fortement certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, coefficient d'activité) tandis que d'autres sont moins influencées (viscosité, absorption de la lumière). D'autres propriétés dépendent essentiellement de la quantité de sel dans l'eau (conductivité, pression osmotique).

La température de l'eau de mer peut varier de -1,9°C sous l'influence des courants polaires (point de congélation de l'eau de mer à une concentration de 35 g.L⁻¹ de sels) jusqu'à 35°C au niveau de la péninsule arabique. Les différentes propriétés de l'eau de mer dépendent de sa température, de sa salinité et de sa pression (liée à la profondeur). Elles peuvent être fortement variables d'un endroit à l'autre en raison des fortes variations de salinité, de température et de profondeur.

Les normes de potabilité sur le sel d'une eau diffèrent selon la législation des pays. Le Tableau ci-dessous présente les normes définies par la World Health Organisation (WHO) [World Health Organisation 2008] concernant la salinité totale et les différents sels présents dans l'eau. (Mericq, 2009)

Paramètres	Normes
Turbidité (NTU)	<1
Ph	8
TDS (mg/l)	1000
Conductivité (µs/cm)	/
Dureté totale (mg/l CaCO₃)	/
Calcium (mg/l)	/
Magnésium (mg/l)	/
Sodium (mg/l)	200
Chlore (mg/l)	250
Aluminium (mg/l)	0.2
Fer (mg/l)	0.3
Cuivre (mg/l)	1.0
Zinc (mg/l)	3.0
Manganèse (mg/l)	0.1
Chlorine résiduel (mg/l)	0.6-1.0
Sulfate (mg/l)	250
Bore (mg/l)	0.5

Tableau 1 : normes de potabilité définie par la WHO sur les sels (Mericq, 2009)

5.2 Qualité d'eau potable :

La qualité de l'eau de boisson est primordiale pour la santé humaine, surtout que les risques de pollutions existent à chaque étape du parcours de l'eau.

L'eau, vecteur privilégié de la vie et élément indispensable de l'activité humaine, est depuis quelques années, le produit alimentaire le plus surveillé et dont les normes de qualité ne cessent d'être développées.

La surveillance des qualités de l'eau comprend plusieurs étapes et l'on imagine difficilement la somme des compétences et de techniques nécessaires pour assurer les qualités saines de l'eau par : l'exploitation des sources d'eau, le traitement et la désinfection de l'eau afin d'éliminer les substances et les micro-organismes susceptible de présenter un risque pour la santé.

D'importants moyens sont également nécessaires pour son transport, par un réseau de distribution parfaitement étanches, jusqu'au robinet du consommateur. La technicité requise pour la production d'eau potable et le recyclage des eaux usées, évolue de jours en jours et l'industrie de l'eau dans les pays riches est en passe de devenir une véritable industrie de pointe.

Considérée souvent comme un symbole de pureté, l'eau de boisson est progressivement protégée par des normes de qualité de plus en plus sévères. Partout dans le monde, les entreprises de distribution d'eau, sont soumises à une sévérité grandissante des normes de qualité de l'eau de la part des consommateurs et par rapport aux progrès réalisés dans les domaines de la biotechnologie.

Il y a quelques décennies, il était entendu qu'une eau réservée à la consommation devait satisfaire à un certain nombre de qualités physiques, chimiques et biologique et ne devait pas contenir de substances chimiques nocives, ni de germes pathogènes pour l'homme.

Actuellement, la potabilité d'une eau est définie par plus de 60 paramètres (Directives de l'Union Européenne), qui sont fixés en fonction de données toxicologiques et épidémiologique récentes et dont les limites de concentration admissible dans l'eau se rapprochent de plus en plus des limites de détection.

Généralement, pour chaque paramètre, on recherche sa présence et l'on détermine sa quantité dans l'eau. La norme pour un paramètre dans l'eau est représentée par un chiffre, qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser et une limite inférieure à respecter, si un paramètre dépasse la concentration limite, il y a absence de conformité par rapport aux normes établies.(Mustapha, 2017)

Elément/substance	Symbole/formule	Concentration normalement trouvée dans les eaux de surfaces	Lignes directrices fixées par l'OMS
Aluminium	Al		0.2 mg/l
Ammonium	NH ⁴⁺	<0.2 mg/l	As de contrainte
Antimoine	Sb	<4 µg/l	0.02 mg/l
Arsenic	As		0.01 mg/l
Amiante			Pas de valeur
Baryum	Ba		0.7 mg/l
Béryllium	Be	<1 µg/l	Pas de valeur guide
Bore	B	<1 mg/l	0.5 mg/l
Cadmium	Cd	<1 µg/l	0.003 mg/l
Chlore	Cl		Pas de valeur
Chrome	Cr ³⁺ , Cr ⁶⁺	<2 µg/l	Chrome totale : 0.05 mg/l
Couleur			Pas de valeur guide
Cuivre	Cu ²⁺		2 mg/l
Cyanure	Cn ⁻		0.07 mg/l
Oxygène dissous	O ₂		Pas de valeur guide
fluorure	F ⁻	<1.5 mg/l(up to 10)	1.5 mg/l
Dureté totale	Mg/l CaCO ₃		200 ppm
Sulfated'hydrogène	H ₂ S		0.05 à 1 mg/l
Fer	Fe	0.5 à 50 mg/l	Pas de valeur guide
Plomb	Pb		0.01 mg/l
Manganèse	Mn		0.4 mg/l
Mercure	Hg	<0.5 µg/l	Inorganique : 0.006 mg/l
Molybdène	Mb	<0.01 mg/l	0.07 mg/l
Nickel	Nl	<0.02 mg/l	0.07 mg/l
Nitrate, nitrite	No ₃ , No ₂		50 et 3 mg/l(exposition à court terme)0.2 mg/l (à long terme)
Turbidité			Non mentionnée
Ph			6.5 – 9.5
Sélénium	Se	<<0.01 mg/l	0.01 mg/l
Argent	Ag	5-50 µg/l	Pas de valeur guide
Sodium	Na	<20 mg/l	Pas de valeur guide
Sulfate	So ₄		500mg/l
Etain inorganique	Sn		Pas de valeur guide
TDS			Pas de valeur guide
Uranium	U		0.015 mg/l
Zinc	Zn		3mg/l

Tableau 2 : normes de l'OMS sur l'eau potable (anonyme3, n.d.)

6 Besoin en eau de boisson :

Chez l'individu, les besoins corporels en eau sont plus impératifs que tout autre besoin, à part l'oxygène.

Généralement, un sujet adulte élimine, par les urines, la sueur, la perspiration cutanée et la respiration pulmonaire environ trois litres d'eau, par jour.

L'homme a donc besoin quotidiennement d'une quantité égale, dont la moitié est apportée par l'eau contenue dans les aliments solides, le reste, soit un litre et demi, est fourni journalièrement par les boissons.

- **Besoins domestiques :** les besoins domestiques en eau sont nécessaires pour l'hygiène personnelle, les lavages divers, l'arrosage des jardins et aussi l'hygiène publique. La quantité nécessaire par habitant augmente proportionnellement avec la densité de la population et avec la taille des localités.
- **Besoins agricoles :** les besoins agricoles sont très importants pour le développement de l'élevage et de l'agriculture et afin d'assurer une autosuffisance alimentaire.
- **Besoins industriels :** l'eau dans l'industrie contribue au fonctionnement des usines et au progrès technologique, mais les quantités d'eau nécessaires utilisées dans les complexes industriels deviennent énormes parfois et sont totalement polluées.
- **Autres types de besoins en eau :** l'eau est indispensable à toutes les activités humaines, mais aussi à l'entretien de l'environnement (les espaces verts) et pour les loisirs (natation, piscines, sport ...).(Mustapha, 2017)

Chapitre II : Généralité sur le dessalement

1 Définition de dessalement :

Le dessalement de l'eau (également appelé dessalage ou désalinisation) est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce (potable ou, plus rarement en raison du coût, utilisable pour l'irrigation) à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer notamment). En dépit du nom, il s'agit rarement de retirer les sels de l'eau, mais plutôt, à l'inverse, d'extraire de l'eau douce.

Très généralement, il est plus simple et plus économique de rechercher des sources d'eau douce à traiter (eaux de surface, telles que lac et rivière, ou eau souterraine), que de dessaler l'eau de mer. Cependant, dans de nombreuses régions du monde, les sources d'eau douces sont inexistantes ou deviennent insuffisantes au regard de la croissance démographique ou de la production industrielle.

D'autre part, il est souvent rentable de combiner la production d'eau douce avec une autre activité (notamment la production d'énergie, car la vapeur disponible à la sortie des turbines, et perdue dans une usine classique, est réutilisable dans une station de dessalement dite thermique ou fonctionnant sur le principe de l'évaporation).

L'eau de mer est salée à peu près à 35g.l^{-1} en général. Dans des régions comme le Golfe Persique, la salinité atteint 42g.l^{-1} . Pour s'éparer le sel, il faut, d'un point de vue purement théorique et sans perte d'énergie (dessalement isentropique), environ 563Wh.m^{-3} . Les systèmes de dessalement se caractérisent par leur rendement et le taux de sel résiduel.

2 Historique du dessalement :

Le dessalement, qui peut s'appliquer aux eaux salées ainsi que saumâtres, est un procédé de séparation des sels d'une dissolution aqueuse ou de séparation de l'eau des sels afin d'obtenir de l'eau douce propre à la consommation humaine. Pour cela, il faut appliquer de l'énergie on peut déterminer l'énergie nécessaire pour l'obtention de l'eau selon un chemin inverse, en mesurant l'énergie dégagée par la dissolution de sels dans de l'eau pure.

L'énergie minimum nécessaire pour le dessalement dépend de la concentration de l'eau : pour l'eau brute de mer de 35.000 ppm au total de solides dissous, l'énergie, à 25°C , est de 0.88 kWh/m^3 et de 0.3 kWh/m^3 dans le cas d'une concentration de 15.000 ppm . Mais la technique actuelle ne permet de dessaler qu'à un coût énergétique cinq fois plus élevé.

Mis à part la technologie actuelle, le dessalement est un phénomène naturel qui se développe dans le cycle hydrologique de l'eau : l'évaporation des eaux de mer. Annuellement, environ 502.800 Km³ d'eau des océans s'évaporent.

L'histoire du dessalement parte déjà de l'époque grecque. Durant le XVI^e siècle, on constate aussi des essais rudimentaires, c'est à partir du XIX^e siècle qu'apparaît au Chili la première usine par distillation solaire dont la production de 20 m³ permet de fournir de l'eau à un village minier dans une zone aride.

Par la suite, pendant la première moitié du XX^e siècle, les processus de dessalement ont employé les techniques d'évaporation. La dépendance et la haute consommation énergétique vont promouvoir la recherche d'autres méthodes, par exemple, les membranes dont les premières recherches à succès se localisent dans les années 60 aux États-Unis. Les matériaux se développent : des membranes plates à acétate de cellulose à celles à polyamide aromatique qui augmentent l'imperméabilité aux sels jusqu'à 99%. On s'est également concentré sur la réduction de la pression nécessaire pour le dessalement.

Dans les années 70, la capacité mondiale n'était que de 1.7 hm³/j, ce qui correspondait aux usines d'évaporation de construction à très bon marché mais à consommation élevée. Après la crise pétrolière de 1973, les pays exportateurs de pétrole, ainsi que ceux ayant une plus grande pénurie en eau, commencent à installer une grande quantité d'usines d'évaporation avec production d'électricité.

Dans les années 80, les usines d'osmose inverse commencent à prendre place ailleurs le Golfe Persique, ainsi dans les années 90, l'évaporation continue à être employée dans le Moyen-Orient mais l'osmose inverse est dominante dans le reste du marché mondial.

Actuellement, et d'après l'inventaire mondial de l'Association International de Dessalement (IDA), il existe plus de 15000 unités de dessalement dans le monde produisent environ 56 million de m³/j, dans 120 pays. 60.6% de l'eau employée dans ces usines est de l'eau de mer, 22.8% est saumâtre et le pourcentage restant correspond aux eaux superficielles et résiduelles. Les pays du Moyen-Orient, et principalement ceux du Golfe Persique, atteignent 12 millions de m³/j : l'Arabie Saoudite dispose de 23.6% du total et est suivi par les États-Unis avec 16.7%, les Émirats Arabes Unis avec 16.3% et le Koweït, 6.4%.

Au niveau du nombre des installations, le premier poste revient aux États-Unis (il s'agit de petites installations) et le deuxième, l'Arabie Saoudite. Le cinquième est occupé par l'Espagne qui est le quatrième en dessalement d'eau de mer d'après l'Arabie Saoudite, les pays du golfe et les USA. Et le deuxième en dessalement par osmose inverse (OI). Le rapport avec les technologies, 42.9% de la capacité des usines

est MSF et 38.9% d'OI (les usines de plus de 400 m³/j représentent 57.5% et 27.6% respectivement). Le pourcentage restant s'applique à d'autres technologies.(Morsl, 2015)

3 Dessalement dans le monde :

L'eau de mer représente 97% de la réserve totale d'eau sur Terre tandis que la majorité de la population est concentrée sur les littoraux. Ainsi, dans les régions du monde les plus arides, on fait de plus en plus le choix de dessaler l'eau de mer pour répondre aux besoins en eau douce. Cette opération consiste à retirer le sel de l'eau salée par différentes techniques, de façon à la rendre propre à la consommation et aux usages agricoles.

47 millions de m³ d'eau sont produits par jour à partir de la mer soit 660 000 litres d'eau douce dessalée chaque seconde. Ce qui ne représente finalement que 0,45% de l'eau douce consommée chaque jour mais au total près de 21 milliards de m³ d'eau chaque année.

L'essentiel (60 %) des installations se situent :

- dans les pays méditerranéens (Turquie, Egypte, Maroc, Tunisie...)
- en Asie occidentale (Moyen-Orient : Iran, Irak, Arabie Saoudite..). Dans le golfe arabe, 60% des besoins en eau sont satisfaits par le dessalement.

Les derniers chiffres de la F.A.O (Aquastat - Janvier 2001) donne la répartition suivante par pays :

ETATS	Volumes produits (en millions de m ³)	ETATS	Volumes produits (en millions de m ³)
ALGERIE	64.0	MAURITANIE	1.7
ANTIGUA BARBADES	3.3	MAROC	3.4
BAHREIN	44.1	OMAN	34.0
DJIBOUTI	0.1	QATAR	98.6
EGYPTE	25.0	ARABIE SAOUDITE	714.0
IRAN	2.9	SOMALIE	0.1
JORDANIE	2.0	SOUDAN	0.4
KAZAKHSTAN	1328.0	TUNISIE	8.3
KOWEIT	231.0	TURQUIE	0.5
LIBYE	70.0	EMIRATS ARABES UNIS	385.0
MALTE	31.4	YEMEN	10.0

Concernant les pays ne figurant pas dans cette liste : soit la production d'eau douce par désalinisation est nulle, soit la FAO ne dispose pas des données.

Il est à noter que ces chiffres ont largement évolué depuis 2001. En 2013, la capacité totale de dessalement installée cumulée était d'environ 12 Mm³/j. De 2000 à 2013, la capacité installée a augmenté de 560 % (40 % par an).

♦ La plupart des pays cités ont augmenté leur capacité de production. Par exemple, la Libye possède actuellement une trentaine d'usines, ce qui représente effectivement une production de 70 m³/an.

♦ D'autres pays ont engagé des programmes de grande envergure. C'est le cas, notamment :

- de l'Australie (ex : la ville de Perth où un tiers de l'approvisionnement en eau potable est assuré par désalinisation) - Article de "Les Echos" du 15 décembre 2007.

- de l'Espagne qui doit faire face au manque d'eau douce dans les régions agricoles du sud.

-le Kazakhstan aurait réduit sa capacité de production. En effet, l'unité de désalinisation était située à proximité de la ville d'Aktau, au bord de la Mer Caspienne (salinité : 1,2 g/L, soit le tiers environ de la plupart des autres mers ou océans). Elle a été la première ville du monde, en 1972, à accueillir une centrale de dessalement alimentée par le fonctionnement d'un réacteur nucléaire qui a été arrêté en 1999.

-En France : Actuellement, de petites unités de dessalement sont installées et fonctionnent temporairement sur des îles pour faire face à l'alimentation en eau douce lors de la période estivale et à l'arrivée des touristes. C'est le cas de Belle-Ile et de l'Ile de Sein où l'unité est installée dans le phare et produit 50 m³/j. Elle fonctionne selon le principe de l'osmose inverse. Une autre unité est installée en Corse, sur le port de Rogliano (Cap Corse) où est produit environ 500 m³/j. Des projets sont en cours d'étude, notamment sur la façade atlantique.(Pajon-Perrault, 2008)

-Aujourd'hui, plus de 15 000 unités de dessalement dans 120 pays produisent environ 40 millions de m³ /j, dont les trois quarts issus de l'eau de mer et un quart des eaux saumâtres. Sur ces 40 millions, 75% sont destinés à la consommation humaine, 25% à un usage industriel ou agricole. Rappelons que la capacité mondiale de production en eau potable est de l'ordre de 500 millions de m³ / j².

Alors qu'en 2004, les experts estimaient que la capacité de dessalement d'eau de mer mondiale augmenterait de 100% d'ici à 2015, ces prévisions semblent aujourd'hui sous-estimées. La Chine et l'Inde pour lesquelles on prévoyait une activité de dessalement d'environ 650 000 m³/j d'ici 2015 ont déjà dépassé ces prévisions. La Chine a récemment annoncé 1 million de m³ /j d'eau de mer traitée d'ici 2010 et jusqu'à

3 millions de m^3 /j en 2020. Au rythme actuel d'un doublement de la production tous les 10 ans, les spécialistes estiment que cette production grimpera à 50 ou 60 millions de m^3 /j avant 2015, et pourrait à nouveau doubler d'ici à 2025. 60% des besoins en eau douce des pays du Golfe Persique sont satisfaits par le dessalement d'eau de mer. L'Arabie Saoudite génère à elle seule 20% de la production mondiale. Mais, le dessalement ne concerne plus seulement les riches et désertiques États du Golfe, où fonctionnent les plus importantes installations. En Australie, un tiers de l'eau douce consommée par la ville de Perth provient de cette technique.(boye, 2008)

4 Dessalement en méditerrané :

En Méditerranée, la production artificielle d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre souterraine a débuté d'abord dans des situations d'isolement insulaire (Malte, Baléares, Dalmatie, Chypre, Cyclades...), littorales (Libye) et désertiques (Algérie), et essaime aujourd'hui très rapidement tout autour de la Méditerranée. L'Algérie et l'Espagne ont clairement opté pour cette option pour résoudre leur problème de pénurie. L'Espagne est au 4ème rang mondial. Dans la plupart des pays méditerranéens, on anticipe que la quantité d'eau dessalée croîtra fortement. En effet, les ressources en eau renouvelable sont limitées, mais il y a abondance d'eau salée, et d'énergie à court terme dans les pays pétroliers riches.

