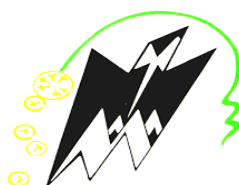


Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université MOULOUD MAMMERIE –Tizi Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

Département des sciences agronomique



**MEMOIRE DE FIN DE CYCLE EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME DE MASTER EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

Option : Eau et Environnement

Thème

**Suivi du procédé de dessalement de l'eau de mer à
la station Palm Beach de Staouali et évaluation de
sa qualité physico-chimique et bactériologique**

Réalisé par : AIT YOUNES Cilina & AKARKAR Lycia

Soutenu le 04/10/2022 devant le jury :

Mr. SMAIL Adel	MCB	UMMTO	Président
Mr. BERRADJ Omar	MCA	UMMTO	Promoteur
M^{me}. BEROUANE Naoual	MAB	UMMTO	Examinatrice

Année universitaire 2021/2022



REMERCIEMENT

En premier lieu, nos profonds remerciements vont au bon Dieu de nous avoir donné la volonté et le courage de réaliser ce travail.

Par la suite, il nous tient à cœur d'adresser nos remerciements les plus distingués aux personnes qui ont contribué de près ou de loin à ce que ce travail soit à la hauteur.

Nous tenons tout particulièrement à remercier notre promoteur Mr Berradj Omar pour son aide précieuse, ses encouragements, et sa patience.

Les membres du jury Mr Smaïl Adel et Mme Berrouane Naoual pour leur présence, pour leur lecture attentive de notre mémoire ainsi que pour leurs remarques et conseils avisés afin d'améliorer notre travail. Qu'ils trouvent ici nos sentiments de gratitude et de déférence.

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre stage Mr Kardache Samir, Mr Larbi Kamel, et Mme Mokhtari Itidale, ainsi que toute l'équipe de la station de dessalement Palm Beach, et du laboratoire SEAAL de Kouba.



DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, qui m'ont soutenu, protégé, et élevé en m'incluant des valeurs et le respect. D'avoir cru en moi, et de faire de moi la personne que je suis aujourd'hui.

A mes frères et sœurs, qui m'ont beaucoup appris, guider et encourager tout au long de mes études.

A mes amies Nawel, Daya, Melissa, Thiziri, Ferial, Imene, et Lycia

A toutes les personnes qui m'aiment.

Merci d'être les meilleures personnes du monde.



Cifina

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A ma très chère famille que j'aime beaucoup.

Particulièrement mon père et ma mère, pour la force et l'amour qu'ils m'ont donné et la confiance qu'ils m'ont accordée. Sans eux je n'aurais pas pu arriver là.

A ma grand-mère, qui ensoleille ma vie.

Et a mes deux frères qui m'ont toujours soutenus, et encourager.

Merci d'être toujours là pour moi.

Lycia



Liste des tableaux

Tableau II.1 : Quelques projets existants en Algérie.....	29
Tableau V.1 : Résultats des paramètres Physiques	63
Tableau V.2 : Résultats des paramètres organoleptiques	63
Tableau V.3 : Résultats des paramètres chimiques et minéraux globales	64
Tableau V.4 : Résultats des paramètres indésirables	65
Tableau V.5 : Résultats des paramètres de toxicité	66
Tableau V.6 : Résultats des paramètres microbiologiques	67

Liste des figures

Figure I.1 : Structure de la molécule d'eau	3
Figure I.2 : Cycle de l'eau.....	4
Figure I.3 : Répartition de l'eau douce	5
Figure I.4 : Géopolitique de l'eau	13
Figure II.1 : Dessalement par distillation au bord des navires à l'antiquité	17
Figure II.2 : Distillation à simple effet	19
Figure II.3 : Distillation à multiples effets.....	20
Figure II.4 : Distillation à détente successive (ou Flash)	21
Figure II.5 : Compresseur de vapeur	22
Figure II.6 : Procédé d'électrodialyse simplifié.....	23
Figure II.7 : Schéma expliquant le principe d'osmose inverse.....	24
Figure II.8 : Schéma expliquant le principe de la distillation membranaire.....	25
Figure III.1 : Schéma expliquant le principe d'osmose.....	32
Figure III.2 : Mécanisme d'osmose inverse	33
Figure III.3 : Schéma d'une installation d'osmose inverse	35
Figure III.4 : Structure d'une membrane asymétrique	35
Figure III.5 : Comparaison entre filtration classique (frontale) et tangentielle	37
Figure III.6 : Module tubulaire	39
Figure III.7 : Module fibres creuses	40
Figure III.8 : Module plan	40
Figure III.9 : Module spiral	41
Figure III.10 : Prétraitement conventionnel typique	41
Figure IV.1 : Photo représentative de l'usine de dessalement de Palm Beach.....	46
Figure IV.2 : Schéma d'installation de la station de Palm Beach.....	47
Figure IV.3 : Décanteur lamellaire	48
Figure IV.4 : Chambre de vannes	48

Figure IV.5 : Filtres à sables	49
Figure IV.6 : Suppresseur d'air.....	49
Figure IV.7 : Réservoir de micro filtres.....	50
Figure IV.8 : Micro filtre de 5µm	50
Figure IV.9 : Le rack.....	51
Figure IV.10 : Module d'osmose inverse	51
Figure IV.11 : Echantillon d'eau à analysé.....	53
Figure IV.12 : Oxymètre électronique	53
Figure IV.13 : Mesure de pH, et T°C au pH-mètre et conductivité au conductimètre	54
Figure IV.14 : Turbidimètre.....	54
Figure IV.15 : Schéma expliquant le principe de mesure d'alcalinité	55
Figure IV.16 : Dosage d'aluminium	57
Figure IV.17 : Kit de mesure LCK 301	57
Figure IV.18 : Dosage de calcium	58
Figure IV.19 : Dosage de magnésium.....	58
Figure IV.20 : Automate de mesure de chlore	59
Figure IV.21 : Méthode de filtration.....	60

Liste des abréviations

H₂O : Eau

TH : Titre Hydrométrique

TA : Titre alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique totale

OMS : Organisation mondiale de la santé

ISO : International Organization for Standardization

CE : Conductivité Totale

CaCO₃ : Carbonate de calcium

CaSO₄ : Sulfate de calcium

MgCO₃ : Carbonate de magnésium

NaCl : Chlorure de sodium

MES : Matière en suspension.