A ce jour, la Méditerranée représente environ un quart du dessalement mondial. Vers 2030, la région pourrait approcher le chiffre du dessalement mondial actuel (soit environ de 30 à 40 millions de m^3 /j). (boye, 2008)

5 Dessalement en Algérie :

L'expérience algérienne en matière de dessalement des eaux est étroitement liée au développement de l'industrie pétrolière et sidérurgique. Le recours au dessalement en vue d'un usage exclusivement à l'alimentation de la population en eau potable est quasi inexistant. Néanmoins une seule expérience a été tentée dans une situation où il n'existait aucune autre solution. Il s'agit de l'unité de déminéralisation d'Ouled Djellal dans la wilaya de Biskra (Sud-Est-Algérie).

Dans l'industrie, la déminéralisation et le dessalement sont utilisées pour assurer la fourniture de l'eau de chaudière, de refroidissement, de traitement. En 1964, trois petits blocs de 8 m^3 /h chacun ont été installés au complexe gaz liquéfié d'Arzew (ville côtière à l'Ouest du pays). Le procédé utilisé est « à tubes submergés » travaillant à basse pression. Au cours de la même année, une autre installation a vu le jour à Arzew avec une capacité de production de 4560 m^3 /j. le procédé utilisé est MSF.

Dés lors de nombreuses installation de dessalement et de déminéralisation ont été mises en place en parallèle avec les nouveaux complexes. D'autres installations ont été mises en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté nécessaires à l'activité des complexes de production d'électricité (Cap Djenat à l'est d'Alger) et de l'industrie de liquéfaction et (Arzew Skikda). D'autres petites unités ont été installées principalement dans le sud en vue de fournir de l'eau de qualité pour la consommation humaine dans les bases pétrolières.(Morsl, 2015)

6 Organisation générale des usines de dessalement :

La technique de dessalement de l'eau de mer pourrait représenter une solution pour les pays côtiers. Mais elle reste trop gourmande en énergie. Aujourd'hui ce sont surtout les pays riches en ressources énergétiques qui l'ont développée, comme(Janah et al., 2017)



Figure 5 : l'usine de Djebel Ali, la plus grande du monde, des Emirats arabes unis (Janah et al., 2017)

L'Arabie Saoudite qui est 1er producteur mondial d'eau dessalée avec 1/3 de la production mondiale.

1. Une unité de pompage;
2. Une unité de d'écantation
3. Une pompe de pré-charge avec crépine et filtre;
4. Une unité de dessalement;
5. Une unité de traitement des eaux usées avant rejet

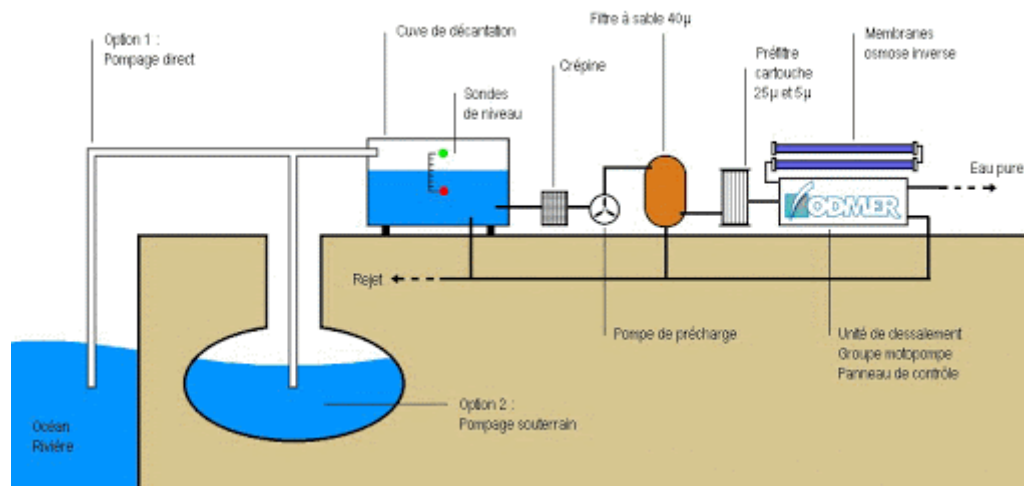


Figure 6 : technique de désalinisation (Pajon-Perrault, n.d.)

6. Une source d'énergie, nécessaire notamment au pompage, à la mise sous pression de l'eau, etc... (Pajon-Perrault, n.d.)

7 Méthodes de dessalement des eaux de mer :

Les deux principaux types de technologies qui sont utilisés dans le monde entier pour le dessalement peuvent être classés comme étant soit :

- Des procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases : la Congélation et la distillation;
- Des procédés utilisant des membranes : l'osmose inverse et l'électrodialyse.(Janah et al. 2017)

7.1 Procédés thermiques :

7.1.1 Distillation :

Les procédés de séparation par distillation consistent en un simple changement de phase d'une solution d'eau salée qui passe, de l'état liquide à l'état gazeux en agissant sur l'élévation de la température et/ou la diminution de la pression. Trois techniques se partagent le marché du dessalement thermique : la distillation à multiples effets (MED), la distillation à détente étagée (MSF), et le procédé à compression de vapeur (vapeur-compression VC).(BIYOUNE, 2017)

7.1.1.1 Distillation à multiples effets (MED) :

Ce procédé permet d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur à simple effet afin d'en augmenter le rendement en récupérant la chaleur d'apport pour une nouvelle distillation et le processus s'effectue comme suit :

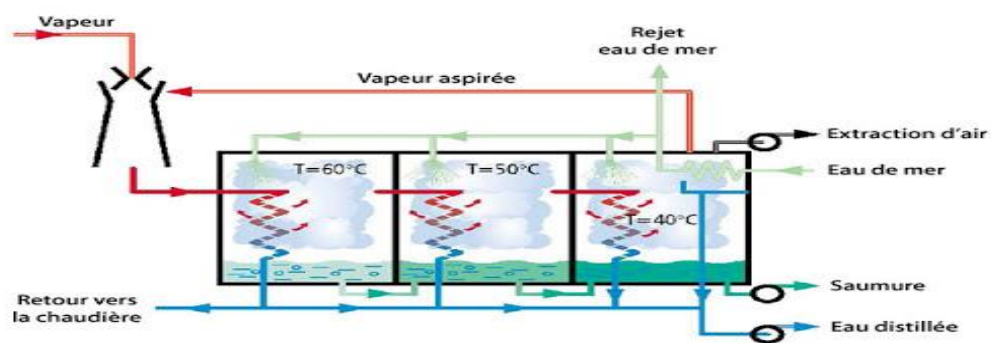


Figure 7 : distillateur à effets multiples (MED)(BIYOUNE, 2017)

- Dans la première cellule de distillation, l'eau de mer ruisselle sur un serpentín de tubes chauffés ou sur des plaques, grâce à la chaudière. Elle se transforme ainsi en vapeur à seulement 70°C, grâce à une pression inférieure à la pression atmosphérique cela évite l'entartrage des tuyaux.
- L'eau de mer non transformée en vapeur s'accumule au fond de la cellule et se concentre davantage en sels.
- L'eau est pompée. Puis envoyée dans la cellule suivante.
- La vapeur entre dans la deuxième cellule, puis se condense dans le serpentín. Ce passage à l'état liquide dégage assez d'énergie pour en céder à l'eau de mer. Celle-ci ruisselle sur les tubes ainsi chauffés et se vaporise.
- Le même processus se répète dans la troisième cellule. En pratique, on peut placer en série jusqu'à 6 ou 7 cellules de distillation.
- Le dernier serpentín est refroidi par l'eau de mer.
- La vapeur condensée dans les serpentins donne de l'eau douce. Il faut 2 à 4 litres d'eau salée pour obtenir 1 litre d'eau douce.(BIYOUNE, 2017)

7.1.1.2 Distillation à détente étagée (MSF) :

Ce procédé dit (flash) consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage, lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°C, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée (flash). Le phénomène de flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus réduite.

La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détentes successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.(BIYOUNE, 2017)

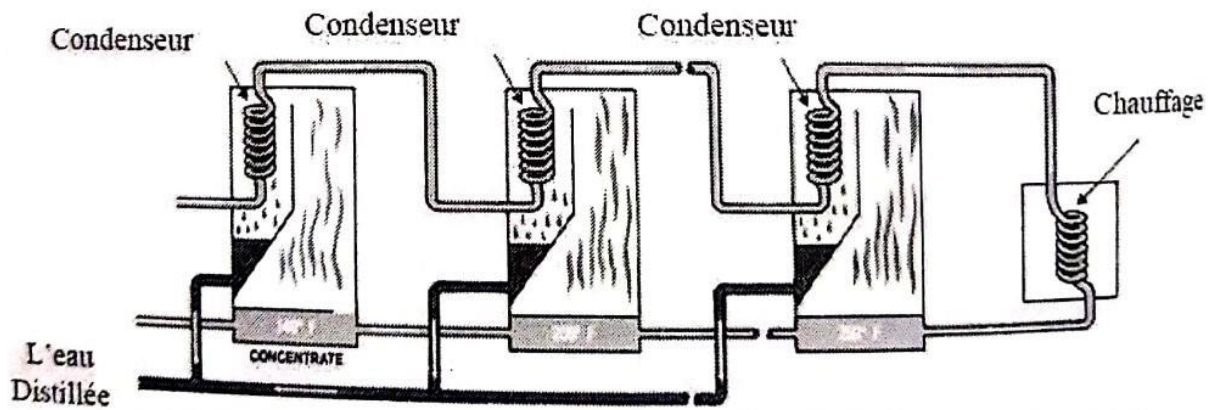


Figure 8 : distillateur à Multi Stage Flash (MSF)(BIYOUNE, 2017)

7.1.1.3 Distillation à compression de vapeur :

Le dessalement par compression de vapeur consiste à mettre sous pression la vapeur d'eau de mer, pour la réchauffer, avant de la réintroduire dans la même enceinte pour la condenser en faisant évaporer une autre quantité d'eau de mer.(BIYOUNE, 2017)

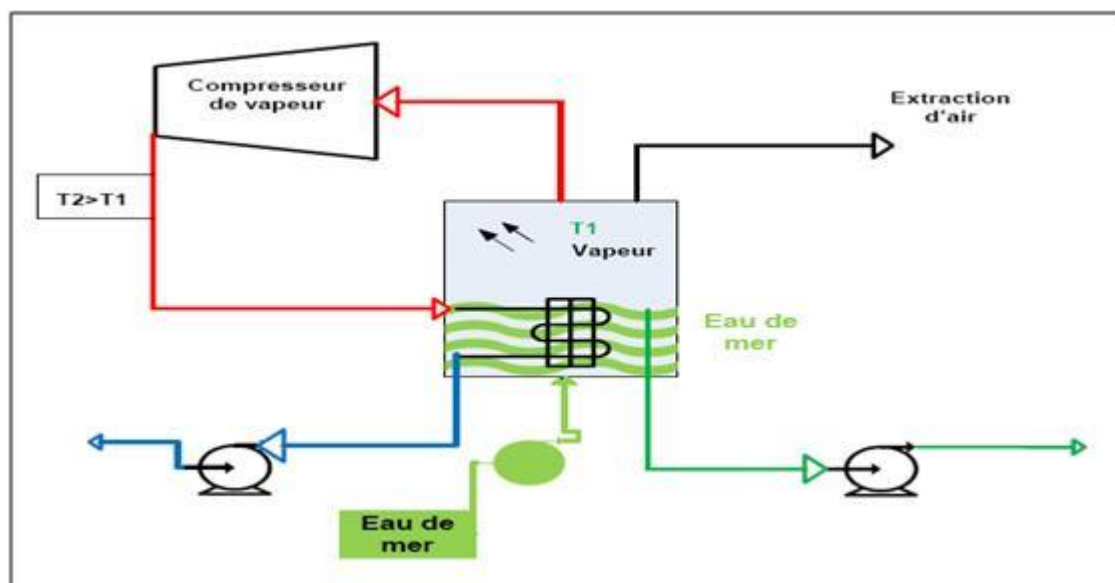


Figure 9 : procédé de dessalement par compression de vapeur (BIYOUNE, 2017)

Un compresseur aspire la vapeur produite dans la cellule. Après la compression, cette vapeur haute pression a une température plus élevée que celle régnant dans l'évaporateur qui peut donc servir à évaporer l'eau de mer qui la traverse dans un réseau de tuyaux, et par la suite réchauffe l'eau à dessaler en lui cédant la chaleur de condensation et commencer de la sorte un nouveau cycle, avant d'être évacuée sous forme d'eau distillée.(BIYOUNE, 2017)

7.1.2 Congélation :

Lorsqu'on refroidit une eau de mer jusqu'à environ -2°C , il y a formation de cristaux de glace constitués d'eau douce. L'eau de mer étant alors plus concentrée, elle résiste mieux à la congélation. Si on fait baisser davantage la température, la production de glace augmente. Signalons cependant que, à environ -9°C , le sulfate de sodium décahydraté a tendance à précipiter. Pour produire de l'eau pure, il est donc préférable de ne pas refroidir l'eau au-dessous de cette température.

Le dessalement des eaux de mer par congélation est particulièrement intéressant dans les régions où la température de l'eau est souvent inférieure à 0°C , car, dans ces conditions, on peut aménager des bassins à ciel ouvert. Lorsque la température est suffisamment basse, on remplit ces bassins sur une hauteur de 10 à 15 cm ; lorsque la couche de glace atteint une épaisseur de 1 à 1.5 cm, on enlève la saumure et on recueille la glace, qu'il ne reste plus qu'à laver et à faire fondre (il faut utiliser 30 à 50% de l'eau douce ainsi produite pour laver la glace et la débarrasser de sa pellicule d'eau de mer). La production d'eau douce de ces bassins est de 40 à 50 $\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ lorsque la température de l'air est de -5°C , et de 120 à 160 $\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ lorsque cette dernière est de -20°C .(Desjardins, 1997)

7.2 Procédés utilisant des membranes :

7.2.1 Osmose inverse :

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-sélective et contenant deux solutions de concentration différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigée de la solution diluée vers la solution concentrée.

Il est possible d'inverser l'opération en exerçant une pression sur la solution concentrée et faire migrer les plus petites molécules d'eau, c'est l'osmose inverse. L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électrique consommée principalement par les pompes haute pression.(BIYOUNE, 2017)

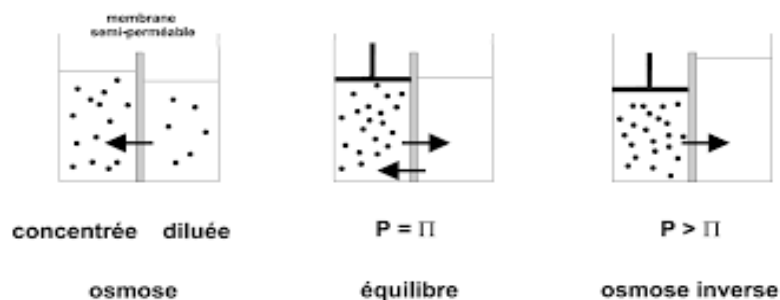


Figure 10 : schéma du principe de fonctionnement de l'osmose inverse(BIYOUNE, 2017)

7.2.2 Electrodialyse :

C'est un procédé électrochimique qui permet l'extraction des ions solubles dans l'eau par migration à travers des membranes cationiques et anioniques. Ce procédé de séparation est schématisé dans la figure ci-dessous ; sous l'action d'un champ électrique, les ions positifs traversent les membranes cationiques et les négatifs traversent les membranes anioniques. Ce procédé ne permet pas l'élimination des molécules organiques neutres. Le nettoyage des membranes est effectué automatiquement par inversion du courant électrique. En termes d'énergie ce traitement devient coûteux pour des eaux caractérisées par une salinité supérieure à 5 g/l.

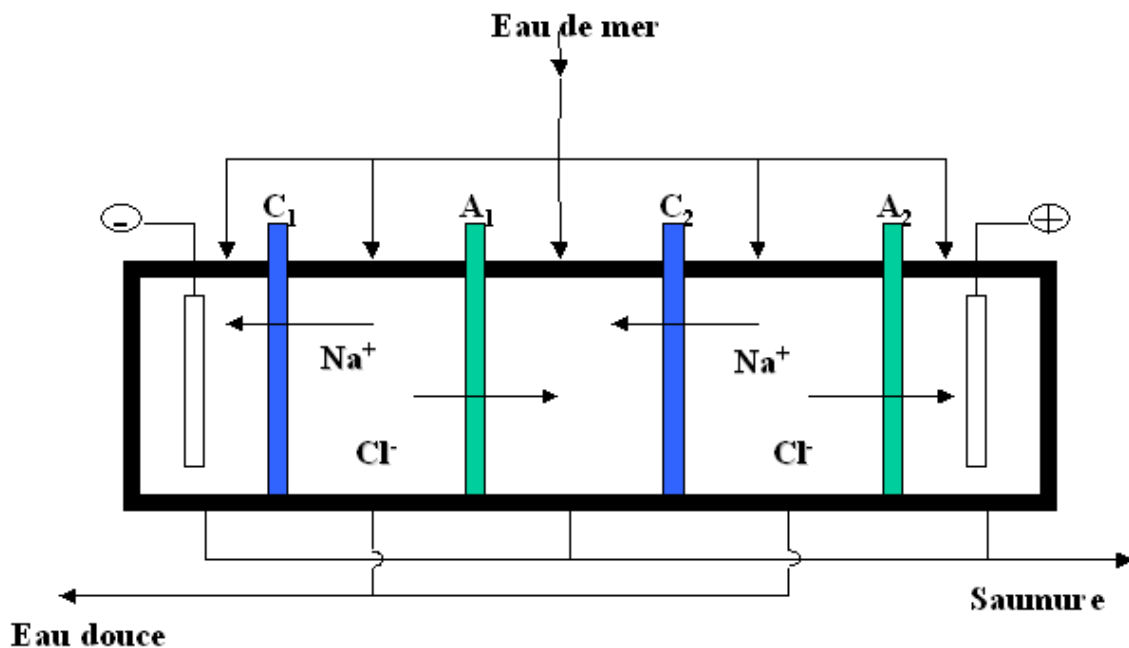


Figure 11 : schéma du principe de fonctionnement de l'électrodialyse (BIYOUNE, 2017)

En raison de sa consommation électrique, l'électrodialyse n'est compétitive (face à l'osmose inverse) et donc utilisée que pour le traitement des eaux saumâtre de concentration inférieure à 3g/l.(BIYOUNE, 2017)

Chapitre III : zone d'étude

1 Présentation de la zone d'étude :

Située à mi-distance entre Ghazaouet et Béni-Saf, la commune de Honaine se trouve à 69 kilomètres au nord de Tlemcen chef-lieu de wilaya. Entamés en 2006 par le groupement espagnol Geida (composé des sociétés Cobra, sadyt, Befesa and Codesa), les travaux de réalisation de la station de dessalement de l'eau de mer, dans la commune de Honaine (plage de Tafsout) ont été achevée 2011. Cette usine assure l'eau potable pour 23 communes ainsi que les agglomérations urbaines du grand Tlemcen (Tlemcen, Mansourah et Chetouane), soit une population d'environ 555.000 habitants. La capacité de l'usine de dessalement est de 200.000 m³ jour d'eau potable qui est produite par la filtration à sable/osmose inverse. Cette importante station est gérée par des actionnaires qui sont Algerian Energy compagny (AEC) à hauteur de 49 % et Geida (Espagne) à hauteur de 51 %. Les eaux produites sont ensuite transférées à l'algérienne des eaux (ADE). (Benallouda, 2013)



Figure 12 : photo de la station de dessalement de Honaine

La station de dessalement de Honaine comporte deux principaux systèmes dont l'un est réservé à la mobilisation et au pompage de l'eau de mer et l'autre pour le rejet de la saumure. Le système de mobilisation de l'eau de mer, renforcé par une conduite sous-marine allant jusqu'à 1.500 m dans la mer et une station de pompage à proximité de la ligne de rivage, permet de pomper l'eau de la mer vers le site de la station de dessalement, qui se trouve environ 500 m de la cote. Le système de rejet de la saumure vers la mer est consolidé par un émissaire marin pénétrant jusqu'à 1000 m dans la mer,

dans le but d'assurer une meilleur dilution et atténuer en conséquence les impacts environnementaux.