MSF : Multi-Stage Flash

ED : Electrodialyse

OI : Osmose inverse

IDA : International Desalination Association

MED : Multi-Effect Distillation

SDEM : Station de Dessalement de l'Eau de Mer

SOMMAIRE

Introduction	1
Chapitre I : Généralités sur l'eau	
I-1 Définition de l'eau	3
I-2 Molécule d'eau	3
I-3 Cycle de l'eau	3
I-4 Répartition de l'eau sur terre	5
I-5 Ressources d'eaux naturelles.....	5
I-5-1 Ressources conventionnelles.....	6
A-Eaux souterraines	6
B-Eaux superficielles	6
I-5-2 Ressources non conventionnelles.....	6
A-Eaux usées.....	6
B-Eaux saumâtres.....	7
C-Eaux de mer	7
I-6 Principales menaces sur les eaux douces.....	8
I-7 Définition d'une eau potable	8
I-8 Paramètres de qualité de l'eau	9
I-8-1 Paramètres organoleptiques	9
I-8-2 Paramètres Physicochimiques	10
I-8-3 Paramètres de toxicité	12
I-8-4 Paramètres bactériologiques.....	12
I-9 Crise de l'eau dans le monde	12
I-10 Gestion de l'eau en Algérie	13
I-10-1 Gestion régionale.....	14
I-10-2 Gestion économique	14
I-10-3 Gestion d'écosystème.....	15

Chapitre II : Principales technologies de dessalement

II-1 Définition de dessalement de l'eau de mer	17
II-2 Histoire de dessalement.....	17
II-3 Différents procédés de dessalement de l'eau de mer	18
II-4 Principales technologies de dessalement.....	18
II-4-1 Procédé thermique	18
II-4-1-1 La distillation	18
A-Distillation à simple effet.....	19
B-Distillation à multiples effets	19
C-Distillation flash (Multi-Stage Flash MSF)	20
D-Distillation par compression de vapeur	21
II-4-2 Procédés membranaires	22
II-4-2-1 L'électrodialyse	22
II-4-2-2 L'osmose inverse	23
II-5 Autres procédés	24
II-5-1 Les procédés hybrides.....	24
II-5-2 Dessalement de l'eau de mer par des réacteurs nucléaires	25
II-5-3 Dessalement et énergies renouvelables.....	26
II-6 Le dessalement dans le monde	26
II-7 Le dessalement en Algérie	28
II-8 Le coût de dessalement	29
Chapitre III : Procédé d'osmose inverse	
III-1 Définition de l'osmose.....	32
III-2 Définition de l'osmose inverse	32
III-3 Schéma général d'une installation d'osmose inverse	34
III-3-1 Membrane d'osmose inverse	35

III-3-1-1 Différents types de membranes utilisées en osmose inverse.....	37
A-Membranes organiques	37
B-Membranes inorganiques	37
C-Membranes composites	38
III-3-1-2 Durée de vie des membranes.....	38
III-3-2 Modules d'osmose inverse	39
A-Modules tubulaires.....	39
B-Modules fibres creuses	39
C-Modules plans	40
D-Modules spirales	41
III-3-3 Etapes de prétraitement.....	41
III-3-3-1 Chloration.....	41
III-3-3-2 Ajustement du pH.....	42
III-3-3-3 Clarification.....	42
A-Coagulation	42
B-Floculation.....	42
D-Décantation	43
C-Filtration sur sable.....	43
III-3-3-4 Déchloration et antitartrage	43
III-3-3-5 Filtration de sécurité sur cartouches	43
III-3-4 Post-traitement.....	44
III-3-4-1 Post-chloration	44
III-3-4-2 Correction de l'agressivité de l'eau.....	44
Chapitre IV : Matériel et méthodes	
IV-1 Présentation de la station de dessalement « Palm Beach »	46
IV-2 Etapes de dessalement suivi au niveau la station de « Palm Beach »	47
IV-2-1 Prise d'eau	47

IV-2-2 Prétraitement chimique.....	48
IV-2-3 Filtration	49
A-Filtration sur sable.....	49
B-Filtration sur cartouches/micro-filtres	49
C-Filtration sur membranes d'osmose inverse.....	50
IV-2-4 Post-traitement.....	51
IV-3 Présentation de l'entreprise SEAAL.....	52
IV-4 Matériels et méthodes	52
IV-4-1 Matériel	52
IV-4-2 Méthodes	53
A-Analyses physico-chimique	53
B-Analyses bactériologique	60
Chapitre V : Résultats et discussion	
V-1 Résultats	63
V-2 Discussion	67
Conclusion.....	75
Références bibliographiques	78
Annexes.	
Résumé.	

Introduction

Introduction

A travers des siècles, l'humanité a constamment dû relever des défis à court et à long terme. Son but semble essentiellement toujours le même: Que celle-ci prenne constamment un plus grand contrôle sur sa destinée et son environnement. L'eau a été et est toujours le premier souci de l'humanité vu les changements climatiques et la sécheresse qui affecte plusieurs pays du monde dont l'Algérie.

L'eau en Algérie revêt un caractère stratégique du fait de sa rareté et d'un cycle naturellement perturbé et déséquilibré. Qu'il s'agisse de l'eau souterraine ou de l'eau de surface, les ressources sont limitées et compte tenu des problèmes démographiques et de l'occupation de l'espace (sachant que près de 60% de la population algérienne est concentrée dans la frange septentrionale du territoire qui ne représente que le dixième de la surface totale du pays). **(Boudjadja et coll., 2005).**

Face au grand problème de manque d'eau, le gouvernement algérien s'est lancé dans un programme basé sur l'exploitation des eaux non-conventionnelles issues du dessalement de l'eau de mer et le traitement des eaux usées pour leurs réutilisations. **(Algérie Presse Service, 2021)**

C'est pour cela que nous avons choisie comme problématique le dessalement de l'eau de mer pour notre projet de fin de cycle, et dans ce cadre d'étude nous avons suivi le processus de dessalement par osmose inverse au niveau de la station de Palm Beach de Staouali et analysé la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau produite dans l'objectif de vérification de sa conformité aux normes nationales et internationales de potabilités.

Pour mener à bien ce travail nous l'avons divisé en cinq chapitres :

Le premier chapitre traite des généralités sur l'eau ;

Le deuxième chapitre présente les principales technologies de dessalement de l'eau de mer ;

Le troisième chapitre explique le procédé de dessalement par osmose inverse ;

Le quatrième chapitre présente la zone et le lieu de notre étude ainsi que le matériel et méthodes utilisées.

Le cinquième chapitre discute les résultats de l'analyse effectué ainsi que l'impact du dessalement sur l'environnement.

Chapitre I

Généralités sur l'eau

I-1 Définition de l'eau

Le dictionnaire Maxidico encyclopédique définit l'eau comme étant «un liquide naturel incolore et transparent, chimie c'est un corps composé de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène H_2O , l'eau gèle à 0 et bout à 100 ». (**Maxidico., 1996**).

I-2 Molécule d'eau

Elle est constituée d'un atome d'oxygène O et de deux atomes d'hydrogène H, la molécule d'eau H_2O est une des molécules les plus simples et des plus abondantes dans l'univers. (Figure I .1).

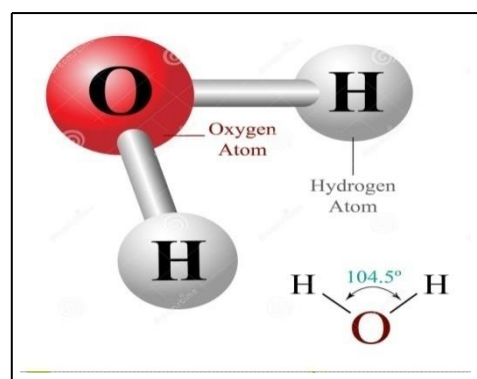


Figure I .1 : Structure de la molécule d'eau

En règle générale, les atomes d'une molécule sont stabilisés lorsqu'ils mettent en commun des électrons dits de « valence ». La forme précise de ce « ciment », appelé « nuage électronique », avec des jeux subtils d'attraction et de répulsion, est bien décrite par la chimie quantique.

Lorsque deux molécules d'eau sont en interaction (un dimère), une liaison particulière s'établit entre elles : c'est la liaison hydrogène. (**Euzen.A., Jeandel.C., Mosseri.R., 2015**).

I-3 Cycle de l'eau

L'eau circule continuellement dans les enveloppes superficielles de la Terre, au sein de plusieurs grands compartiments : les océans, la cryosphère (neige et glaces), la lithosphère (sols et sous-sol), l'atmosphère et la biosphère. Ces compartiments sont les éléments constituant le système climatique, dont la masse d'eau totale est quasiment constante.

Le rayonnement solaire, absorbé par la surface du globe, provoque l'évaporation des océans, lacs, rivières et sols, la transpiration des plantes, et la sublimation de la glace et de la neige. Mais de multiples autres transports participent au cycle de l'eau : dans l'atmosphère, sous forme vapeur essentiellement, mais aussi liquide ou solide au sein des nuages ; de l'atmosphère vers la surface par précipitation de l'eau ou de la glace contenue dans les nuages ou par condensation directe (brouillards) ; dans les océans par les courants, ou dans la lithosphère, à travers les sols, le sous-sol et les cours d'eau, qui se déversent dans les océans.

En particulier, l'évaporation annuelle moyenne par m^2 est deux fois plus forte depuis les océans que depuis les continents où l'eau est moins facilement disponible. Dans le domaine océanique, l'évaporation excède les précipitations, à l'inverse du domaine continental. Ce déséquilibre entraîne un transport de vapeur d'eau dans l'atmosphère depuis les océans vers les continents, contrebalancé par le transport d'un volume équivalent d'eau liquide depuis les continents vers les océans.

Le cycle de l'eau global est donc constitué par deux branches horizontales, l'une atmosphérique et l'autre continentale, associées à des transports opposés, et couplées par deux branches verticales où les échanges d'eau impliquent un changement de phase, qui précède leur transfert vertical (Figure I.2). (Euzen.A., Jeandel.C., Mosseri.R., 2015).

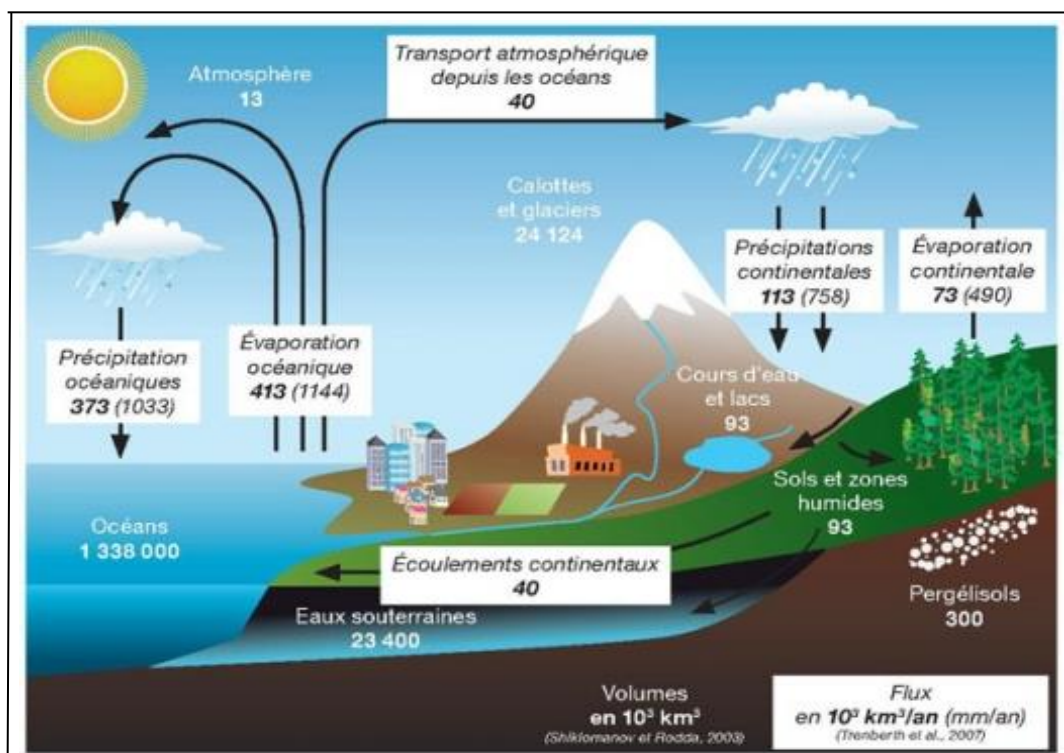


Figure I.2 : Cycle de l'eau

I-4 Répartition de l'eau sur terre

La masse d'eau totale de l'hydrosphère ne varie pas au cours des années. L'eau change d'état au cours de son cycle mais sa quantité globale reste inchangée depuis 3 milliards d'années, date de son apparition sur Terre. C'est l'énergie solaire qui est le moteur du cycle de l'eau en entraînant ses changements d'état (Maurel.A, 2006).

La quantité d'eau sur terre est d'environ 1,4 milliards de km³, d'après les estimations de Shiklomanov et Rodda, 2003 (cité dans UNESCO, 2006). Cependant, 97,5 % de cette quantité se trouve sous forme d'eau salée et 2,5 % sous forme d'eau douce, soit environ 35 millions de km³. 69,5 % de l'eau douce se présente sous forme de glace et de neige permanente, 30,1 % sous forme d'eau souterraine, 0,27 % sous forme d'eau dans les lacs et rivières, 0,13 % sous une autre forme (atmosphère, humidité dans le sol, marais, etc.). (Figure I.3). (Morel.J., 2007).