Le principe de l'opération de dessalement consiste à favoriser le passage d'une salinité de 40 g/l, celle de l'eau de la mer, à moins de 0,5 g/l, soit de l'eau complètement dessalée. Cette eau sera partiellement (reminéralisée) avec l'ajout d'une faible proportion d'eau saumâtre (riche en oligo-éléments), pour produire finalement une eau potable dont la salinité est située à environ 1,5 g/l conformément aux normes de l'organisation mondiale de la Santé (OMS). Les principales caractéristiques de fonctionnement de la station sont résumées dans le tableau suivant :

Désignation	Unités	Valeurs
Production Continue Prévue	m ³ /j	203 .000
Nombre total d'unité installée	U	10
Température de travail minimum prévue	°C	18
Température de travail maximum prévue	°C	24
Type de membrane		A enroulement en spirale
Matériau de la couche active		Polyamide aromatique
Rejet minimum en sel	%	99.45
Nombre de membrane par cuve sous pression	U	07
Nombre d'étages	U	01
Débit spécifique maximum	l/m ² /h	13.96
Pression d'entrée dans les membranes	Bars	62
Pression de sortie des membranes	Bars	64.5
Pas N°1		
Nombre de membrane dans le premier étage /unité	U	1820
Nombre de Cuve sous pression dans le premier étage /unité	U	260
Modèle de membrane		SWC5
Châssis		
Nombre de tubes de pression /Colonne	U	12
Nombre de colonne	U	24
Nombre de vides pour tube de pression en réserve	U	28
Tuyaux de distribution dans le châssis		
Nombre de collecteurs verticaux de distribution	U	2

Tableau 3 : principales caractéristiques de fonctionnement de la station de dessalement de Honaine(Benallouda, 2013)

La Station est constituée de 10 lignes (ou Racks) ayant chacune une production nominale de 20.300 m³/j. Le facteur de conversion de la station est de 47 %.(Benallouda, 2013)

2 Caractéristique de l'eau de mer :

Les caractéristiques de l'eau de mer faisant l'objet du dessalement sont présentées dans le (tableau 4). Il s'agit des conditions de base pour entamer l'opération de dessalement :

PARAMETRES	UNITE	CONDITION DE BASE DU SITE DE LA STATION DE DESSALEMENT DE 'HONAÏNE'
Température	° C	24
Les solides dissous total	g/l	40,074
Les matières en suspension	g/l	0,004
Chlorure	g/l	22,289
Calcium	g/l	1,047
Sulfate	g/l	2,978
Magnésium	g/l	1,545
Sodium	g/l	11,472
potassium	g/L	0.583
Bicarbonate	g/l	0.130
pH		8,2

Tableau 4 : caractéristique de l'eau de mer Honaine (conditions de base du site)

3 Processus du dessalement appliqué dans la station du dessalement de Honaine :

Le processus de traitement au niveau de la station de dessalement d'eau de mer de Honaine se fait en quatre étapes principales :

- captation de l'eau de mer
- prétraitement
- osmose inverse (Chassis RO)
- post traitement

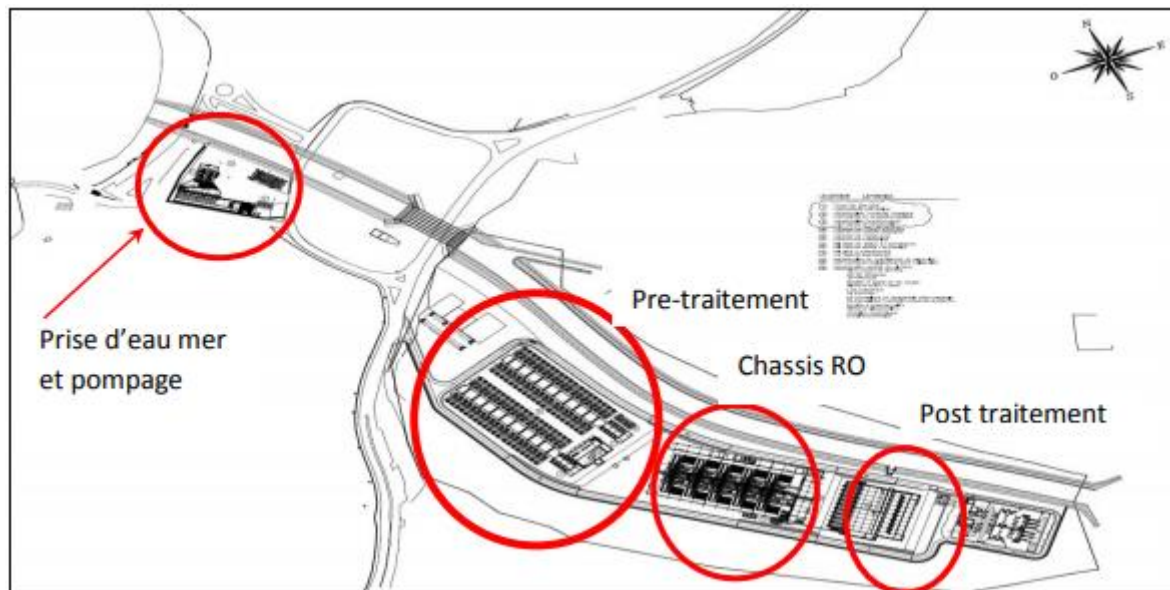


Figure 13 : schéma des étapes de traitement à la station de dessalement de Honaine (Benallouda, 2013)

3.1 Captation de l'eau de mer :

Cette phase a pour objectif de capter l'eau et d'éliminer les particules grossières et de préparer l'eau pour la phase de filtration. Le captage d'eau de mer s'effectue par une prise d'eau ouverte au moyen d'une tour de captage située à une distance de 1200 m à partir de la plage. Faite en béton armé de 9 mètres de hauteur par rapport au fond marin, cette tour est dotée de six fenêtres pour l'entrée de l'eau de mer. Ces fenêtres sont situées à 7 m au-dessus du fond. La tour de captage est dotée d'un système de pré filtration comprenant des grilles grossières et des tamis auto nettoyants. La colonne de captage a été conçue afin de capter l'eau brute nécessaire pour une production de 200.000 m³/jour. L'eau de mer est envoyé à travers l'émissaire de captage au réservoir d'eau de mer où elle est pré filtré des éléments grossiers à travers à travers des grilles grossières et des tamis autonettoyants. Le débit total du groupe de pompage de la tour de captage est de 18.934 m³/h. Il est légèrement supérieur au débit de l'usine car il doit assurer également l'eau nécessaire au lavage des tamis.(Benallouda, 2013)



Figure 14 : photo du poste de pompage de l'eau de mer

Le groupe de pompage d'eau de mer est composé de 11 pompes (10+1), chacune d'une capacité de pompage de $1.893 \text{ m}^3/\text{h}$. Les onze pompes d'eau de mer sont installées en parallèle, l'une d'elles étant de réserve. Cette pompe de réserve peut être utilisée de façon intermittente lors de l'étape de lavage de la première et seconde étape de filtration, si c'est nécessaire. Les pompes refoulent l'eau de mer depuis le réservoir jusqu'aux pompes à haute pression. Les pompes d'eau de mer sont de type à aspiration à vide, il est donc installé un groupe de vide pour l'amorçage de ces pompes.

Lors de l'aspiration des pompes d'eau de mer, il est possible d'effectuer un dosage d'hypochlorite de sodium pour la désinfection en continu ou pour une désinfection de choc. Il faut effectuer un dosage de chlorure ferrique comme coagulant au début du collecteur de refoulement vers les filtres à pression, si c'est nécessaire pour atteindre $\text{SDI} < 4$ à l'entrée des membranes. (Benallouda, 2013)

3.2 Prétraitement :

C'est la deuxième étape du processus de dessalement dont le but est d'éliminer :

- Les solides en suspension
- Les matières organiques
- Les micro-organismes

Elle est aussi nécessaire pour éviter la détérioration des pompes, l'incrustation, l'encrassement et la dégradation des membranes d'osmose inverse par les microorganismes. Cette étape comporte deux types de prétraitements :

3.2.1 Prétraitement chimique:

3.2.1.1 Dosage d'Hypochlorite de sodium :

L'utilisation de différents dérivés chlorés, normalement l'hypochlorite sodique (NaOCl), comme produits désinfectants pour combattre le salissement biologique des membranes est une pratique habituelle dans les usines d'osmose inverse. La base du processus de désinfection est la formation d'acide hypochloreux (OHCL) qui possède une action biocide. Il ne contrôle pas seulement le processus de croissance des bactéries en pénétrant dans les cellules de paroi et en les tuant mais il évite aussi la production des enzymes qui nécessaires à la prolifération débits microorganisme. Il a été prévu d'effectuer une injection d'hypochlorite de sodium au niveau de l'aspiration des pompes d'eau de mer afin de pouvoir travailler avec un traitement de choc ou en continu. Cette injection s'effectue à l'aide de cinq pompes doseuses (4+1) de débit nominal d'environ 200 l/h chacune. L'une des pompes servant de réserve. Deux réservoirs d'hypochlorite de sodium de 140 m³ de capacité chacun sont ainsi installés. Pour le remplissage des réservoirs, une pompe de transfert de 33 m³/h de débit est installée. L'ajout du produit s'effectue au sein du refoulement de l'eau de mer.(Benallouda, 2013)



Figure 15 : photo d'une citerne de stockage d'hypochlorite de sodium (Benallouda, 2013)

3.2.1.2 Dosage du chlorure ferrique :

Un dosage de chlorure ferrique est effectué pour l'élimination de la matière en suspension et des colloïdes présents au sein de l'eau de mer et ceci pour atteindre un SDI < à 4 à l'entrée des membranes.

L'ajout du produit se fait en continu après le refoulement des pompes d'eau de mer. L'injection du produit s'effectue à l'aide de 5 pompes de dosage (4+1) pompes, l'une d'elles étant de réserve). Le débit nominal de chacune d'elle est de 100 l/h .Une pompe centrifuge de 33 m³/h de débit est installée pour le transvasement du chlorure ferrique depuis le moyen de transport jusqu'aux réservoirs de stockage. Ce dernier est assuré

par deux réservoirs d'accumulation (figure 16) de 70 m³ de capacité chacun qui sont ainsi disposés.(Benallouda, 2013)



Figure 16 : photo de la citerne de stockage de chlorure ferrique

3.2.1.3 Dosage du métabisulfite de sodium :

Un équipement de dosage de métabisulfite de sodium est installé au niveau de la station dans le but de réduire le chlore résiduel au sein de l'eau de mer avant les membranes. Le métabisulfite de sodium est une substance qui réagit au chlore et au reste des oxydants contenus dans l'eau de mer tels que l'oxygène dissout, en évitant qu'ils ne parviennent aux membranes et qu'ils ne les détériorent. Ce dosage est utilisé en cas de dosage de l'hypochlorite en continu.(Benallouda, 2013)

Cinq pompes de dosage sont ainsi prévues dont l'une d'elles étant de réserve. L'ajout du produit s'effectue avant la première étape de filtration et avant les filtres à cartouche afin de permettre une durée maximale de contact possible. Pour le stockage de ce produit, deux citernes d'accumulation de 13 m³ de capacité chacune sont ainsi installées (figure 17)



Figure 17 : photo des citernes de stockage du métabisulfite de sodium

L'injection du métabisulfite de sodium est réalisée pour réduire le chlore avant l'introduction de l'eau dans les membranes d'osmose. (Benallouda, 2013)

3.2.1.4 Dosage du dispersant :

Afin d'éviter la précipitation des sels de sulfate de calcium, sulfate de strontium, fluorure de calcium et autres sels, un dosage de dispersant est réalisé. L'équipement est composé de deux réservoirs d'accumulation dissolution de 10 m³ de capacité chacun. Cinq pompes de dosage sont installées dont l'une d'elles étant de réserve. L'ajout du produit se fait en ligne et avant les filtres à cartouche. (Benallouda, 2013)

3.2.2 Prétraitement physique :

C'est un traitement destiné à éliminer fondamentalement les éléments solides, les algues et la matière organique, par le passage de l'eau de mer à travers des filtres à sable et anthracite et à travers des filtres à cartouches. Le mouvement de l'eau dans ces filtres est vertical, pénétrant par la partie supérieure du filtre et descendant à travers les couches filtrantes qui retiennent les matières solides dans sa partie inférieure. Des collecteurs munis de buses recueillent l'eau filtrée.

3.2.2.1 Ebauchage :

L'ébauchage a deux objectifs :

- Protéger la station de l'arrivée possible et intempestive de grands objets capables de Provoquer des obstructions dans les différentes unités de l'installation.
- Séparer et évacuer facilement les matières volumineuses entraînées par l'eau brute qui pourrait diminuer l'efficacité des traitements suivants ou compliquer leur réalisation.

L'opération peut être plus ou moins efficace selon la séparation entre les barreaux des Grilles. On peut distinguer :

- Ebauchage fin, avec une séparation de 3 à 10 mm,
- Ebauchage moyen, avec une séparation de 50 à 25 mm,
- Pré-ébauchage, avec une séparation de 50 à 100 mm

Les grilles mécaniques sont protégées par une pré-grille aux barreaux plus espacés (Séparation de 50 à 100 mm), prévue, généralement, pour un nettoyage manuel mais qui devra être également automatique dans le cas des installations importantes ou si l'eau brute arrive chargée de grosses matières. (Benallouda, 2013)

- Grilles manuelles :

Elles sont constituées de barreaux droits, en acier, parfois verticaux et parfois inclinés à un angle de 60° à 80° sur le horizontale.

- Grilles mécaniques de nettoyage du côté de l'arrivée :

Des grilles de nettoyage alternative : la zone grillagée est faite avec des barreaux de section rectangulaire ou trapézoïdal (qui réduit le risque d'obstruction des matières solides), et généralement inclinée environ 80 sur l'horizontal se détenant un peu au-dessus du niveau liquide maximal et se prolongeant par un panneau.

Des grilles de nettoyage continu : ce type de grille s'utilise dans un ébauchage fin et il doit être employé avec de l'eau peu chargée en grosses matières (ou bien qu'elle ait été soumise au préalable à un ébauchage moyen.

- Des grilles mécaniques et nettoyage du côté de la sortie :

Ce type de grille s'utilise généralement avec des eaux résiduelles et elle est capable d'éliminer de grandes quantités de matières solides à l'aide de petits râteaux peignes qui bougent grâce à un mécanisme de chaines interminables montant de l'eau en bas du champ de grille. Le champ de grille, vertical ou incliné (60° à 80° sur l'horizontal).(Benallouda, 2013)

3.2.2.2 Filtration :

La filtration consiste à faire passer l'eau de mer à travers des filtres. L'eau salée entre par la partie supérieure du filtre et descend à travers le lit filtrant (Figure 18). Le filtrage de l'eau se réalise au fur et à mesure que les particules solides sont absorbées tout au long du lit filtrant. Quand l'eau arrive à la partie inférieure, elle est recueillie dans un collecteur de sortie.

Les particules solides sont retenues dans le lit et la saleté retenue augmente la perte de charge du filtre.

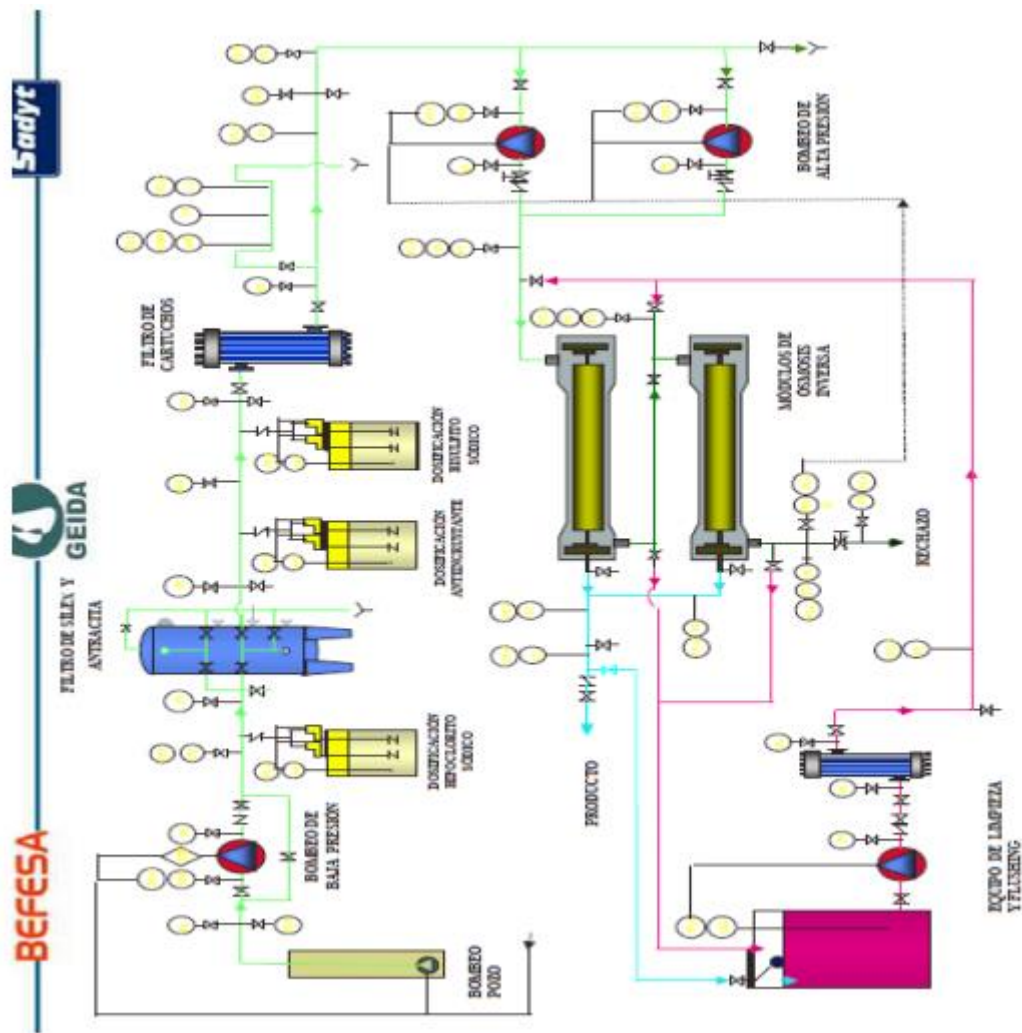


Figure 18 : schéma de l'étape de filtration

La filtration de l'eau s'effectue sur différents types de filtres qui sont :

- Un système de filtre à sable, anthracite
- Un système de filtre à cartouches.

a) Filtration à sable et anthracite :

Ce système élimine la plupart des particules en suspension, huile et graisses qui restent dans l'eau de mer et, produit une eau filtrée à basse turbidité prête pour l'étape d'osmose inverse (Figure 19).