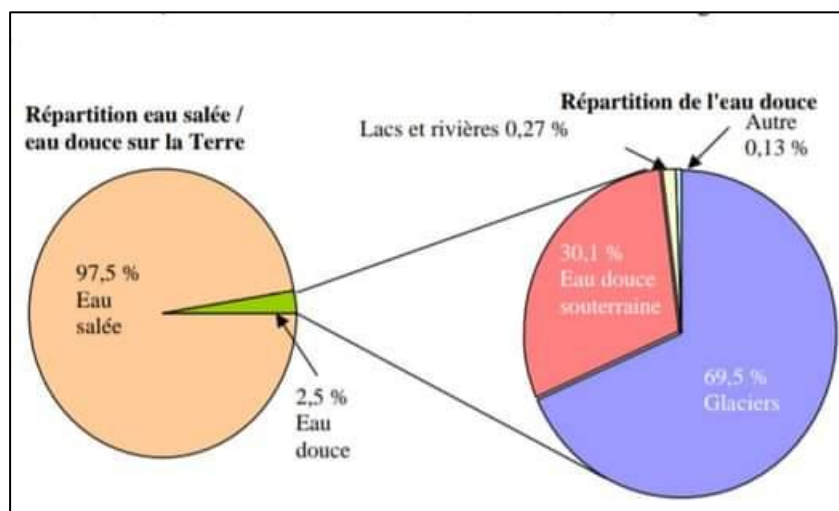


Figure I .3 : Répartition de l'eau douce

I-5 Ressources d'eaux naturelles

Les réserves d'eaux naturels sont constitués des eaux souterraines (nappes, infiltration) et des eaux de surface (barrages, lacs, rivières), des eaux de mer et des eaux usées.

Toutes ces ressources peuvent être classées en ressource conventionnelles et ressource non conventionnelles.

I-5-1 Ressources conventionnelles

Représentent les eaux superficielles qui sont retenues par les barrages et les lacs collinaires, et les eaux souterraines nappe phréatique ou aquifère, nappe profonde.

A. Eaux souterraines

Se sont des eaux de nappe phréatique, leur origine est représentée par l'accumulation des infiltrations d'eau dans le sol qui varient en fonction de porosité et de structure.

B. Eaux superficielles

Elles englobent toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface de continents, la plupart des cas sont très chargés des micro-organismes à cause de rejets des déchets dans ce milieu. (UNESCO., 2020).

I-5-2 Ressources non conventionnelles

On désigne les eaux usées, les eaux de mer, les eaux saumâtres et les eaux de toute origine injectées dans les systèmes aquifères par la technique de la recharge artificielle. (UNESCO., 2020)

A. Eaux usées

Les eaux usées sont perçues comme une combinaison d'un ou de plusieurs des éléments suivants : les effluents domestiques constitués d'eaux-vannes (excréments, urine, boues fécales) et d'eaux grises (eaux usagées provenant du lavage, de la lessive et du bain) ; les eaux provenant des commerces et institutions, y compris les hôpitaux ; les effluents industriels, les eaux pluviales et autres eaux de ruissellement urbain ; les eaux de ruissellement agricole. (ONU., 2017).

Le recyclage des eaux usées pour la recharge artificielle de nappe est en train de devenir une piste pour lutter contre les effets de certaines surexploitations de nappes.

La recharge de nappe consiste à faire infiltrer ou percoler les eaux usées épurées dans le sous-sol, en général il y a 2 types d'eau pour la recharge : les eaux de surface issues de cours d'eau et les eaux usées traitées.

Il existe 3 méthodes de recharge :

→ La méthode d'infiltration : consistent a facilite l'infiltration de l'eau jusqu'à la nappe dans des bassins ou les lits de cours d'eau ;

→ La méthode d'injection directe via des forages qui est la méthode la plus utilisée à travers le monde ;

→ La méthode d'injection indirecte aussi appelée « la réalimentation artificielle induite » consiste à augmenter le transfert d'eau entre un cours d'eau et une nappe alluviale (c'est nappes qui circulent dans les sédiments des rivières) en mettant des sites de pompage à proximité des berges de celui-ci.

La recharge de l'aquifère présente de multiples avantages, comme l'augmentation de l'approvisionnement et des réserves en eau, l'entretien des zones humides et la prévention de l'intrusion d'eau salée. (**Casanova.J., et coll., 2013**).

B. Eaux saumâtres

Est une eau légèrement à moyennement salée. Sa teneur en sel est comprise entre 1 et 10 g/l, elles peuvent apparaître à la suite de la rencontre de masses d'eau douce et salée. la mobilisation de ces eaux est par la déminéralisation.

Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant qui sont chargées en sels en traversant les sols. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl . (**Renaudin.V., 2003**).

C. Eaux de mer

Les eaux de mer représentent 71% de la surface du globe, c'est une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsque il n ya pas moyen de s'approvisionner en eau douce, elles sont caractérisées par une concentration en sels dissous appelée la salinité. Les propriétés physiques dépendent de température, pression et composition chimique.

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux de mers et océans est de 35 g/l dont : 27,2 g/l de NaCl , 3,8 g/l de MgCl_2 , 1,7 g/l de MgSO_4 , 1,26 g/l de CaSO_4 , et 0,86 g/l de K_2SO_4 . (**Renaudin.V., 2003**).

Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées (**Maurel.A., 2006**).

- mer Méditerranée : 36 à 39 g/l,
- mer Rouge : environ 40 g/l,
- mer Caspienne : 13 g/l,
- mer Morte : 270 g/l,
- Golfe Arabo-Persique : 36 à 39 g/l.

I-6 Principales menaces sur les eaux douces

Aujourd'hui, de nombreuses menaces présentent sur les ressources en eau, dont les principales sont :

- **La pollution** : plus de la moitié des cours d'eau dans le monde sont pollués et les aquifères, sources importantes d'eau potable, ne sont pas épargnés.
- **Le gaspillage** : les fuites d'eau dues à l'évaporation lors de l'irrigation et au mauvaise entretien des canalisations ou à des méthodes d'irrigation mal conçues.
- **La surexploitation** : des nappes profondes, dont le renouvellement demande des milliers d'années, et des nappes fossiles comme celle du Sahara septentrional qui s'étend sur plus d'un million de km² sous l'Algérie, la Tunisie et la Libye.
- **Changements climatiques** : le réchauffement climatique qui modifiera le cycle de l'eau augmentera les inégalités avec intensification des sécheresses, des inondations, des cyclones. Le niveau des mers montera et l'eau salée se mélangera à l'eau des aquifères côtiers, entraînant des pertes d'eau douce. (**Ferroudj.N., 2017**).

I-7 Définition d'une eau potable

Une eau potable peut avoir différentes définitions :

Selon Vincent Albouy :

Une eau potable, étymologiquement, est une eau qui peut être bue. Dans son sens moderne et réglementaire, une eau potable doit être limpide, pure, dépourvue d'odeurs, de substances toxiques et de microbes et virus pathogènes. (**Albouy.V., 2008**).

Selon Euzen Agathe et Levi Yves :

Une eau potable est une eau qu'il est possible de boire sans risque pour la santé. Toute eau destinée à la consommation humaine, qu'elle soit distribuée par un réseau public ou en

bouteille, doit être conforme à des normes très strictes, fixées par les organismes mondiaux de la santé. **(Bernard.C., 2015).**

I-8 Paramètres de qualité de l'eau

I-8-1 Paramètres organoleptiques

- **Odeur**

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire. Le sens olfactif peut seul, parfois, les déceler.

L'odeur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles, la qualité de cette sensation particulière provoquée par chacune de ces substances. **(Rodier.J., et coll., 2009).**

- **Gout**

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche. **(Rodier.J., et coll., 2009).**

- **Turbidité**

La turbidité est définie comme la « réduction de la transparence d'un liquide par la présence de matières non dissoutes » elle correspond à la propriété optique de l'eau qui fait que la lumière incidente est diffusée ou adsorbée.

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc.

La turbidité peut être évaluée par l'emploi de turbidimètre optique en unité de mesure NTU (Nephelometric turbidity unit). **(Blum.A., Rouzeau.O., Guiraud.A., 2014).**

I-8-2 Paramètres physicochimiques

- **Température**

La température est un paramètre de qualité très important, car celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, et la dissociation des sels dissous ainsi qu'à la vitesse des réactions chimiques et biochimiques dans l'eau. De plus, une température élevée de l'eau stimule la croissance des micro-organismes et peut accroître les problèmes liés au goût, à l'odeur, à la coloration et à la corrosion. . (OMS., 2017).

- **Potentiel d'hydrogène pH**

C'est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H^+). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique à l'inverse des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons. (De Villers.J., Squilbin.M., Yourassowsky.C., 2005).

- **Oxygène dissous**

C'est une grandeur importante de l'écologie des milieux étudiés. Elle est essentielle pour la respiration des organismes vivants hétérotrophes. La concentration d'oxygène gazeux qui se trouve à l'état dissous dans l'eau est exprimée en mg/l. Il provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques et est limité par la solubilité de l'oxygène (maximum 9 mg /l à 20°C). Il dépend de nombreux facteurs comme la température de l'eau, le taux des éléments dissous dans le milieu, ainsi que la pression partielle en oxygène dans l'atmosphère (Benkaddour.B., 2018).

- **Eléments en solution**

Les chlorures (Cl^-) et les sulfates (SO_4^-) font généralement l'objet d'un suivi particulier. Une forte teneur en chlorures peut indiquer une pollution par des eaux usées domestiques (sels régénérants utilisés dans les lave-vaisselle) ou par certaines eaux usées industrielles. Les pics de concentration en chlorures s'observent le plus souvent en période de gel (sels de déneigement). Les eaux usées de nombreuses industries peuvent également contenir des sulfates. Ce sont surtout les changements brusques et importants des teneurs en chlorures et

sulfates qui se révèlent néfastes. D'autres ions tels que le calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), potassium (K^+), fluor (F^-) peuvent être également mesurés. Les éléments en solution sont exprimés en mg/l. **(De Villers.J., Squilbin.M., Yourassowsky.C., 2005).**

- **Conductivité électrique (CE)**

Est la propriété que possède une eau à favoriser d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous .elle s'exprime en micro siemens par centimetre.la mesure de la conductivité est utile, car elle permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau **(Metahri.M S., 2012)**

- **Dureté (TH)**

La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. On distingue: une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca et Mg et une dureté non carbonatée produite par les autres sels. La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français); 1°F correspond à 10 mg de carbonate de Calcium dans 1 litre d'eau, La dureté d'une eau naturelle dépend de la structure géologique des sols traversés. **(Belghiti.M L., et coll., 2013).**

- **Matières en suspension MES**

Elles représentent, la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques (MVS) ou minérales (MMS), non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel. Les MES s'expriment par la relation suivante : $\text{MES} = 30\% \text{ MMS} + 70\% \text{ MVS}$ **(Metahri. M S., 2012).**

- **Alcalinité**

L'alcalinité correspond à la capacité de l'eau à neutraliser les acides (H^+) qui est influencée par la présence de bases conjuguées de carbone inorganique (HCO_3^- et CO_3^{2-}) et d'hydroxyde (OH^-). **(Gouvernement de Canada).**

On distingue comme pour la mesure d'alcalinité deux titres qui sont le titre Alcalimétrique ou titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique Complet (TAC).

Le titre alcalimétrique complet (TAC): correspond à l'alcalinité totale au $\text{pH}=4.5$, ce qui revient à déterminer les ions HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- .

Le titre alcalimétrique (TA) : correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^{2-} , déterminer au $\text{pH} = 8.30$.

I-8-3 Paramètres de toxicité

C'est la mesure des Métaux Toxiques qui est un indice global exprimé en g L^{-1} et calculé à partir des concentrations de sept métaux (Hg, Pb, Cd, Ni, Cu, Cr et Zn) et d'un métalloïde (As) pondérées par des coefficients multiplicateurs en fonction de leur degré de toxicité (en métox/jour pour les rejets). C'est un paramètre établi par les agences de l'eau afin de percevoir les redevances pollution.

La mesure de ce flux de toxicité est déterminée à partir d'un test de toxicité aiguë, le test des daphnies, en tenant compte du débit du rejet. (Morin-Crini.N., Crini.G., 2017).

I-8-4 Paramètres bactériologiques

Les maladies infectieuses provoquées par les bactéries pathogènes, les virus et les parasites (par exemple, protozoaires et helminthes) représentent le risque sanitaire associé à l'eau de boisson le plus courant et le plus répandu. . (OMS., 2017).

En général, les eaux de surface ne sont jamais parfaitement pures et présentent un certain degré de contamination fécale, de sorte qu'elles devront toujours subir un traitement destiné à réduire la charge virale à une valeur négligeable 0 UFC/100 ml selon les Normes de l'OMS sur l'eau potable (2006). (OMS., 2000).

I-9 Crise de l'eau dans le monde

Environ un tiers de la population mondiale, c'est à dire plus de 2 milliards de personnes, vivrait en dessous du seuil de stress hydrique. 20 pays dans le monde seraient en état de pénurie : 12 sur le continent africain (Afrique du Sud, Algérie, Burundi, Égypte, Éthiopie, Kenya, Libye, Malawi, Maroc, Rwanda, Somalie et Tunisie) et 07 au Moyen-Orient (Arabie Saoudite, Iran, Israël, Jordanie, Koweït, Yémen et Territoires palestiniens).