Le mouvement de l'eau dans ces filtres est vertical, pénétrant par la partie supérieure du filtre et descendant à travers les couches filtrantes qui retiennent les matières

solides dans sa partie inférieure. Des collecteurs munis de buses recueillent l'eau filtrée.

Ce système de filtration comporte 80 filtres répartis en deux phases :

❖ La première phase est constituée de 48 filtres contenant chacun :

- une couche supérieure de 600 mm de hauteur d'anthracite de 0.4 à 1.6 de diamètre.
- une couche intermédiaire de 400 mm de hauteur de lit de sable de 0.4 à 0.8 de diamètre.
- une couche inférieure comporte à la fois 100 mm d'anthracite de 1.4 à 2.5mm et 100 mm de sable de 4 à 8 mm

❖ La deuxième phase est constituée de 32 filtres contenant :

- une couche supérieure de 700 mm de hauteur d'anthracite de 0.4 à 0.8 mm de diamètre.
- une couche intermédiaire de 200 mm de hauteur de lit de sable de 0.55 mm de diamètre et de 1.4 de coefficient d'uniformité.
- une couche inférieure comprenant 100mm de sable de 2 mm et de 1.4 de coefficient d'uniformité.

Les deux types de filtres sont soumis à un système de lavage.(Atallah, 2014)

* Lavage des filtres: Quand la perte de charge dans le filtre augmente, on doit procéder à son lavage. Ce nettoyage se réalise par inversion du flux d'eau, en la faisant circuler de bas en haut (contre-lavage). Le lavage s'effectue avec 3 pompes et 2 soufflantes dont une en réserve avec de la saumure.

Avec le contre-lavage, l'eau entraîne la saleté accumulée dans le filtre. L'eau, chargée de crasse, sort à travers la vanne de drainage vers l'extérieur. Le processus de nettoyage peut s'automatiser par le biais des vannes de contre-lavage et celui programmé de lavage de filtres. On laisse le filtre complètement vide d'eau quand il ne va pas être utilisé pendant de longues périodes de temps.(Benallouda, 2013)



Figure 19 : photo des filtres à sables et anthracite

b) Filtration à cartouche :

La filtration par cartouches est la technique de filtration la plus conseillée pour les applications dont les exigences en ce qui concerne la qualité et la sécurité sont les plus élevées. On les utilise dans les installations pour pouvoir garantir un niveau de filtration de microns minimal exigé par le fabricant de membranes. Les cartouches sont formées d'une âme et d'un essieu creux, avec des perforations latérales, sur lequel s'enroule un fil qui est celui qui garantit la taille de pore conforme aux caractéristiques de séparation du filtre.

Les cartouches filtrants sont logés dans des porte-cartouches spéciaux, fabriqués en différentes matières selon l'application (acier inox. 316, acier au carbone, polyéthylène, etc.), avec différentes finitions de fabrication (poli, poncé, époxy, etc.) et de différentes tailles (selon le débit à traiter). Au contraire des filtres à sable et anthracite, les filtres à cartouche ne se nettoient pas mais on remplace périodiquement les cartouches filtrant.



Figure 20 : photo d'un filtre à cartouche

L'eau filtrée des filtres à pression est envoyée au processus de microfiltration par les filtres à cartouche. Il est installé à la station un point de dosage de métabisulfite de sodium et de dispersant avant l'entrée de l'eau filtrée aux filtres à cartouche. Les filtres à cartouche sont équipés de cartouches de polypropylène de filtration en profondeur avec un seuil de séparation de 15 microns absolus et une efficacité dans le brassage de particules de 99,6 %.

Avant et après les filtres à cartouche, des prélèvements d'échantillon sont installés pour la mesure du SDI de l'eau afin de déterminer l'efficacité de la filtration ainsi que la qualité de l'eau avant son entrée au sein des membranes. Le changement de cartouches des filtres se fait manuellement.(Benallouda, 2013)

c) Réservoir d'eau filtrée :

L'eau filtrée produite est stockée dans un réservoir fermé. Cette eau, à partir de ce réservoir, est utilisée pour alimenter les unités d'osmose inverse ; une autre partie est utilisée pour le rinçage et le nettoyage des filtres à sable. Ces derniers subissent l'accumulation des matières solides qui provoquent une augmentation de la résistance à l'écoulement ainsi que la diminution de la production d'eau filtrée. Un barbotage avec l'air est introduit afin d'améliorer l'efficacité du lavage par inversion du flux de bas en haut.(Atallah, 2014)

3.3 L'étape d'osmose inverse :

Le dessalement de l'eau de mer est réalisé par son passage à travers le système d'osmose inverse ; étape clé du processus sus-cité. Cette étape est constituée de 10 unités appelées « Rack » (Figure 21). Chaque unité est composée de :



Figure 21 : photo du bloc d'osmose inverse

3.3.1 Châssis à membrane

Composé de 222 modules à 7 membranes de type « SWC5 max, Hydranautics ». Ces membranes type spirale (figure 22) sont composées de:

- une couche de polyamide à 0.15μ
- une couche de poly-sulfone à 40μ pour supporter la couche polyamide
- une couche de polyester qui donne une certaine résistance mécanique de la membrane à 100μ .

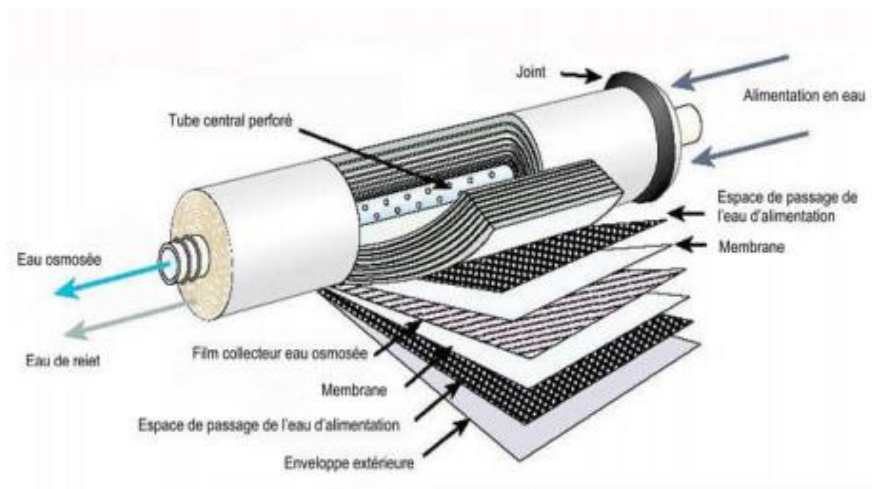


Figure 22 : la membrane spirale de l'osmose inverse (Atallah, 2014)

3.3.2 Pompe à haute pression

Elle permet de fournir une pression jusqu'à 70 bars en vue d'alimenter l'osmose inverse. Cette dernière peut être de types « segmenté », « chambre partie », et autres, etc.

3.3.3 Pompe de recirculation

Dans le but de compenser les pertes de charge produites dans les membranes et la tuyauterie, la station doit être dotée d'une pompe de recirculation pour augmenter la pression de l'eau de mer provenant du système de récupération d'énergie (px) avant l'arrivée du flux d'eau de mer provenant de la pompe centrifuge à haute pression.

3.3.4 Système d'échange de pression

Grâce à un rotor, un système d'échange de pression s'effectue entre la saumure provenant des membranes à haute pression et l'eau de mer à basse pression, une récupération importante d'énergie permet la réduction de coût de dessalement de l'eau de mer.

3.3.5 Réservoir de l'eau dessalée

Ce dernier est destiné à accueillir l'eau déminéralisée issue de l'osmose inverse. Cette eau dessalée est utilisée aussi pour rincer les membranes d'osmose inverse en cas de colmatage (Figure 23).



Figure 23 : photo du réservoir de l'eau dessalée

3.4 Post-traitement :

L'eau issue du traitement de l'osmose inverse est indemne de tous les minéraux, c'est-à-dire non consommable, une reminéralisations est nécessaire pour rendre cette eau potable. L'injection automatique de CO₂ (Figure 24) pour réduire le pH proche de 5 permet de rendre plus efficace le processus de reminéralisations. Ce dernier est réalisé dans des tours ou chambres en nombre de dix, à l'intérieur desquelles est situé le lit de calcite (carbonate de calcium) de 2.86 m de hauteur, équipées par des tuyaux de distribution (Figure 23). A travers ce lit de calcite l'eau traitée passe et atteindra le fond (réservoir) par un canal à l'intérieur de la tour. Après et à l'aide d'un doseur automatique, il y aura un ajout d'hypochlorite de sodium à partir des deux citernes suscitées.

A l'aide d'une dizaine de pompes l'eau traitée est pompée vers le réservoir de stockage afin de la distribuer par l'ADE, tandis que le rejet de saumure sera évacué par un émissaire marin pénétrant jusqu'à 1000m dans la mer dans le but d'assurer une meilleur dilution et d'éviter des conséquences indésirables pour l'environnement.(Atallah, 2014)



Figure 24 : photo des réservoirs de co₂(Atallah, 2014)

Chapitre IV : matériels et méthodes

Chapitre IV : matériels et méthodes

1 Station de prélèvement étudiée :

Notre travail a été réalisé au niveau de la station de dessalement de l'eau de mer de l'Algérie la wilaya de Tlemcen.

L'étude expérimentale consiste à effectuer des analyses physico-chimiques et microbiologiques d'eau de dessalement et de l'eau de mer.

Les analyses ont été effectuées dans le laboratoire de contrôle de la station

2 Echantillonnage et mode de prélèvement :

La station est équipée de deux points de prélèvement d'échantillons :

- Au niveau de la prise d'eau de mer.
- Au niveau du réservoir de l'eau traitée.
- le déversement des eaux rejetées

Pour les analyses physico-chimiques le prélèvement a été effectué selon les étapes suivantes :

- Préparation de deux flacons propres en plastique d'un litre pour l'échantillonnage.
- Ouvrir la vanne d'échantillonnage et permettre à l'eau de s'écouler pendant au moins 2 minutes avant la collection
- Rinçage du flacon d'échantillonnage au moins deux fois avec de l'eau traitée.
- Remplir chaque flacon lentement avec un faible débit pour éviter les turbulences et la formation des bulles d'air.
- Fermer le flacon et s'assurer qu'il n'y a pas de vide au-dessus de l'échantillon.
- Étiquetages des flacons d'échantillonnage en déterminant le point de prélèvement, la date et l'heure.
- La détermination de la plupart des paramètres physico-chimique a été effectuée immédiatement, dans le Cas contraire les échantillons ont été conservés dans des conditions appropriées.

Pour les analyses microbiologiques, les échantillons ont été prélevés dans des flacons stérilisés en verre et transporté dans une glacière à une température maintenue entre 1 et 4°C afin d'éviter la multiplication des germes dans l'eau.

3 Détermination des paramètres physico-chimiques :

3.1 Paramètres organoleptiques :

Les paramètres organoleptiques mesurés dans le laboratoire de la station de dessalement sont la couleur, l'odeur, la saveur et la turbidité. Ces différents caractères doivent être appréciés au moment du prélèvement.

3.1.1 Evaluation de la couleur par le colorimètre :

➤ Principe :

La couleur a été évaluée par des tubes à colorimètre et comparée avec une solution de référence de platine-cobalt (Pt /Co).

➤ Matériels utilisés :

- L'eau ultra pure.
- Colorimètre HACH DR 890.
- Cuvette en verre (25 ml).

➤ Mode opératoire :

- Rincer la cuvette avec l'eau ultra pure et la remplir avec 25 ml de l'eau ultra pure (le blanc).
- Placer le blanc dans le colorimètre et appuyer sur le zéro.
- Rincer la cuvette avec l'eau ultra pure et la remplir avec 25 ml de l'eau à analyser.
- Placer la cuvette qui contient l'échantillon dans le colorimètre et appuyer sur READ.
- Rincer les cuvettes

- ###### **➤ Expression des résultats :**
- La lecture se fera directement sur l'écran de l'appareil et le résultat de la couleur apparait avec des unités de platine-cobalt (Pt/Co).

3.1.2 Evaluation de l'odeur et de la saveur :

- L'odeur a été évaluée par simple sensation dans le lieu de prélèvement.
- La saveur a été évaluée par dégustation de l'eau au point de prélèvement.

3.1.3 Mesure de la turbidité :

➤ **Matériel utilisé :**

- Cuvette.
- Turbidimètre.
- Eau ultra pure.
- Solutions d'étalons (800NTU .100NTU. 20NTU. 0,02NTU).

➤ **Mode opératoire :**

A l'aide d'un turbidimètre la mesure de la turbidité est effectuée selon les étapes suivantes :

- Calibrer le turbidimètre avec les solutions d'étalons (800NTU. 100NTU. 20NTU. 0,02NTU).
- Vérifier la fiabilité d'étalonnage avec la mesure de la turbidité de l'un des solutions d'étalons.
- Agiter gentiment le flacon contient l'eau à analyser
- Rincer la cuvette avec l'eau ultra pure et la remplir avec 10 ml de l'eau à analyser.
- Nettoyer la cuvette et s'assurer que la surface de la cuvette est sèche et qu'elle ne contient aucune tâche.
- Placer la cuvette dans le turbidimètre et appuyer sur READ.
- La mesure est affichée sur l'écran en NTU de l'instrument.
- Rincer la cuvette.

- #### ➤ **Expression de résultats :**
- La lecture se fait directement sur l'écran de l'appareil ; la turbidité est exprimée en NTU



Figure 25 : photo d'un turbidimètre

3.2 Paramètres physico-chimiques :

3.2.1 Température :

➤ Principe :

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. Ce paramètre doit être mesuré ou apprécié au moment du prélèvement. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique

➤ Mode opératoire :

Plonger l'électrode dans l'eau à analyser et lire la valeur de la température avec le thermomètre intégré.

3.2.2 Mesure de PH :

La mesure de potentiel hydrogène se fait par un pH-mètre selon les étapes suivantes :

- Allumer et Calibrer le pH-mètre avec les solutions tampons (pH=4, pH=7 et de pH=10), vérifier la calibration du pH-mètre avec le standard pH=7 $\pm$ 0.5%.

- Rincer l'électrode en verre avec l'eau à analyser et la tremper dans un bêcher de 100ml rempli d'eau à analyser.
- Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation et éviter les bulles d'air pour ne pas fausser le résultat.
- Puis noter la valeur de pH ainsi que celle de la température.
- Pour la maintenance de l'électrode rincer le après chaque mesure avec de l'eau ultra pure de $0.05 \mu\text{S}/\text{cm}$ et chlorure de potassium.



Figure 26 : photo d'un ph mètre

3.2.3 Mesure de la conductivité :

Cette mesure se fait à l'aide d'un conductimètre de la manière suivante :

- Allumer l'appareil ;
- Calibrer le conductimètre avec du chlorure de potassium (KCL) (solution standard $180.0 \pm 2\% \mu\text{S}/\text{cm}$).
- Rincer l'électrode avec l'eau à analyser et la tremper dans un bêcher de 100ml rempli avec de l'eau à analyser.
- Noter la valeur de la conductivité en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
- Pour la maintenance de l'appareil rincer l'électrode après chaque mesure avec de l'eau ultra pure de $0.05\mu\text{S}/\text{cm}$ et avec de l'acide chlorhydrique HCl à une concentration de 1%.



Figure 27 : photo d'un conductimètre

3.2.4 Détermination de la dureté totale par titrimétrie à l'EDTA :

➤ Principe :

Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés en complexe de type chélate par le sel disodique et de l'acide éthylène diamine tétracétique à pH égal à 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir d'ériochrome T (NET).

Le titre hydrotimétrique détermine la concentration en sel de calcium et de magnésium dissouts.

➤ Réactifs utilisés :

- Solution EDTA (10mmol/l)
- Solution de noir d'ériochrome à 5% (indicateur coloré)
- Solution tampon d'ammonium à pH=10

➤ **Mode opératoire :**

Introduire 50ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250ml et ajouter 4 ml de solution tampon et trois (03) gouttes de solution de noir d'ériochrome. La solution se colore en rouge foncé ou violet, le pH doit être égal à 10. En maintenant une agitation, verser la solution d'EDTA rapidement au début puis ne goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu. Vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA.

➤ **Expression des résultats :**

La concentration totale en calcium et magnésium, exprimée en milligramme par litre, est donnée par l'expression suivante :

$$100 \times \frac{C \times V_1}{V_2}$$

C = Concentration en milliéquivalent par litre de la solution d'EDTA

V1 = Volume en ml de la solution EDTA.

V2 = Volume de l'échantillon en ml.

3.2.5 Salinité :

➤ **Principe :**

La salinité de l'eau est représentée par la masse de sel dissoute dans une masse donnée de solution et exprimé en gramme de sel par kilogramme de l'eau (solution).

La mesure de la salinité in situ a été effectuée à l'aide d'un salinomètre avec une précision de +ou- 0,1%

3.2.6 Sels Dissous Totaux(TDS) :

Cette valeur est importante puisqu'il en découle une valeur de pression osmotique, et donc une valeur de pression d'alimentation nécessaire pour l'alimentation des osmoseurs.

Méthode pour approcher les valeurs des sels dissous totaux à partir de la conductivité :

La conductivité dépend directement de la minéralisation de l'eau.

La relation suivante donne la valeur des sels dissous totaux à partir de la conductivité :

TDS (mg /l) = K .conductivité (us /cm) à 25°C ou le coefficient K dépend du type d'eau (eau de mer, concentrât). En première approximation :

- $K = 0,70$ pour l'eau de mer
- $K = 0,75$ pour le concentrât

3.2.7 Oxygène dissous :

➤ Principe :

L'oxygène toujours présent dans l'eau, n'est pas un élément constitutif. Sa solubilité est fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité

La teneur de l'oxygène dans l'eau dépasse rarement 10 mg/l. Elle est de fonction de l'origine de l'eau : les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation.

- #### ➤ Mode opératoire :
- Plonger l'électrode dans l'eau à analyser et lire la valeur de l'Oxygène dissous avec un Oxymètre



Figure 28 : photo d'un oxymètre

3.2.8 DOSAGE DE L'AMMONIUM :

➤ PRINCIPE :

Mesurage spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitrosopentacyanoferrate (3) de sodium (nitroprussiate de sodium).

3.2.9 DOSAGE DE NITRITE [NO₂-] :

➤ Principe :

Les ions nitrites réagissent en milieu acide (PH=1,9) avec la sulfamilade en formant sel de di-azonium (diazotation) qui forme avec le N-(1-naphtyl)-éthylènediamine-dichlorohydraté un colorant azoïque rouge.

3.2.10 DOSAGE DE SULFATE (SO₄-2) :

➤ PRINCIPE :

En générale, les sulfates sont rencontrés sous forme de sulfates magnésiens ou calciques dans les eaux dures à forte concentration ; ils peuvent provoquer des troubles gastro-intestinaux, ils peuvent aussi conférer à l'eau un goût désagréable.



Figure 29 : photo d'un spectrophotomètre

3.2.11 DOSSAGE DES CHLORURE par la méthode de Mohr :

➤ PRINCIPE :

Réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ion argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromate qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9,5 afin de permettre la précipitation.

3.2.12 Dosage simultané du calcium et du magnésium :

• Dosage du calcium Ca²⁺ :

➤ PRINCIPE :

Titration des ions calcium en solution aqueuse de sel di sodique d'EDTA à un pH compris entre 12 et 13. Le murexide qui forme un complexe avec le calcium, est utilisé comme indicateur coloré.

Le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'interfère pas lors du dosage.

- **Dosage du Magnésium Mg^{2+} :**

- **Principe :**

Comme le calcium, c'est un élément indispensable pour la croissance, il est présent sous forme de carbonates ou de bicarbonates.

Il est très présent dans l'eau souvent à de forte concentration. Il est en outre un élément déterminant de la dureté de l'eau, il confère à l'eau un goût désagréable.

A partir des analyses du TH et de calcium, on peut calculer le magnésium :

$$\text{Teneur } Mg^{2+} \text{ (mg/l)} = [(\text{TH (mg/l)} - (\text{teneur } Ca^{2+} \text{ (mg/l)} \times 2,5))] \times 0,243.$$

3.2.13 Titre alcalimétrique (T.A)

Permet de connaître la teneur en hydroxyde (OH^-), la moitié de la teneur en carbonates CO_3^{--} —Et un tiers environ des phosphates présents.

3.2.14 Titre alcalimétrique complet (TAC)

Correspond à la teneur en ions OH^- , $CO_3^{--}HCO_3^-$. Pour des PH inférieures à 8.3, la teneur en ions OH^- et CO_3^{--} est négligeable (T.A=0) dans ce cas la mesure du TAC correspond au dosage des bicarbonates seuls

Les bicarbonates sont dosés par un acide fort en présence d'un indicateur coloré.



Figure 30 : photo de la burette

3.2.15 Matières en suspension :

La teneur et la composition minérale et organique des matières en suspension dans les eaux sont très variables selon les cours d'eau ; elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, des travaux, des rejets, etc.

Des teneurs élevées peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique.

Les normes en vigueur préconise que les matières en suspension doivent être absentes dans l'eau destinée à la consommation humaine.

4 Analyse microbiologique :

Les analyses microbiologiques habituellement effectuées sur une eau destinée à la consommation humaine sont basées sur la recherche et le dénombrement des germes suivants :

- Dénombrement des germes totaux.
- Recherche des streptocoques fécaux.
- Recherche des coliformes totaux et fécaux..
- Dénombrement des clostridium sulfite réducteurs.

4.1 Dénombrement des germes totaux :

Le dénombrement des germes totaux consiste en une estimation du nombre des germes totaux dans l'eau.

➤ **Milieu de culture :** Gélose glucosée tryptonée à l'extrait de levure (TGEA).

➤ **Mode opératoire :**

- Le milieu gélosé TGEA est fondu dans un bain marie à 100°C puis refroidi à environ 40°C.
- Verser 1ml d'eau à analyser dans deux boites de pétri.
- Ajouter 15 ml de TGEA fondu et refroidi à environ 40°C.
- Mélanger avec précaution par rotation.
- Laisser la gélose se solidifier.
- Incuber une boite à 22°C pendant 72h et la deuxième à 37°C pendant 24h.

➤ **Expression des résultats :**

Les résultats sont exprimés en nombre des UFC/ ml (unités formant une colonie).

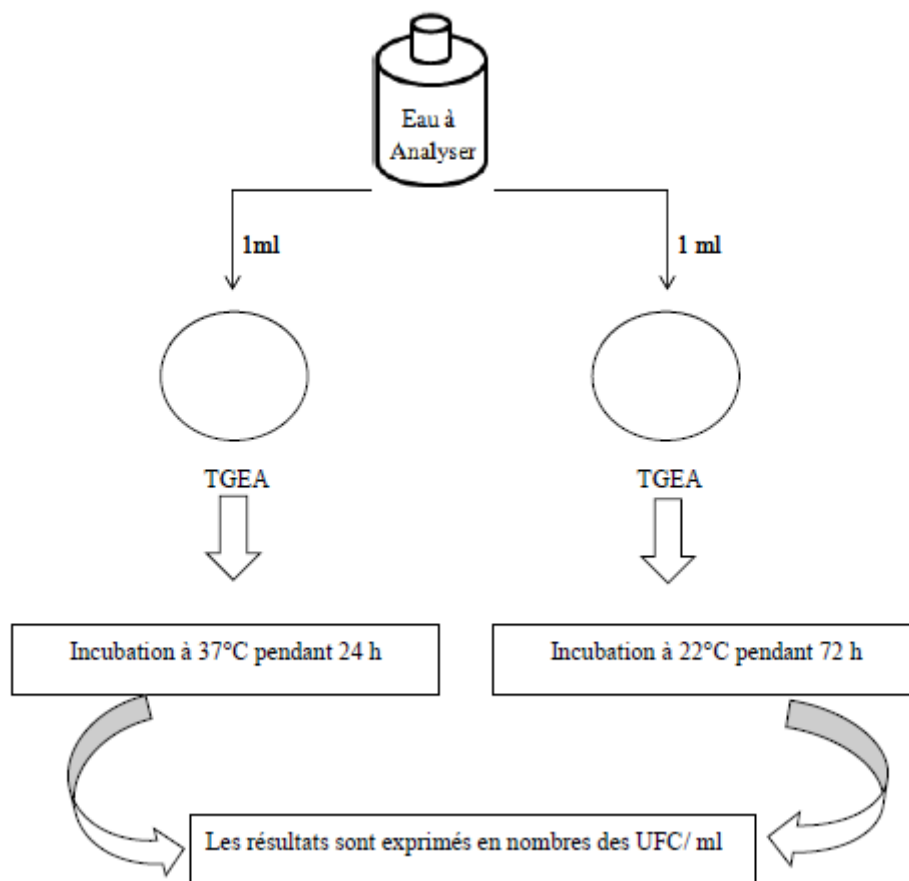


Figure 31 : recherche et dénombrement des germes totaux

4.2 Recherche des coliformes totaux :

La colométrie consiste à déceler et à dénombrer les germes coliformes et parmi lesquels les coliformes fécaux.

Elle compte deux temps :

- La recherche présomptive des coliformes.
- La recherche confirmative des coliformes fécaux.

➤ Milieux de culture et réactifs :

- Bouillons lactose au pourpre de bromocrésol (BCPL) à double concentration(D/C) et simple concentration(S/C).
- Milieu de confirmation Schubert muni d'une cloche de durham.
- Réactif de Kovac pour la recherche d'indole.
- Table NPP.

4.2.1 Test présomptif de la présence ou l'absence des coliformes :

➤ Mode opératoire :

Il est effectué en utilisant le bouillon lactose au pourpre de bromocrésol. Tous les tubes sont munis de cloches de durham pour déceler le dégagement éventuel de gaz dans le milieu.

➤ Ensemencement :

On utilise :

- Un flacon contenant 50ml de BCPL (D/C) avec 50ml d'eau à analyser.
- 5 tubes de 10ml de bouillon BCPL à double concentration avec 10 ml d'eau à analyser.
- 5 tubes de 10ml de bouillon BCPL à simple concentration avec 1ml d'eau à analyser.
- L'incubation se fait à 37°C ; la cloche ne devant pas contenir de gaz au départ.

➤ Lecture :

- La lecture se fait 48h après l'incubation.
- Tous les tubes présentant un aspect trouble de couleur jaune avec du gaz dans la cloche sont considérés comme positif notés (+) c'est-à-dire qu'ils renferment des coliformes totaux.

➤ Expression de résultats :

On note le nombre de tubes positifs dans chaque série et se reporte à la table NPP pour obtenir le nombre de coliformes totaux contenus dans 100 ml.

4.2.2 Test confirmatif :

➤ Mode d'opératoire :

- A partir de chaque tube BCPL positif (+) pour la recherche de coliformes totaux, ensemencer 2 à 3 gouttes dans un tube de milieu indole mannitol (milieu de Schubert) muni d'une cloche de Durham
- Incuber à 44°C pendant 24h.
- Ajouter 2 à 3 gouttes de réactif de Kovac aux tubes contenant le bouillon de Schubert avec la cloche de durham positif (+).

➤ **La lecture :**

Tous les tubes présentant une réaction indole positive (anneau rouge en surface) sont considérés comme positifs (+).

➤ **Expression des résultats :**

Le dénombrement des coliformes fécaux s'effectue de la même manière que celui des coliformes totaux et les résultats sont exprimés dans 100ml d'eau à analyser.

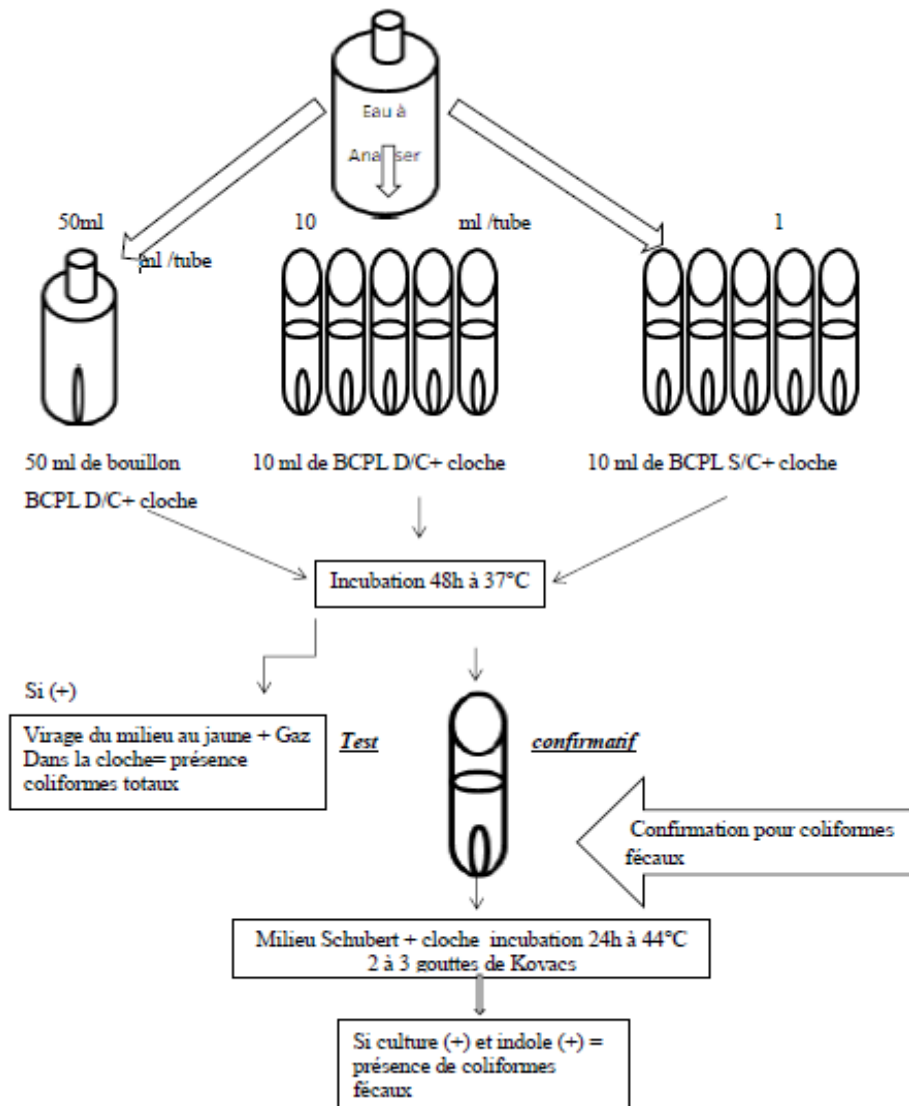


Figure 32 : recherche et dénombrement des coliformes dans l'eau

4.3 Recherche des Streptocoques fécaux :

➤ Principe :

Rechercher et dénombrer les streptocoques fécaux considérés comme des témoins de pollution fécale. Elle compte deux temps :

- La recherche présomptive du streptocoque.
- La recherche confirmative des streptocoques fécaux.

➤ Milieu de culture :

- Milieu de Roth à D/C.
- Milieu de Roth à S/C.
- Milieu de litsky.

➤ Mode opératoire :

-1 ère étape : Test présomptif

La recherche se fait en bouillon à l'azide de sodium (bouillon de Rothe) simple et double concentration.

On ensemence :

- 1 flacon contenant 50ml de bouillon de Rothe double concentration avec 50 ml d'eau.
- 5 tubes de 10 ml de bouillon de Rothe double concentration avec 10 ml d'eau.
- 5 tubes de 10 ml de bouillon de Rothe double concentration avec 1 ml d'eau.
- Incubation pendant 48h à 37°C.

➤ Lecture :

- Les tubes présentant une louche microbienne sont considérés comme susceptibles de contenir un streptocoque fécal.
- Le test confirmatif est obligatoire.

-2ème étape : Test confirmatif

On ensemence :

- 2 à 3 gouttes dans un bouillon à l'éthyle violet et azide de sodium (EVA ou litsky), à partir de chaque tube positif (+).
- Incubation pendant 24h à 37°C.

➤ La lecture :

- Tous les tubes présentant une culture et un jaunissement sont considérés comme positifs (+).
- On note généralement la présence dans le fond des tubes d'une pastille violette.

➤ Expression des résultats :

Noter le nombre de tubes positifs (+) dans chaque série et se reporter aux tables du NPP pour connaître le nombre de streptocoques fécaux contenus dans 100ml d'eau.

Test présumatif

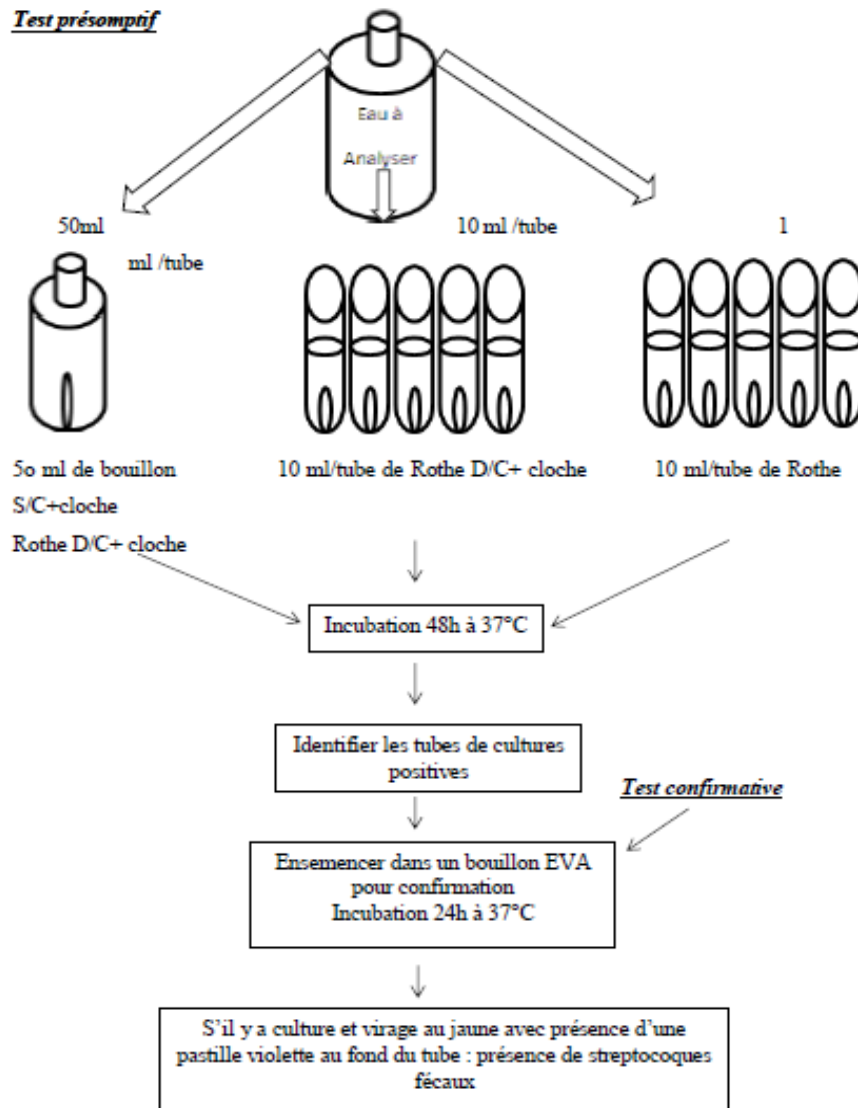


Figure 33 : recherche et dénombrement des streptocoques fécaux dans l'eau

4.4 Dénombrement des *Clostridium* sulfito réducteurs :

➤ **Principe :**

Après la destruction des formes végétatives par chauffage à 80°C, l'échantillon est incorporé dans un milieu fondu additionné de sulfite de sodium et d'alun de fer. Après solidification et incubation, la présence de germes sulfito- réducteurs se traduisent par un halo noir de sulfure de fer autour des colonies.

➤ **Milieu de culture :**

- Gélose viande foie.
- Solution d'alun de fer.

➤ **Mode opératoire :**

- On introduit dans 4 tubes à essai 20ml d'eau à analyser (5 ml dans chaque tube).
- On place les tubes dans un bain marie à 80°C pendant 5 minutes.
- On refroidit à 45°C, on ajoute 2 gouttes d'alun de fer et quatre gouttes des sulfites de sodium puis on remplit les 4 tubes avec 15 ml de gélose viande foie.
- On incube à 37 °C et on procède à une première lecture après 24h, une deuxième après 48h.
- Les clostridium sulfito-réducteurs réduisent le sulfite de sodium produisant des colonies entourées d'un halo noir dû à la formation de sulfure de fer.