La demande mondiale croît en permanence en raison du fort développement démographique et des besoins grandissant de l'industrie et de l'agriculture. Ajoutée à cela la grande vague de pollution qui touche bon nombre de sources d'eau douce particulièrement due aux rejets des effluents industriels. (Ferroudj.N., 2017).

Depuis le début des années 1990, beaucoup a été dit et écrit au sujet des futures « guerres de l'eau » annoncées pour le XXI^e siècle. Les guerres de l'eau les plus traitées dans les médias concernent de possibles conflits interétatiques, mentionnons les nombreux conflits du Proche-Orient, ceux se déroulant autour du bassin du Nil, mais aussi entre l'Arabie saoudite et la Jordanie, ou entre la Libye et l'Égypte pour les aquifères du Sahara.

En 1990, la Syrie et la Turquie ont menacé d'en venir aux armes pour régler leur différend par rapport au partage des eaux de l'Euphrate : Le fleuve mythique prend sa source à la frontière turque, traverse la région de Rojava (région Kurde au nord de la Syrie) puis irrigue l'Irak voisin, et le barrage Tabqa en Syrie. Aujourd'hui, la Turquie cible le barrage, non pas avec des bombardements, mais... en baissant son niveau d'eau.

Enfin, l'Égypte demeure fort anxieuse de s'assurer que les eaux du Nil ne seront pas détournées en amont. La peur égyptienne se traduit aussi par des menaces précises à l'endroit de l'Éthiopie. En 1979, le président Sadate a affirmé que « le seul facteur qui pourrait conduire à nouveau l'Égypte à entrer en guerre est l'eau ». (Figure I.4). (Lasserre.F).

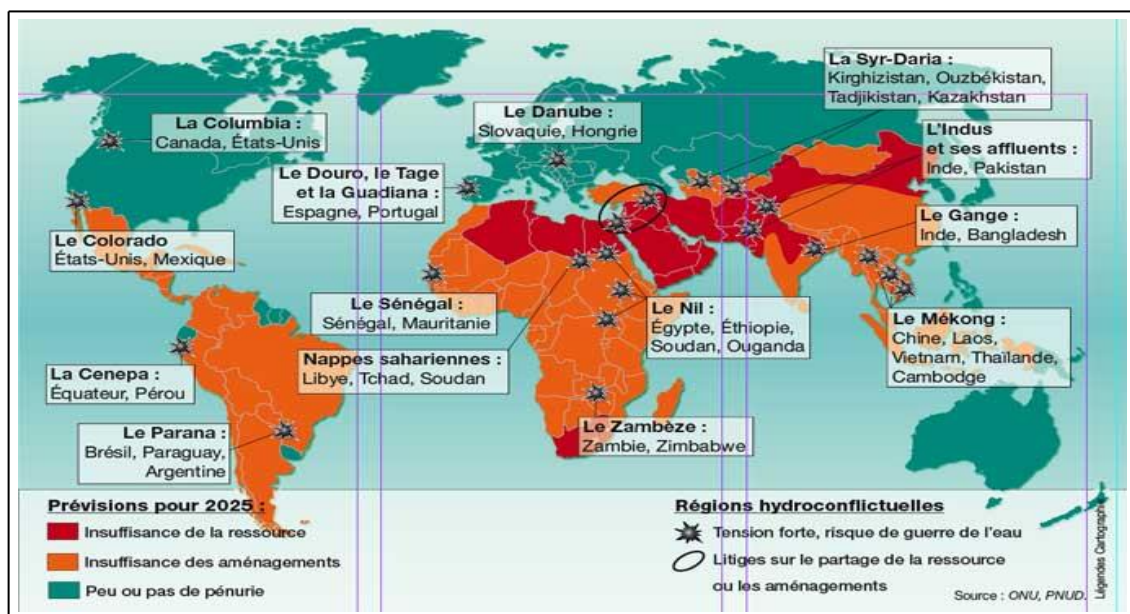


Figure I.4 : Géopolitique de l'eau

I-10 Gestion de l'eau en Algérie

Selon les rapports officiels du Ministère des Ressources en eau les potentialités hydriques de l'Algérie sont globalement estimées à 19.2 Milliards de m³/an réparties entre la zone Nord et la zone Sud.

Dans la zone Nord, les potentialités représentent 12,3 Milliards de m³ renouvelables dont 1,9 en eau souterraine.

Dans la zone Sud, les potentialités sont de l'ordre de 5 milliards répartis entre deux grandes nappes, à raison de 56% pour le continental intercalaire et 44 % pour le complexe terminal. Leur taux de renouvellement ne serait que de 15% annuellement, de ce fait, on considère que la plus grande partie des eaux souterraines dans ces régions sont exploitées comme des gisements. **(Souak.F Z).**

I-10-1 Gestion régionale

La gestion régionale implique la participation de tous les agents concernés : usagers, collectivités locales, structures du ministère des ressources en eaux.

La gestion des ressources hydrique en Algérie a été centralisée avec la création de la SONADE en 1970. Mais à partir de 1987, la gestion est de nouveau décentralisée avec la création de 9 établissements publics sous tutelle de l'administration centrale et 26 établissements sous tutelle de wilaya. Toutes ces structures ont été regroupées en 2001 au sein d'un EPIC : l'Algérienne Des Eaux (ADE) fonctionnant selon 2 principes, à savoir la décentralisation de la gestion et la mise à niveau du service public de l'eau en vue d'introduire des normes de gestion universelles.

Le nouveau mode de gestion introduit par cette nouvelle politique de l'eau a permis de décentraliser les systèmes de gestion par région en tenant compte des besoins et des ressources propres à chacune d'elles. **(Souak.F Z).**

I-10-2 Gestion économique

La gestion économique est contenue dans la loi relative à l'eau de 2005. Basée principalement sur la maîtrise de la demande (d'eau potable, dans l'industrie et l'agriculture) et l'incitation à l'économie d'eau par le système de tarification des services de l'eau. L'un des problèmes majeurs que rencontre le secteur réside dans les fuites et les pertes dans les réseaux d'eau potable et dans le secteur d'irrigation. Pour pouvoir résoudre ce problème on doit accéder à des techniques plus économiques comme l'irrigation localisée et utiliser le système goutte à goutte qui est plus économique. Cette gestion se concrétise avec la lutte contre le gaspillage, l'un des principes sur lesquels se fonde la gestion et le développement des ressources en eau est la prise en compte des coûts réels des services d'approvisionnement en eau à usage

domestique ,industriel et agricole et des services de collectes et d'épuration des eaux usées à travers des systèmes de redevance. **(Souak.F Z)**.