➤ **Expression des résultats :**

On exprime les résultats en nombre de germes par millilitre.

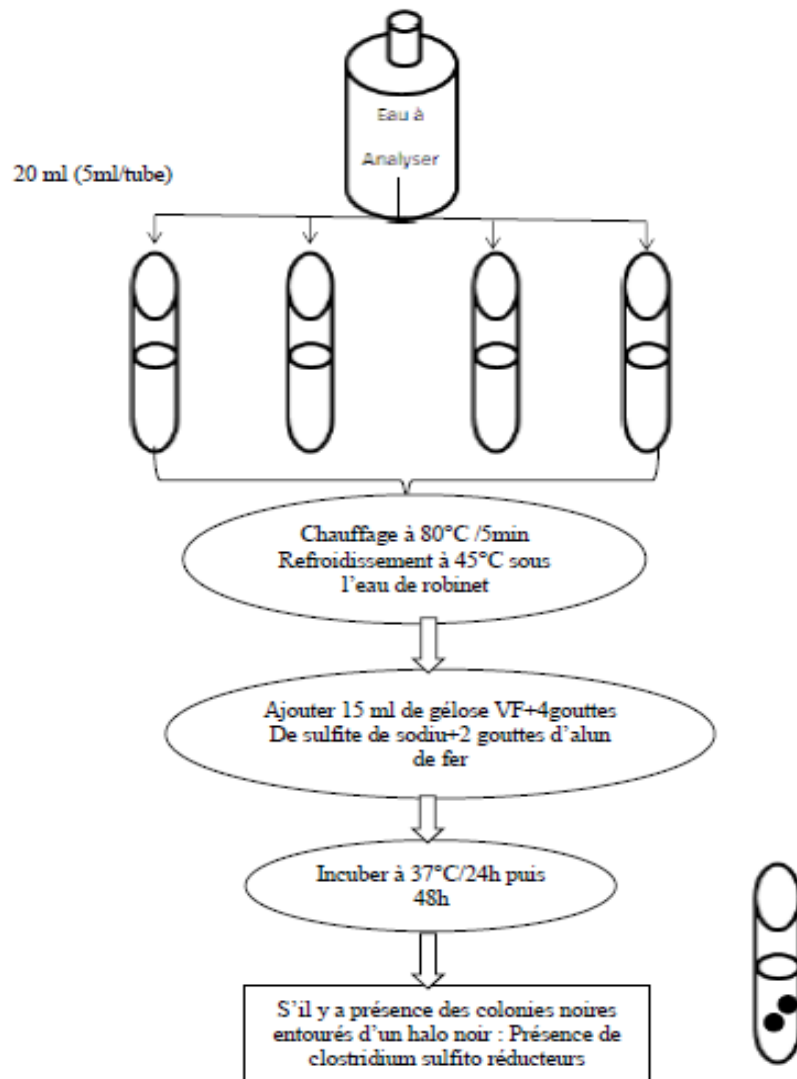


Figure 34 : recherche et dénombrement des clostridium sulfito-réducteurs

Chapitre V : Résultats et Discussion

Chapitre V : résultats et discussion :

Le travail que nous avons effectué durant les 3 mois de l'année pour le suivi du fonctionnement de la station de dessalement de Honaine. Nous avons observé in situ ; le déversement des eaux rejetées contenant de la saumure sur le pourtour de la station de la station .les différentes manipulation , nous ont permis la détermination des paramètre physico-chimiques et microbiologique différents étapes depuis l'eau brute de la mer ; en passant par le processus de dessalement sensu stricto jusqu'à l'eau de dessalé.

1 Résultats et interprétations des analyses microbiologiques de l'eau traitée :

Paramètre	Lieu de prélèvement			Unités	C.M.A (NA)	Méthodes
	S1	S2	S3			
Germes Aérobies à 37°	07	07	08	U.F.C /ml	10	Méthode d'incubation sur gélose NA763
Germes Aérobies à 22°C	23	22	24	U.F.C /ml	100	Méthode d'incubation sur gélose NA763
Coliformes Aérobies à37°C	02	02	02	U.F.C /100ml	<10	Méthode liquide NA764
Escherichia- Coli à 44°C	00	00	00	U.F.C /100ml	00	Méthode liquide NA764
Entérocoques	00	00	00	U.F.C /100ml	00	Méthode liquide NA765
Clostridiums Sul.réd	absence	absence	absence	Spore /20ml	00	Méthode en tubes profonds NF T 90-415

Tableau 5 : résultats des analyses microbiologiques

1.1 Interprétations des résultats microbiologiques :

Une eau destinée à l'alimentation humaine ne doit contenir aucun germe microbien pathogène. La contamination par les matières fécales est décelée par la présence d'Escherichia-coli, ou de Streptocoques fécaux.

La présence de germes tests de contamination fécale conduit à considérer l'eau comme bactériologiquement impure et menacée de pollution.

Nos analyses montrent que l'eau est de bonne qualité bactériologiques ce qui se traduit par une absence de germes test de contamination fécale. D'une part, ce résultat est conforme aux normes d'une eau potable destinée à la consommation humaine. D'autre part, il confirme qu'il y a une bonne désinfection c'est-à-dire une destruction des germes pathogènes.

Les analyses microbiologiques de l'eau dessalée des trois stations sont de bonne qualité microbiologique suivant les normes Algériennes en vigueur.

2 Résultats des analyses organoleptiques et physico-chimiques de l'eau traitée:

On a entrepris, en premier lieu, des analyses Organoleptique et physico-chimiques de l'eau traitée ou dessalée (tableau 6 et 7).les résultats des deux tableaux sont calculées en moyenne.

Paramètres	Lieu de prélèvement			Unité	C.M.A (NA)	Méthode
	S1	S2	S3			
Odeur	07	08	09	Indice dilution	05	Dilution_IE104
Gout	25	23	25	Indice dilution	05	Dilution_IE105
couleur	02	03	02	Pt-Co	24	Méthode liquide NA764

Tableau 6 : résultats des analyses organoleptiques

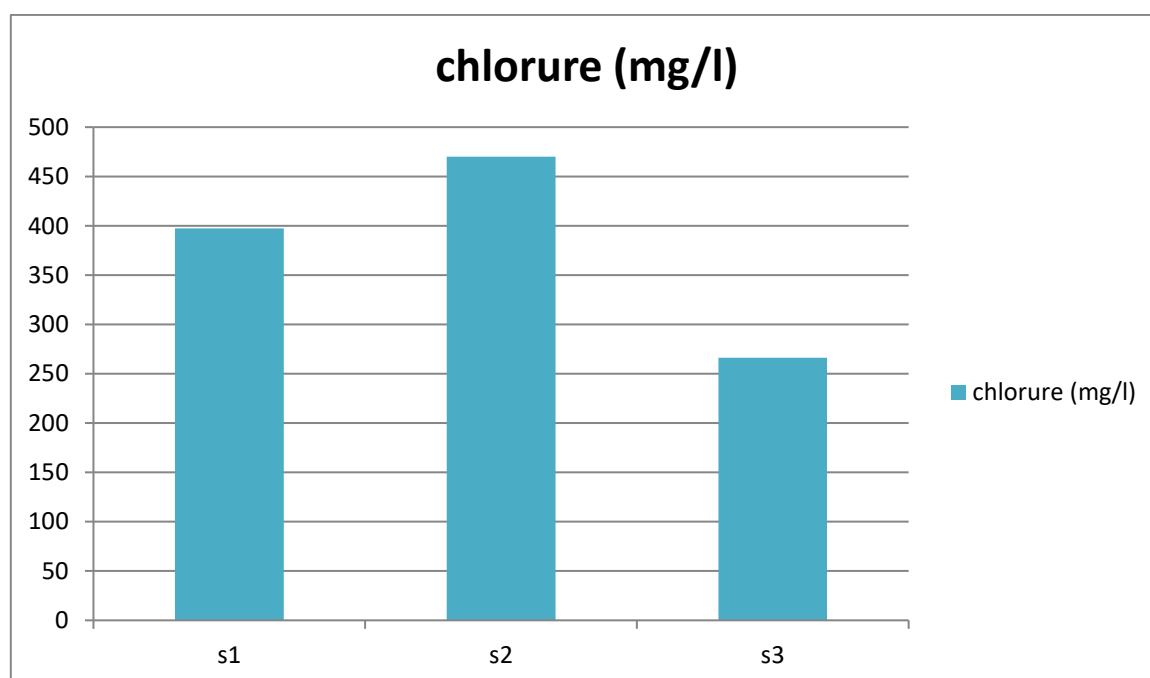
Paramètre	Lieu de prélèvement			Unité	C.M.A (NA)
	Fev	Mar	Avr		
Ph	7.86	7.87	7.55		6.5-8.5
Température	12.6	13.8	12.3	°C	<25°C
Conductivité	462	536	521	µS/cm	2000
Salinité	0.1	0.23	36.6	‰	1000
Sels dissous totaux	244.5	263	280.05	Mg/l	100
Oxygène dissout	7	7.12	6.96	Mg/l	8.5
Turbidité	1.32	0.647	1.72	NTU	5
Matières organiques	0.97	1.04	3.1	Mg d'O ₂ /l	3
Ortho phosphates	0.004	0	0.011	Mg/l	0.5
Ammonium	0	0	0.215	Mg/l	0.5
Nitrates	1.96	1.86	1.594	Mg/l	50
Nitrites	0	0.002	0.016	Mg/l	0.1
Sulfates	415	365.95	213.78	Mg/l	400
Chlorures	397.5	470.17	266.3	Mg/l	500
Dureté total	316	214	513	°F	50
Calcium	16.22	15.22	440.88	Mg/l	200
Magnésium	7.76	206	978.75	Mg/l	150
Titre alcal complet	8.3	8.9	15.1	°F	/
Bicarbonates	69.12	77.12	219.67	Mg/l	/
Fer total	0	0	0	Mg/l	0.3
Chrome Hexavalent	0	0	0.007	Mg/l	0.05
Chlore libre	0.2	0.1	0	Mg/l	/
Chlore combiné	0.1	0	0.1	Mg/l	/
Chlore total	0.3	0.1	0.1	Mg/l	/

Tableau 7 : résultats des analyses physico-chimiques

2.1 Chlorures (mg/l) :

Les chlorures sont très solubles dans l'eau, leurs éliminations sont difficiles et les méthodes classiques de traitement sont inefficaces. On signale un taux d'élimination de 87% dans le cas d'un dispositif de traitement basé sur l'absorption sur charbon actif granulaire et l'osmose inversée. Les concentrations de chlorure dans l'eau peuvent augmenter pendant le traitement si on utilise du chlore pour la désinfection et des sels de chlore. Les eaux destinées à la consommation humaine, ont une teneur en chlorure qui varie de 500 mg/l et à 600 mg/l. (Rodier et al., 2009)

Les résultats de nos analyses présentes des teneurs en chlorure qui varie entre 266,3 et 470.17 mg/l. Cette variation est due à l'étape de poste chloration qui enrichie également cette eau en chlorures.



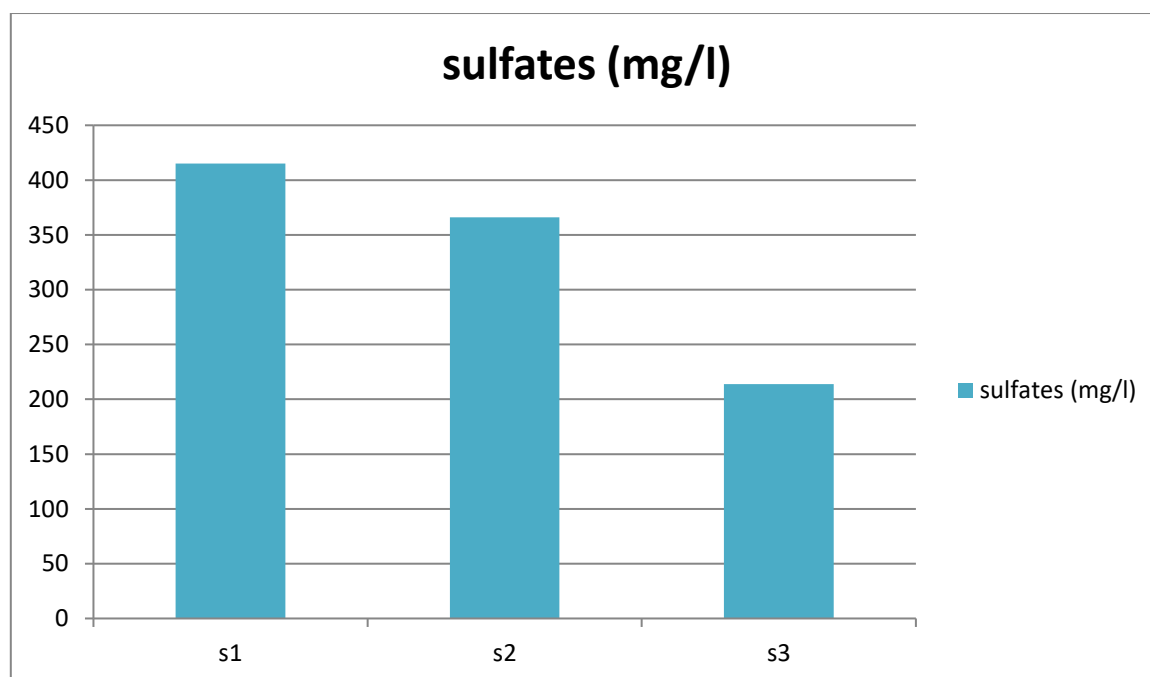
2.2 Sulfates (mg/l) :

L'eau destinée à la consommation humaine, en raison de problèmes particuliers susceptibles d'introduire une gêne pour le consommateur (goût, corrosion). L'OMS

recommande comme valeur limite 250/400 mg/l. Leur teneur élevée dans l'eau de boisson entraîne des nuisances d'ordre organoleptiques et sanitaires. En effet, ils provoquent des troubles gastro-intestinaux et peuvent donner un goût désagréable (Rodier et al., 2009)

Selon Monique et al (1984), la présence des sulfates résulte de l'oxydation de sulfures répandus dans les roches. Ce qui justifie la différence entre les résultats des trois stations.

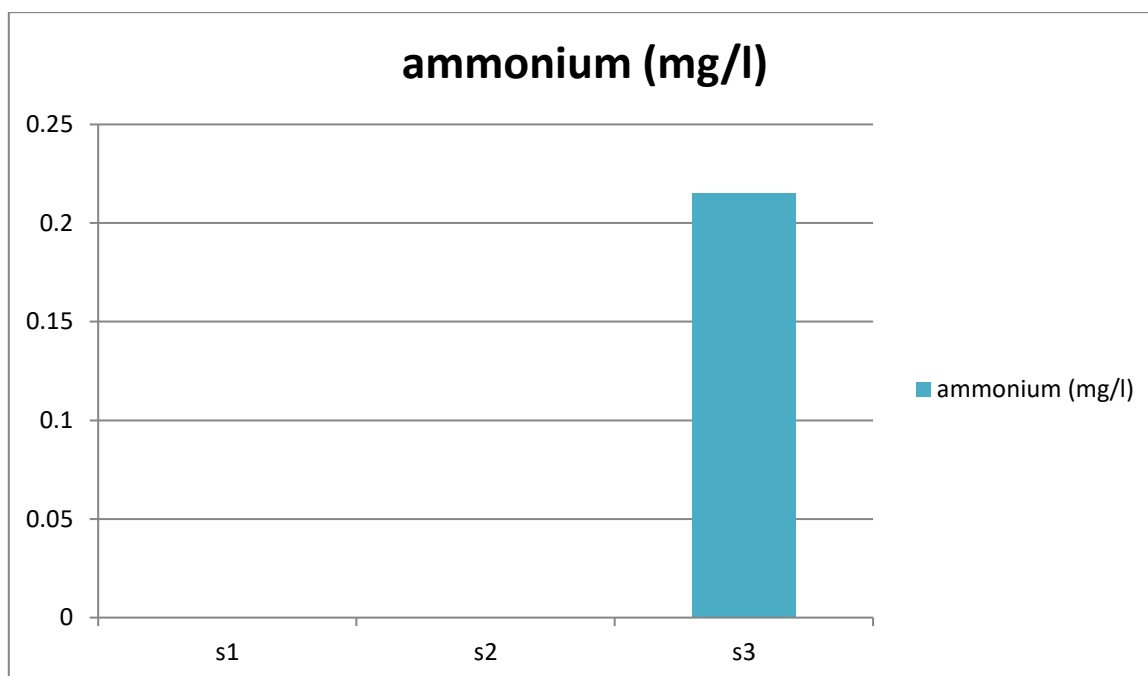
Notre eau à une teneur en sulfate qui varie entre 230.93 et 460 mg/l. Les teneurs élevées en Sulfates (213,78 à 415 mg/l) dépendant généralement de l'étape de dosage de réduction de chlore par le bisulfite de sodium qui enrichie également cette eau en sulfate.



2.3 Ammonium (mg/l) :

L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. On signale une élimination d'azote ammoniacal dans le cas d'un dispositif de traitement basé sur l'utilisation du chlore pour la désinfection (Rodier et al., 2009)

En ce qui concerne les eaux destinées à la consommation humaine, la teneur en ammonium était inférieure à 0.5 mg/l .Nos analyses, montrent que notre eau à un teneur en ammonium qui varie entre 0 et 0.215 mg/l. Ceci s'explique par l'efficacité de traitement du chlore.



2.4 Matière organique (mg/l) :

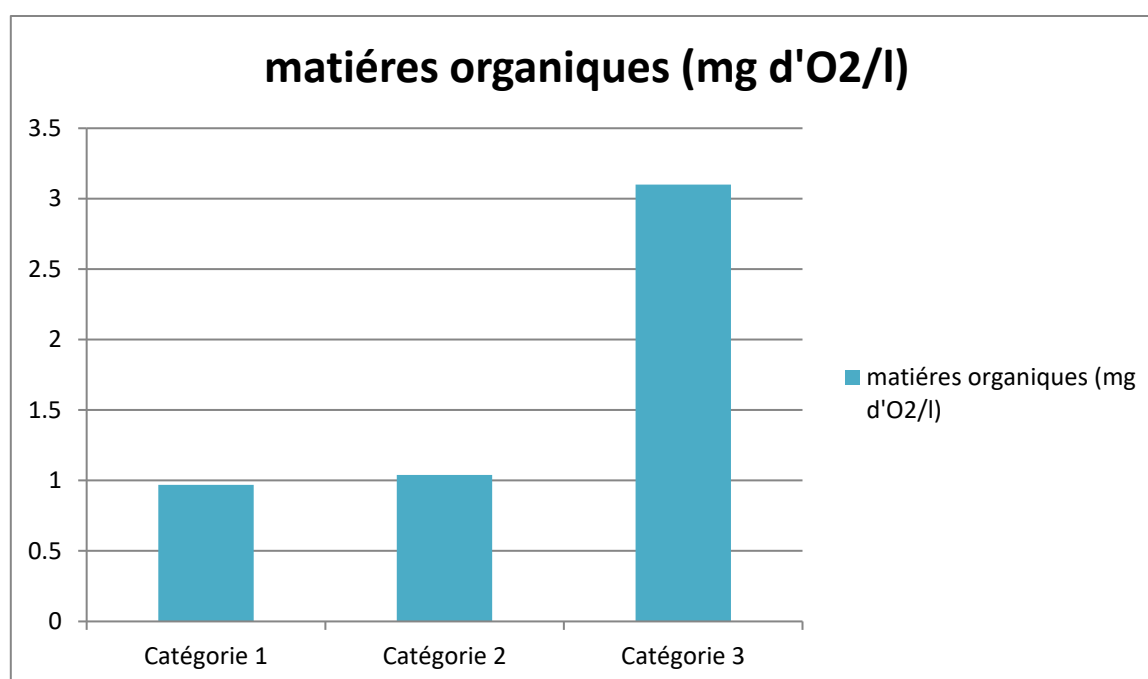
Les matières organiques susceptibles d'être rencontrées dans les eaux, sont constituées par des produits de décomposition d'origine animale ou végétale, élaborés sous l'influence des microorganismes.

Ces matières organiques sont responsables de l'apparition de mauvais goûts qui pourront être exacerbés par le traitement de chloration.

Les eaux très pures ont généralement une consommation en oxygène inférieur à 1 mg/l.

L'OMS et la législation algérienne recommande une teneur en matière organique de 5 mg/l. D'une façon générale, une teneur élevée en matière organique devra toujours faire suspecter une contamination microbienne.

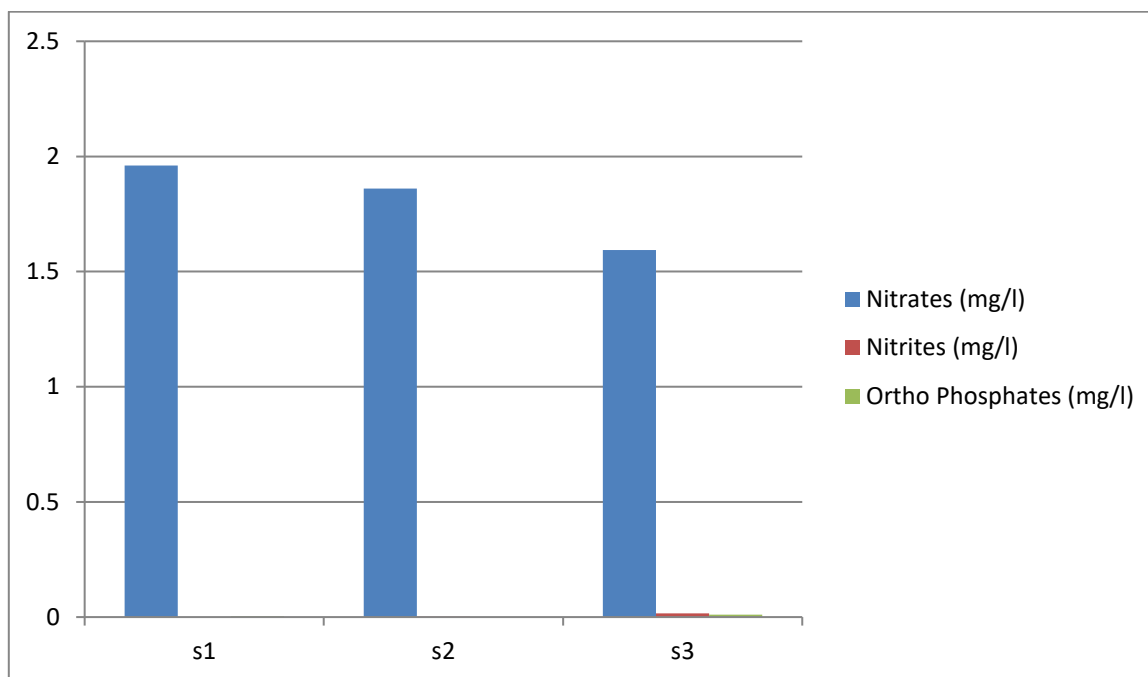
Les résultats d'analyse de la matière organique accordent des valeurs aux dessous de ceux citées aux normes algériennes et celles de l'OMS. La variation est entre 0,97 et 3,1 mg/l, ce qui conduit à une eau non mauvaise vis-à-vis de la matière organique.



2.5 Nitrates, Nitrite et Ortho Phosphate (mg/l) :

Les Nitrates ont une teneur qui varie entre 1,594 et 1,96, et les nitrites ont des valeurs presque nulles, qui varient entre 0 et 0,016.

Pour les Ortho-Phosphate présente également des valeurs très faible, entre 0,004 et 0,011.



2.6 Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer:

Les analyses physico-chimiques de l'eau de mer effectuées, au cours de notre étude, sont consignées dans le tableau 8

Paramètre	Eau de mer	OBS
Dureté total	8200 mg/l	
Calcium	1580 mg/l	
Magnésium	5700 mg/l	
Nitrates	44 mg/l	
Nitrites	0.8×33 mg/l	
Sulfates	3500 mg/l	
Carbonates	00 mg/l	Exprime en CaCO_3
Bicarbonates	50 mg/l	
Phosphates	1.2 mg/l	
NaCl	10500 mg/l	Exprime en NaCl
Conductivité	55600 mg/l	
Taux de salinité (TDS)	20200 mg/l	
Ph	7.5	
M.O	30.08 mg/l	

Tableau 8 : échantillon de l'eau de mer

3 Interprétation des résultats :

- **Concernant l'eau de mer :**

On constate une élévation des paramètres énumérés ci-dessous :

- **Le pH :** est aussi inférieur à 8,5.
- **T° :** toujours inférieur à 30 c° qui a une grande importance car elle influe fortement sur la performance des membranes ;
 - A température base (≤ 10 c°) l'eau devient moins visqueux et pour le dessaler il faut plus d'énergie.
 - A haute température (> 30 c°) la qualité de l'eau produite n'est pas de bonne qualité.
- **Les chlorures :**

On pense qu'ils proviennent des différentes sources telles les altérations des roches, et des pollutions liées aux rejets des eaux usées.

- **Le sodium :**

Est dissout lors des pluies et que contenues dans les roches des terres émergées.

- La somme hydrogénocarbonate varie légèrement du fait de l'implication du carbone dans les processus biologique.
- Les sels de potassium sont peu présents et légèrement moins solubles que les sels de sodium.

En plus, on sait que le potassium est utilisé par les plantes marines pour leur croissance, par contre les ions sodium sont peu ou pas utilisés.

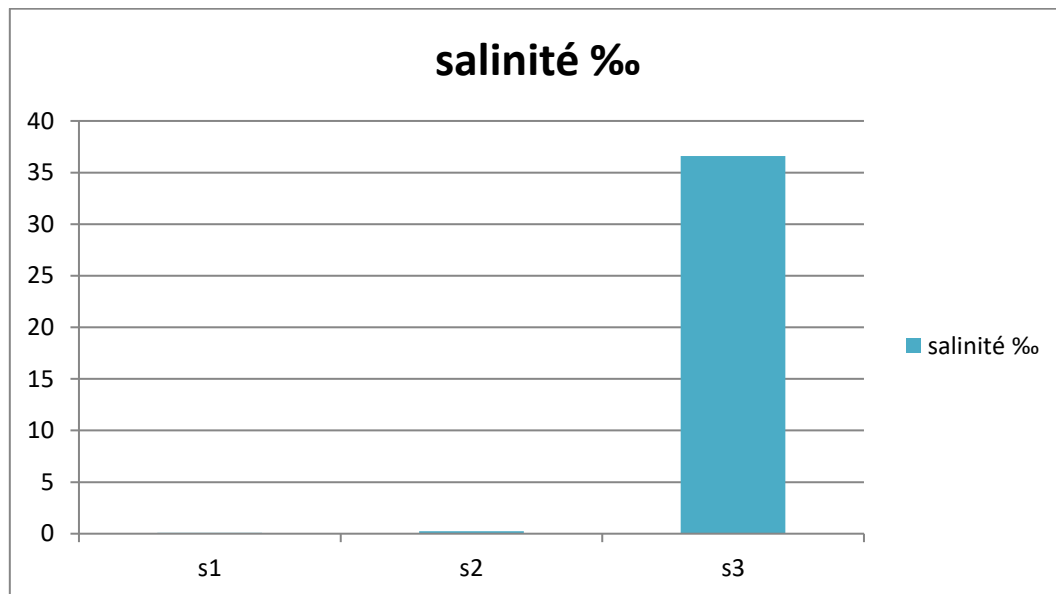
- **Conductivité et salinité :**

Elles sont élevées car comme nous savons que ces paramètres représentent la minéralisation globale d'une eau, et que l'eau de mer est riche en sels minéraux.

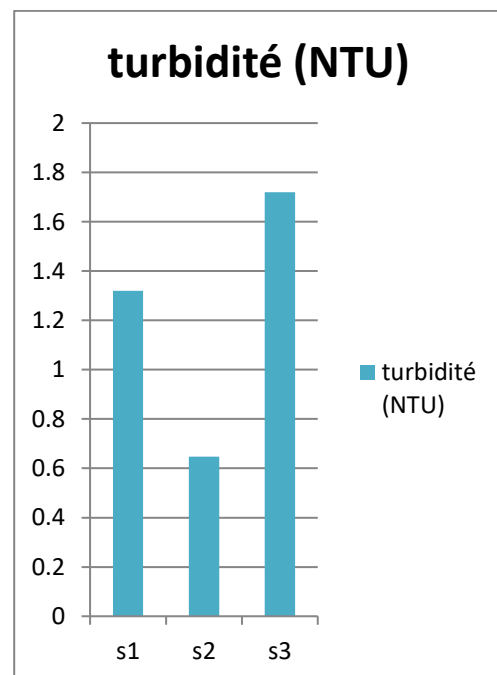
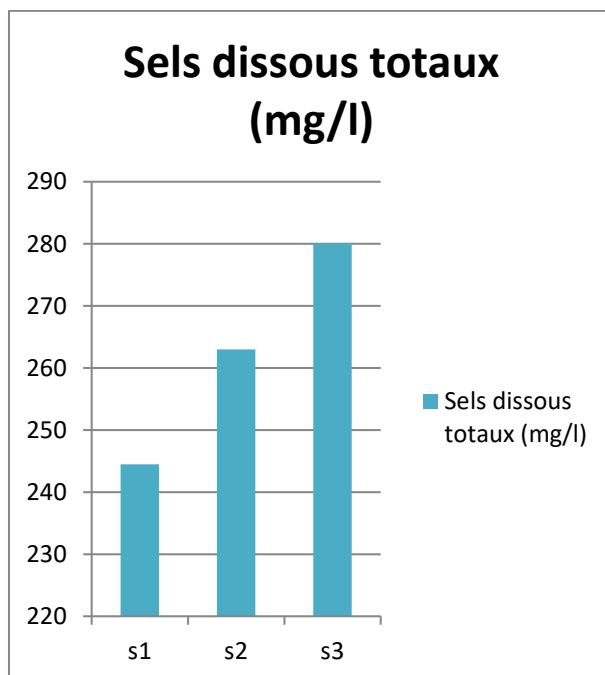
- **Pour les rejets d'eau saumâtre :**

Le taux de tous les éléments minéraux est plus élevé par rapport aux taux de l'autre échantillon témoins.

La salinité est plus élevée, dû probablement à la rétention des différents sels par les membranes d'osmose inverse, ce qui peut influencer directement sur la conductivité et la minéralisation de ces effluents.



On a remarqué aussi un taux élevé des différents sels, et une augmentation de la turbidité qui est très significative à celles de l'eau de mer qui peut être interprétée à la présence des matières en suspension ainsi qu'un colmatage des membranes.



Le taux de nitrates et nitrites reste toujours avec des valeurs minimales, ce qui peut expliquer l'absence de conséquences néfastes sur l'écosystème marin.

Les saumures rejetées ont une température ambiante qui ne dépasse guère 25 °C.

A noter aussi, le taux des chlorures du vraisemblablement à l'utilisation de l'acide chlorhydrique pendant le prétraitement, ainsi qu'à son absence dans l'eau de mer.

4 Recommandations :

Notre étude a montré que les points noirs de cette récente technologie un peu maîtrisée sont les rejets de la station qui dépassent largement les normes dans la quasi-totalité des cas qui représentent un impact non négligeable sur l'écosystème aquatique.

Le principal impact associé aux procédés de dessalement provient de la production de saumure : solution à forte teneur en sel qui résulte de la concentration de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre dessalé.

Il convient de traiter avec précaution la problématique qui est liée à ces résidus car le volume de saumure produit par litre d'eau salée, ainsi que sa teneur en sels, dépendra de la technique de dessalement employée et de la composition saline de l'eau traitée.

Habituellement, le rejet des saumures résultant du dessalement de l'eau marine s'effectue dans la mer, soit directement près de la côte, soit au moyen d'un émissaire sous-marin. L'impact des saumures ainsi déversées dans la mer sur le système récepteur n'est guère connu avec précision encore qu'à l'heure actuelle de nombreuses études sont en cours.

Le dessalement de l'eau de mer a inévitablement un impact à la fois positif et à la fois négatif sur l'environnement.

L'impact environnemental causé par la station de dessalement est un impact visuel, dégradation paysagère, nuisance sonore au niveau paysagère, bruits, émission de gaz à effet de serre, dérivant de la consommation d'énergie et encore les rejets associés comme les eaux provenant du nettoyage (Filtre à sable, membranes et dépôts).

Dans le cas de l'osmose inverse le procédé de dessalement produit d'autre rejet que les saumures.

Il s'agit des :

- produits de nettoyage des membranes (détergents biodégradables)
- eaux de lavage des filtres à sable.

- additifs chimique antisalissure on anticorrosion.

Le dessalement de l'eau de mer a un impact sur la qualité de l'eau de baignade et sur la santé humaine.

Afin d'éviter l'impact de ces rejets, il faut prévoir une installation de traitement des eaux.

Les stations de dessalement consomment une grande quantité d'énergie, qu'il s'agisse d'énergie électrique ou thermique.

Les émissions de Co, No et autre composés volatils résultant de la combustion de ces centrales thermiques, sont nécessairement associée à la station de dessalement.

De même il faut considérer l'impact paysagère cause tant par les installations elles même que par les conduites nécessaires.

Les règlements en la matière doivent considérer les caractéristiques de l'eau réceptrice et celles du rejet.

Il est conseillé que les rejets de saumures se fait dans des zones possédant un hydrodynamisme moyen ou élevé, qui facilité la dispersion du sel. Il convient d'éviter les changements importants de régime hydrodynamique qui risquent d'affecter les processus de sédimentations et essayer de trouver une eau d'origine de bonne qualité à fin de minimiser le traitement chimique ultérieur.

Il y a lieu d'effectuer des recherches sur les divers aspects liés à l'impact des saumures sur le littoral. Il est nécessaire d'étudier l'impact de chaque élément du rejet séparément ainsi que les éventuelles interactions. IL faut fixer des seuils de tolérance.

On estime que dans l'eau de mer, la plupart des organismes peuvent supporter des variations de salinité de 1 mg/l, ce qui suppose un écart de 3 % c'est-à-dire que pour des saumures ayant une salinité de 70000 mg/l, il serait nécessaire de réduire 35 fois cette teneur.

La décharge zéro de saumure s'obtient au moyen d'un procédé d'évaporation des concentrés produits qui permet d'obtenir des résidus secs. Cette technique nécessite une forte augmentation du capital d'investissement et de la consommation d'énergie.

Chapitre VI : Impacts de la station de dessalement

1 Indicateurs de suivi de l'impact environnemental des rejets de station de dessalement :

Le rejet à la mer de la saumure, du fait de sa salinité et de sa concentration en substances chimiques, peut avoir des impacts négatifs sur le milieu marin, spécialement sur les organismes benthoniques (lies au substrat) à caractère sténohalin (ne tolérant pas de brusques variations de la salinité).

Certains critères nécessaires doivent être pris en considération pour apprécier les impacts :

1.1 Température :

Le procédé de dessalement peut augmenter la température des rejets saumure au-dessus de celle de l'eau de mer ambiante c'est notamment dans le cas de procédés de distillation. Cependant, d'après la littérature il est souvent difficile de savoir si l'évaluation des plages de température a été basée sur des prédictions du modèle ou des mesures sur le terrain. L'usine de distillation chauffe l'eau d'ambient, une grande partie de cette chaleur est conservée dans la saumure au-dessus d'ambient, tandis que dans le cas d'Ol la température des rejets saumure est généralement environnant à celle de l'eau de mer.

A noter que selon certaine littérature le procédé d'Ol peut également induire une augmentation de la température et de la salinité. Les mesures sur le terrain de la température des saumures dans une usine d'Ol dans les îles Canaries étaient 2°C

Au-dessus de la température ambiante. D'autre étude de quelques usines d'Ol à signaler une augmentation de la température des rejets saumures de 3 à 9°C par rapport à la température d'eau d'alimentation.

1.2 Salinité :

L'osmose inverse produit des rejets saumure avec une salinité jusqu'à deux fois celle de mer. Cette augmentation de la salinité augmente par conséquent la densité de la saumure et si non dilué, la saumure stratifie au-dessous l'eau de mer moins dense.

1.3 pH :

Le processus de chloration de l'usine de dessalement peut légèrement réduire le pH du rejet saumure par rapport à l'eau de mer d'admission.

1.4 Oxygène dissous :

La réduction de l'oxygène dissous peut avoir un impact potentiel sur la vie marine (les rejets saumures issues des usines de distillation ont souvent réduit en oxygène dissous. Une réduction significative de l'oxygène dissous en raison de chauffage est peu

probable dans le cas d'usine d'Oï, car les températures ne sont que marginalement augmentées. L'utilisation de produits chimiques telle que le bisulfite de sodium pour empêcher la corrosion et éliminer le chlore résiduel dans l'Ol, pourrait réduire l'oxygène dissous dans les rejets saumures. La dilution rapide est susceptible de maintenir des niveaux de concentrations d'oxygène dissous dans les rejets.

1.5 Additifs antitartres :

Aucun impact direct lié à l'utilisation des produits antitartres et séquestrant n'a pu être mis en évidence à travers l'étude bibliographique que nous avons menée.

1.6 Anti-salissures :

Le chlore est un oxydant et un biocide efficace, très économique mais qui peut être toxique pour la vie marine même en concentration diluées. Le chlore réagit également avec les composés organiques dans l'eau de mer pour former d'autres composés halogénés tels que sous-produits organiques qui sont nocifs pour la vie marine. Il occasionne des effets biologiques par son action stérilisante intrinsèque et des effets chimiques en halogènes avec les constituants organiques de l'eau de mer.