I-10-3 Gestion d'écosystème

La gestion écologique est basée sur l'environnement et la protection des écosystèmes. La préservation des réserves d'eau et l'économisé, notamment celles non renouvelables, la réduction des effets nuisibles sur les autres ressources naturelles. La gestion écologique c'est aussi la maîtrise de la valorisation agronomique des eaux usées traitées et du risque sanitaire global chimique et microbiologique.par une lutte contre la pollution des cours d'eau comme des nappes phréatiques. **(Souak.F Z)**.

Chapitre II

Principales technologies de dessalament

II-1 Définition de dessalement de l'eau de mer

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. (Janah.Y. ; Ait Nouh.F. ; Kettab.A., 2017).

II-2 Histoire de dessalement

L'idée d'extraire de l'eau potable à partir de la mer n'est pas nouvelle, les marins de l'antiquité avaient déjà imité la nature en faisant bouillir de l'eau de mer pour en extraire de l'eau non salée par condensation de la vapeur produite. Mais il a fallu attendre le XVIII^{ème} siècle pour qu'on évoque des procédés permettant d'augmenter la production de l'eau douce, les premiers appareils industriels de distillation sont apparus probablement dans la première moitié du XIX^e siècle et a été utilisé par les marins au bord des navires à vapeur pour produire de l'eau douce. (Figure II.1).

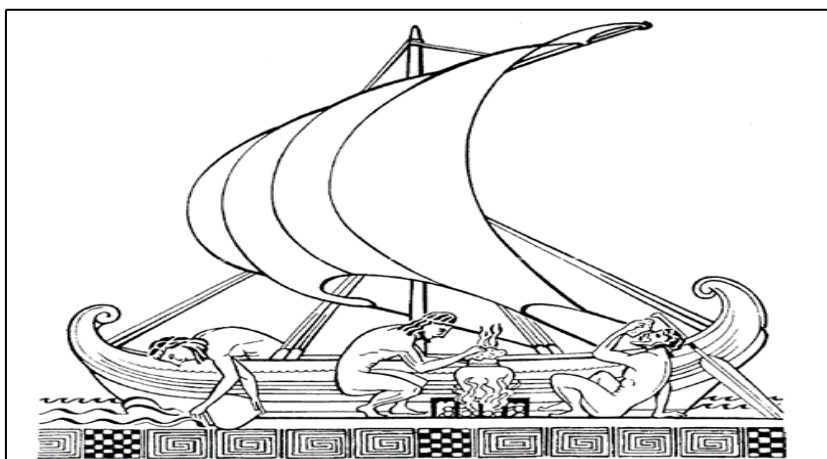


Figure II.1 : Dessalement par distillation au bord des navires à l'antiquité

Puis, autour de 1959, un procédé appelé osmose inverse a été mis au point à l'Université de Californie dans le prolongement de la méthode plus ancienne de séparation des sels contenus dans les mélasses (Dubrunfaut, 1853) et des colloïdes (Graham 1854, à l'origine du terme

osmose). Il s'agit d'un procédé membranaire : l'eau douce est extraite de l'eau salée à travers une membrane semi-poreuse, en appliquant une pression. Les premières membranes commerciales datent de 1970. **(Bandelier.P., 2016).**

II-3 Différents procédés de dessalement de l'eau de mer

Un auteur a recensé 27 procédés différents du dessalement. Ces différents procédés peuvent être classés en trois (03) grandes familles :

1. Les procédés faisant intervenir un changement de phase (énergie thermique):
 - Evaporation ;
 - Congélation.
2. Les procédés de perméation sélectives à travers une membrane (énergie mécanique) :
 - Transfert d'ions sous l'action d'un champ électrique : électrodialyse, ou d'un gradient de pression : piezodialyse ;
 - Transfert d'eau sous l'action d'un gradient de pression : osmose inverse, ou sous l'action d'un gradient de température : thermo-osmose.
3. Les procédés chimiques :
 - Echange d'ions ;
 - Extraction par solvant.

En fait, la totalité des installations actuellement en service fait appel à deux grandes familles de procédés : les procédés par évaporation et les procédés de séparation par membranes qui sont plus récents. **(Maurel.A., 2006).**

II-4 Principales technologies de dessalement

II-4-1 Procédé thermique

II-4-1-1 La distillation

La distillation est une technique de dessalement très ancienne. Son principe est de faire chauffer l'eau de mer et récupérer la vapeur produite, par condensation ; on obtient ainsi une eau douce. Il s'agit en fait d'accélérer le cycle naturel de l'eau. **(Renaudin.V., 2003).**

Il y existe 03 méthodes :

- Distillation à simple effet ou à multiple effet ;
- Distillation flash ;

- Distillation par compression de vapeur.

Toutes ces méthodes partagent le même principe mais en différentes techniques et matériels.

A. Distillation à simple effet

C'est la plus ancienne technique de dessalement utilisée.

Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer, la vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide, les gouttelettes d'eau seront récupérées dans un récipient. Un groupe électropompe soutire l'eau condensé ; un deuxième soutire la saumure. (Figure II.2). (Danis.P., 2003).

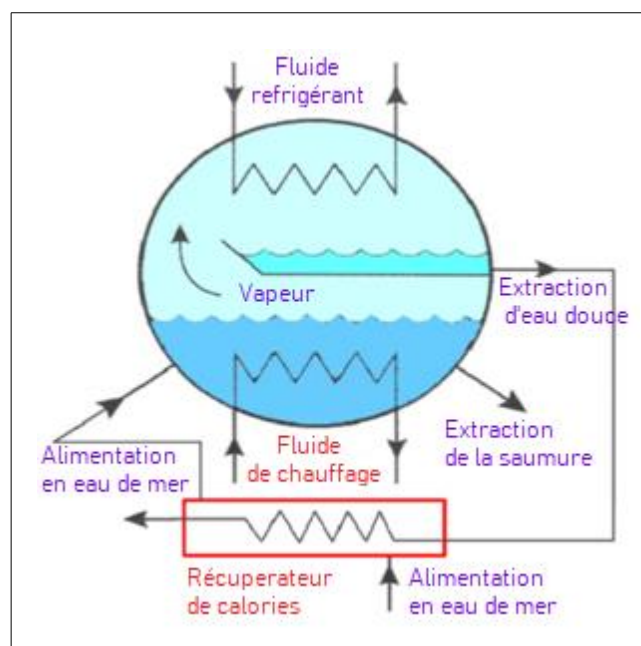


Figure II.2 : Distillation à simple effet

B. Distillation à multiples effets

La technique de distillation à multiples effet est apparue comme une alternative à la distillation à simple effet, car celle-ci consomme beaucoup d'énergie ($\approx 600\text{kcal/kg}$) pour produire de faible quantité d'eau douce. (Maurel.A., 2006).