1.7 Anti-mousses :

Les agents anti-mousses sont des détergents. Les détergents ont des effets nocifs sur les organismes en altérant le système membranaire intracellulaire. Les effets sur l'écosystème marin n'ont pas été étudiés, mais d'après la littérature elles pourraient être négligeables.

2 Impacts des rejets saumures sur les ressources marines :

Les effets négatifs potentiels des rejets d'usine de dessalement sur les ressources marines sont tempérés par les facteurs suivants :

2.1 Facteurs des rejets :

- ❖ Le volume total de la saumure étant libéré : Par exemple, le potentiel de dommages à l'environnement à partir de petites quantités des rejets de saumure peut différer considérablement des impacts potentiels associés à des quantités plus grandes des rejets. Les rejets de grandes quantités de la saumure concentrée exigent un examen plus approfondi des impacts potentiels sur l'environnement que celui des petits volumes.
- ❖ Les constituants de la saumure : Les constituants des rejets saumures peuvent avoir des effets négatifs sur les organismes marins des biocides, métaux de haute concentrations et faible teneur en oxygène. En cas de détection ces constituants doivent être enlevés ou neutralisés avant rejet.
- ❖ Le facteur de dilution de la saumure avant rejet : La forte concentration en sel dans le rejet ainsi que les fluctuations des taux de salinité peuvent tuer les organismes à proximité de l'émissaire qui ne peuvent tolérer ni

niveau élevé de salinité ni les fluctuations. En outre, les rejets d'usine sera plus dense que l'eau de mer et pourrait couler au fond ce qui pourrait causer les impacts négatifs pour les communautés benthiques.

- ❖ Les changements de la salinité : Peuvent aussi modifier les schémas de migration des poissons le long de la cote. Si certaines espèces de poissons sent un changement de la salinité ils peuvent éviter la zone de la panache et passer plus au large. Par conséquent, les poissons seraient forcés de nager sur une distance plus longue, ils quittent les zones de plus fortes concentrations en nourriture et ils augmentent l'exposition aux prédateurs. L'impact potentiel de cette nature est incertain en raison des connaissances limitées sur la migration le long de la cote et l'incertitude quant à la taille du panache.

2.2 Les effets des rejets :

Les effets de ces rejets sur le milieu marin, comme l'ont démontré de nombreuses études sont les suivants :

- ❖ Anoxie aux niveaux des fonds marins : La colonne d'eau se trouve divisée en deux, l'eau de mer constitue la couche supérieure et la saumure la couche inférieure. Dans des conditions de calme du milieu récepteur avec un faible renouvellement des algues, la présence d'espèces benthiques, consommatrices d'oxygène peut conduire à des périodes d'anoxie du fond marin.

Diminution de la lumière : La présence d'un fluide hyper salin modifie le coefficient de réflexion de la lumière filtrée, provoquant la formation d'un brouillard qui rend difficile le passage de la lumière, affectant ainsi la photosynthèse des espèces marines végétales. Cela s'accroît avec la turbulence provoquée par le rejet, principalement s'il est sous forme de jet. La Posidonie océanique et autres communautés benthiques requièrent beaucoup de lumière, ce qui implique de maintenir une haute transparence des eaux.

- ❖ Affectation des espèces marines : Une réduction significative était détectée dans les communautés des échinodermes (utilisés comme bioindicateurs pour leur sensibilité) près des zones de rejet : par exemple, effets négatifs sur les échinodermes *Paracentrotus lividus* et *Leptomyxys posidoniae*.

Certaines recherches indiquent que la mortalité de nombreuses flores marines et de la faune peut se produire à des concentrations de salinité supérieures à 40 g/l, avec des espèces d'algues particulièrement sensibles aux augmentations au-delà de cette limite. Toutefois les fonctions physiologiques (par exemple, la reproduction et la croissance) de nombreuses espèces peuvent être affaiblies à des concentrations beaucoup plus

faibles de la salinité que cela. Par conséquent, l'adoption d'une approche concentration conservatrice de la salinité d'environ 25g/l au-dessus des concentrations de fond (moyenne de 35g/l) peut entraîner des chroniques et des éventuels effets néfastes sur des espèces plus sensibles. Les impacts écologiques varient avec le site, la taille et la conception de l'usine de dessalement, ainsi que l'écologie et l'hydrodynamique de l'eau réceptrice.

- ❖ Affection des phanérogames marines: La mer Méditerranée est la zone du monde où le plus grand nombre d'étude a été réalisé à ce sujet. Ils ont détectés des effets sur les phanérogames marines. Notamment, en ce qui concerne la *Posidonia* océanique, une augmentation de la mortalité des individus a été détectée, ainsi qu'une apparition de nécrose sur les tissus et une grande chute des feuilles.

Les valeurs limites d'affection sont très variables selon les espèces : La *Posidonia* océanique résiste à une augmentation de 1 psu, alors que d'autres espèces résistent jusqu'à une augmentation de plus de 20 psu. D'après la littérature l'intensité des impacts de la saumure varie pour les différentes espèces et dépend également des caractéristiques de rejet. Très peu de données concernant les limites de tolérance à la fluctuation de la salinité.

La salinité accrue affecte les organismes marins par le processus d'osmose. Quand des organismes marins sont exposés à une variation de la salinité (contenu en sels élevé dans le milieu externe que dans les fluides de l'organisme) ils sont soumis à un choc osmotique qui est préjudiciable pour la plupart d'entre eux en fonction de leur tolérance à la salinité (Levinton, 1996)

3 Moyens pour réduire l'impact des rejets :

Les moyens à adopter pour mitiger l'impact des rejets saumures peuvent être classés en deux groupes : moyens à mettre en œuvre durant la phase de projet et programmes de vigilance environnementale.

Les moyens à mettre en place de projet peuvent être résumés dans les points suivants :

- ❖ La réalisation d'une cartographie sous-marine des habitats écologiques à protéger dans toute la région, avant d'avoir choisie la parcelle où on situera l'usine de dessalement.
- ❖ La réalisation d'un modèle numérique de propagation de la salinité aidant au dessin du rejet : le modèle en question doit être tridimensionnel, son but étant de pouvoir assurer en phase de projet que le déversement n'affectera pas des zones à intérêt écologique et que la prise d'eau ne captera pas l'eau de rejet. Le résultat du modèle sera le dessin tridimensionnel de l'ouvrage de rejet et de la

plume hyper-saline. Le modèle en question sera calibré postérieurement durant la phase d'exploitation de l'usine, à l'aide de mesures in situ de la salinité.

L'implantation des émissaires permet d'améliorer le fonctionnement et une meilleure protection de l'environnement.

Le rejet par jet du concentrat à travers un émissaire sous-marin est la méthode la plus efficace pour maximiser la dilution dans le domaine proche.

Au moyen de diffuseurs de l'émissaire, on produit un mouvement parabolique du concentrat, caractérisé par la vitesse de décharge et l'angle de rejet. Au moment de l'impact de jet sur le fond, une couche turbulente se forme et conduit à un mélange et une dilution supplémentaire de la saumure.

4 Impact sonore :

Les bâtiments d'osmose inverse utilisent des pompes à haute pression et des échangeurs de pression qui sont bruyants et à l'origine de pollutions sonores. Ces bâtiments doivent être convenablement isolés pour réduire le bruit dans la parcelle de l'usine, ainsi qu'à l'extérieur de celle-ci.

5 Le cout énergétique pour l'eau :

Energie et eau sont liées. Les besoins en énergie pour l'eau augmentent fortement pour le pompage, les transferts, les traitements et le dessalement. Aujourd'hui, la consommation d'électricité pour l'eau se situe à environ 5 % de la consommation d'électricité dans les pays Nord de Méditerranée et à environ 9 % dans les pays Sud et l'Est de Méditerranée.

Dans la plupart des pays, ces ratios continueront à croître pour faire face à la croissance de la demande : recours à des forages plus profonds, à des transferts plus complexes et à un appel grandissant à l'épuration des eaux usées et au dessalement. Les besoins en énergie pour l'eau sont sur une pente de doublement en 10 ans. Ils pourraient représenter en 2030, 15 % de la demande globale d'électricité pour les pays Sud et l'Est de Méditerranée contre 5 % pour les pays Nord de Méditerranée et 10 % pour l'ensemble des pays riverains de la Méditerranée.

Pour réduire la consommation d'énergie pour l'eau, quelques champs de recherche apparaissent prometteurs pour l'avenir : Les centrales hybrides, la récupération de l'énergie de la saumure rejetée par les usines de dessalement et l'utilisation des énergies renouvelables pour le dessalement.

Pratiquement toute l'électricité additionnelle produite étant actuellement d'origine thermique, le risque d'une forte augmentation des émissions de gaz à effet de serre et

des rejets de saumure sans traitement est grand. Toutefois, des options à faible émissions de CO₂ sont possibles. Les filières de dessalement les plus économes en énergie doivent être valorisées : Osmose inverse, avec optimisation en combinaison à des centrales thermiques, récupération d'énergies performantes et amélioration des installations existantes. Les énergies renouvelables (éolien, solaire photovoltaïque et solaire à concentration) appliquées au dessalement, sont des pistes d'avenir, même si leur développement reste lié à des questions de financement et de compétitivité. L'énergie nucléaire est une option éventuelle à moyen terme, mais dont l'adoption renvoie à des considérations techniques et politiques encore largement en débat. Le dessalement se présente donc comme une option d'adaptation au changement climatique dont l'adoption ne doit pas intervenir en substitution d'autres possibilités «durables », telles que l'utilisation rationnelle de l'eau. Il devrait par ailleurs privilégier la production d'eau potable pour la consommation humaine.

Conclusion générale :

Le dessalement de l'eau de mer constitue une solution compétitive pour pallier à la rareté de cette ressource. Les techniques de dessalement ont connus une amélioration continue permettant pour atteindre des coûts raisonnables et des débits plus importants. La maîtrise de l'énergie est un paramètre important dans le rendement de l'installation par la récupération de l'énergie et l'utilisation des formes d'énergie disponibles, non polluantes et très économiques.

Les paramètres évalués pour l'eau saumure rejetée en mer ont montrés des valeurs très élevées par rapport à la norme ce qui influe négativement sur l'environnement marin. Les rejets de saumures fortement concentré en sel ont pour conséquence la variation de la composition chimique de l'eau de mer qui altère l'équilibre des écosystèmes et l'environnement marin. La diminution de la concentration en oxygène dissous d'après les résultats de cette étude a une conséquence sur la vie des espèces marines.

L'eau de mer, par ses propriétés physico-chimiques et également par la fraction vivante qu'elle comporte, est une eau de nature entartrant et corrosive pose des problèmes dans l'exploitation tel que l'entartrage et la corrosion des équipements de l'installation de dessalement.

Les solutions à apporter pour la production d'eau par dessalement sont le choix du procédé adéquat sur tous ses aspects économiques, technologiques et environnementaux, les traitements de neutralisation de la saumure, les dosages précis dans les traitements de correction de l'eau à dessaler.

Pour cela on conseille de tester le traitement des rejets ou saumure de dessalement d'eau de mer par une méthode de décantation dans une série de bassins.

Cette méthode permet de récupérer du sel (NaCl) et en même diminué la Pollution de la mer.

Référence bibliographiques :

- anonyme1, n.d. Cycle_de_l'eau. [WWW Document]. URL https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/ea/Cycle_de_l%27eau.png/800px-Cycle_de_l%27eau.png (accessed 12.19.19).
- anonyme2, 2017. source d'approvisionnement en eau douce [WWW Document]. URL <https://blogs.ac-caen.fr/EPI-5e/index.php/post/2017/02/28/L-%C3%A9volution-de-la-consommation-d-eau> (accessed 12.20.19).
- anonyme3, n.d. Normes de l'OMS sur l'eau potable [WWW Document]. URL <https://www.lenntech.fr/applications/potable/normes/normes-oms-eau-potable.htm> (accessed 2.19.20).
- Atallah, A., 2014. PROCEDE DE DESSALEMENT ET QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU DESSALEE PAR LA STATION DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER DE HONAIN - TENEURS : CATIONS, ANIONS ET METAUX LOURD (Thesis).
- Benallouda, M.A., 2013. Etude de l'influence de différents matériaux filtrants sur le prétraitement des eaux de mer: application sur les eaux de la station de dessalement de Honaine (Thesis).
- Berg, L.R., Raven, P., Hassenzahl, D.-M., 2015. Environnement, 1re ed. DE BOECK UNIVERSITE, Bruxelles.
- BIYOUNE, M.G., 2017. Techniques De Reminéralisation Des Eaux Dessalées. Univ Européenne.
- Boix, M., n.d. Optimisation multicritère de réseaux d'eau.
- Boudjadja, A., Messahel, M., Pauc, H., 2003. Ressources hydriques en Algérie du Nord. Rev. Sci. Eau J. Water Sci. 16, 285–304. <https://doi.org/10.7202/705508ar>
- boye, henri, 2008. Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée | plan-bleu [WWW Document]. URL <https://planbleu.org/fr/publications/eau-energie-dessalement-et-changement-climatique-en-mediterranee> (accessed 12.19.19).
- Dajoz, R., 2019. Précis d'écologie - 8e éd., 8e édition. ed. Dunod.
- Desjardins, R., 1997. Traitement des eaux (Le), 2e édition revue et enrichie. Presses internationales Polytechnique, Montreal.
- Grosclaude, G., 1999. L'eau: Tome 1. Milieu naturel et maîtrise, 1st ed. Quae.
- Jamati, C., Schoepfer, A., 2014. L'Afrique et l'eau. Geoeconomie n° 68, 177–186.
- Janah, Y., Nouh, F.A., Kettab, A., 2017. Les techniques de dessalement et les énergies renouvelables: Desalination techniques and renewable energies. Éditions universitaires européennes.

- Mericq, Jean-Pierre, 2009. Approche intégrée du dessalement d'eau de mer : Distillation membranaire sous vide pour la réduction des rejets salins et possibilités de couplage avec l'énergie solaire. Toulouse.
- Morsl, M.S., 2015. Impact de l'exploitation d'une Usine de Dessalement de l'Eau de Mer Sur l'Entreprise et l'Environnement. Paris, Saint-Denis.
- Mustapha, B., 2017. L'Eau de la pénurie aux maladies.
- Pajon-Perrault, N., 2008. La désalinisation dans le monde [WWW Document]. URL http://eduterre.ens-lyon.fr/ressources/scenario1/planetebleue/desalinisation_monde (accessed 3.12.20).
- Pajon-Perrault, N., n.d. Les techniques de désalinisation — Eduterre [WWW Document]. URL http://eduterre.ens-lyon.fr/ressources/scenario1/planetebleue/techniques_desalinisation (accessed 3.17.20).
- Ramade, F., 2003. Élément d'écologie : Écologie fondamentale, 3e ed. Dunod, Paris.
- Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., Brunet, R., 2009. L'analyse de l'eau - 9ème édition - Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9e édition. ed. Dunod, Paris.
- Wever, P.D., 2015. L'eau de la vie. EDP SCIENCES, Les Ulis.

Annexe :

Annexe I :

Les normes algériennes de potabilité des eaux de consommation

- Tableau 1 : Facteurs organoleptiques.

paramètres	unité	Concentration selon le journal officielle de la République Algérienne, N° 27 de 26 aout 2006	Concentration selon le journal officielle de la République Algérienne, N°18 de 23 mars 2011	Observation
Odeur	Seuil de perception à 25°C	4	-	Au bout de quatre dilutions successives aucune odeur ne doit être perçue
Saveur	Seuil de perception à 25°C	4	-	Au bout de quatre dilutions successives aucune saveur ne doit être perçue
Couleur	Mg/L échelle PT/Co	25	15	/
Turbidité	NTU	2	5	/

• Tableau 2 : Facteurs physico-chimiques

Paramètres	unité	Concentration selon le journal officielle de la République Algérienne, N° 27 de 26 aout 2006	Concentration selon le journal officielle de la République Algérienne, N°18 de 23 mars 2011	Observation
Ph		6.5 à 8.5	6.5 à 8.5	
Conductivité	µs/cm à 20°C	Au maximum 2800	2280	
Résidu sec	mg/l après séchage à 105°C	1500 à 2000	2000	En Correspondance avec la normalisation Des eaux
Dureté total	mg/l CaCo3	100 à 500	500	
Calcium	Mg/l	75 à 200	200	
Magnésium	Mg/l	150	150	
Sodium	Mg/l	200	200	
Potassium	Mg/l	20	12	
Sulfate	Mg/l	200 à 400	400	
Chlorure	Mg/l	200 à 500	500	
Nitrate	Mg/l	50	50	
Nitrite	Mg/l	0.1	0.2	
Ammonium	Mg/l	0.5	0.5	
Phosphate	Mg/l	0.5	0.5	
Oxydabilité (KmnO4)	Mg/l	3	3	Mesure faire chaud et en milieu acide
O₂ dissous	Mg/l	5 à 8	8	/
Aluminium	Mg/l	0.2	0.2	/

- Tableau 3 : Facteurs indésirables ou toxiques

Paramètre	Unité	Concentration selon le journal officielle de la République Algérienne, N° 27 de 26 aout 2006	Concentration selon le journal officielle de la République Algérienne, N°18 de 23 mars 2011	observation
Argent	Mg/l	0.05	0.05	/
Arsenic	Mg/l	0.05	0.05	/
Baryum	Mg/l	1	1	/
Cadmium	Mg/l	0.01	0.01	/
Cyanures	Mg/l	0.05	0.05	/
Chromes	Mg/l	0.05	0.05	/
Cuivre	Mg/l	0.05 à 1.5	1.5	/
Fer	Mg/l	0.3	0.3	/
Fluore	Mg/l	0.2 à 2	2	/
Manganèse	Mg/l	0.5	0.5	/
Mercure	Mg/l	0.01	0.001	/
Plombe	Mg/l	0.05	0.05	/
Sulfate D'hydrogène	Mg/l	0.02	0.02	Non décelable organoleptique
Sélénium	Mg/l	0.01	0.01	/
Zinc	Mg/l	5	5	/

- Tableau 4 : Facteurs bactériologiques

paramètres	Unité	Concentration selon le journal officielle de la République Algérienne, N° 27 de 26 aout 2006	Concentration selon le journal officielle de la République Algérienne, N°18 de 23 mars 2011	Observation
Coliformes	n/100ml	-	0	Avertir la
Coliformes fécaux	n/100ml	-	0	population de javelliser ou faire bouillir l'eau en cas Où l'on n'arrive pas À respecter Les valeurs Indicatives
Germe totaux 37°C 24h	n/1ml	10	-	Pour une eau traitée Le dénombrement des germes totaux
Germe totaux 22°C 72h	n/1ml	100	-	effectue à l'extrémité du réseau de distributionnel ne doit pas excéder le taux obtenu en début de réseau dans 90 des échantillons analysés au coures de l'année
Streptocoque fécaux	n/100ml	-	0	
Clostridium Sulfito-réducteurs	n/100ml	-	0	