La distillation à multiples effets (MED : Multi-Effect Distillation) reprend le principe de la distillation à simple effet, la différence entre les deux techniques est la présence de plusieurs cellules (ou effets) installées d'une façon juxtaposée.

Dans la première cellule où la température est la plus haute, le fluide de chauffage (ou fluide caloporteur) chauffe l'eau de mer jusqu'à évaporation pour produire de la vapeur d'eau ; celle-ci servira à chauffer l'eau de mer dans la deuxième cellule et ainsi de suite, et sera récupérée dans des faisceaux de tubes refroidis dans le but d'obtenir de l'eau douce. La saumure et le distillat sont récoltés dans chaque cellule. La pression et la température diminuent progressivement d'une cellule à une autre. (Figure II.3). (Kuntz.D. ; Kuntz.J., 2012).

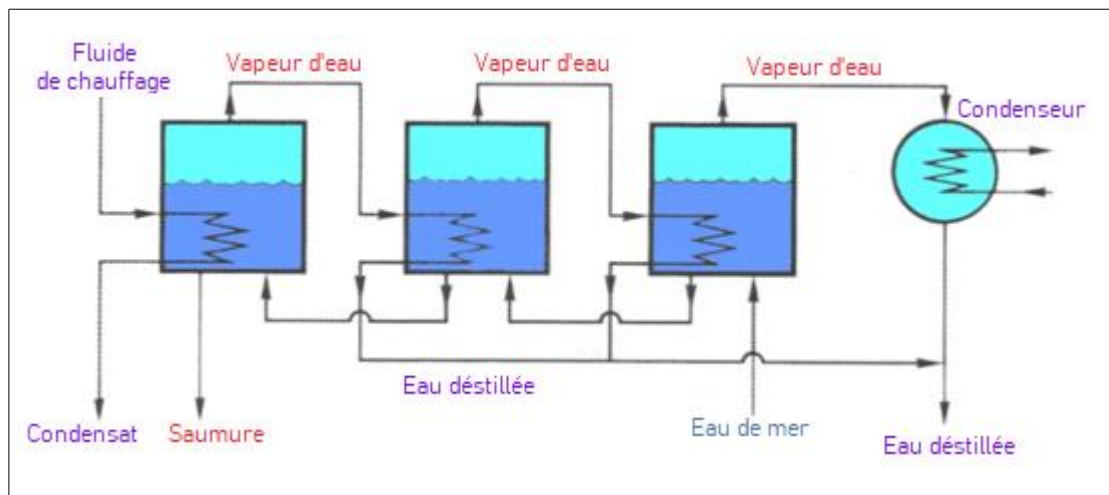


Figure II.3 : Distillation à multiples effets

C. Distillation flash (Multi-Stage Flash MSF)

Aussi appelé vaporisation instantanée, ou encore anglo-saxonne, est un procédé apparu dès les années 1960 et a été développé suite à des difficultés dues à l'entartrage des surfaces d'échange de la distillation à multiples effets.

Le procédé de distillation flash multi-étapes (MSF) est basé sur le principe de l'évaporation flash. Dans le procédé MSF, l'eau de mer est évaporée en réduisant la pression au lieu d'augmenter la température. Les économies de MSF technologie sont obtenues par chauffage régénératif où l'eau de mer qui clignote dans chaque chambre ou étage de flash cède une partie de sa chaleur à l'eau de mer qui passe par le processus de flash. La chaleur de condensation libérée par la condensation la vapeur d'eau à chaque étape augmente progressivement la température de l'eau de mer entrante. La MSF l'installation consiste en un apport de chaleur, une récupération de chaleur et sections de rejet de chaleur. Bien qu'un additif à haute température soit couramment utilisé pour le contrôle du tartre, une dose d'acide

peut également être utilisée. (Figure II.4). (Khawajia.A.D. ; Kutubkhanaha.I.B. ; Wie.J.M., 2008).

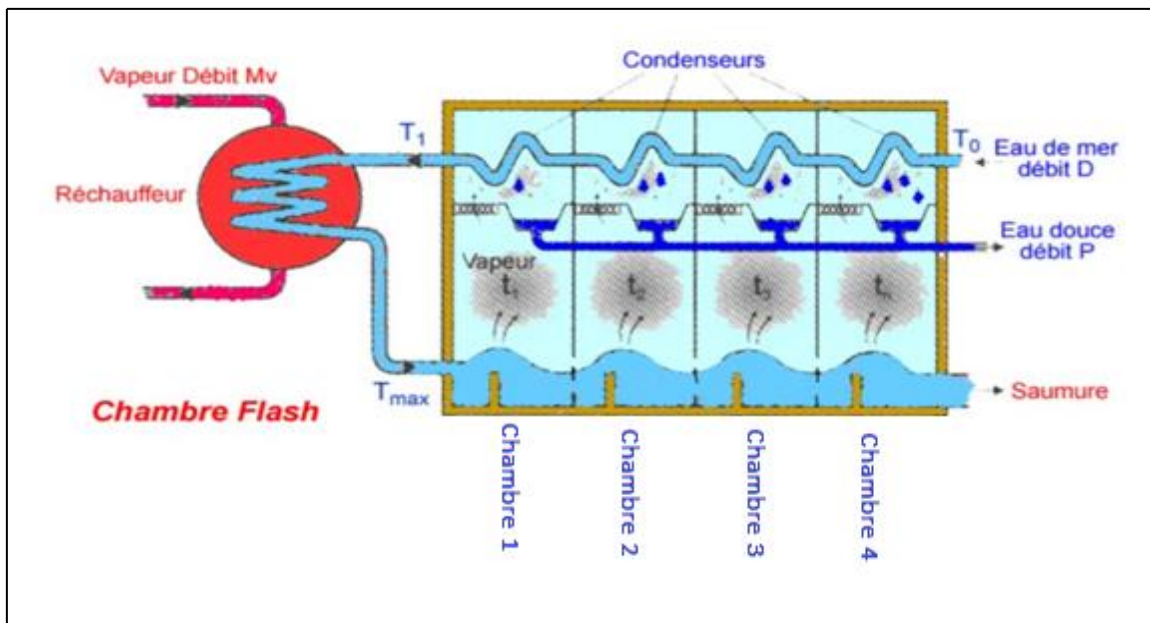


Figure II.4 : Distillation à détente successive (ou Flash)

D. Distillation par compression de vapeur

La distillation par compression de vapeur est aussi un procédé permettant de produire de l'eau en minimisant la consommation d'énergie. (Bandelier.P., 2016).

Dans ce procédé, l'eau à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermiquement isolée. La vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation jusqu'à 138°C (de la vapeur). Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire où elle se désurchauffe à 100°C et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée. (Figure II.5). (Maurel.A., 2006).

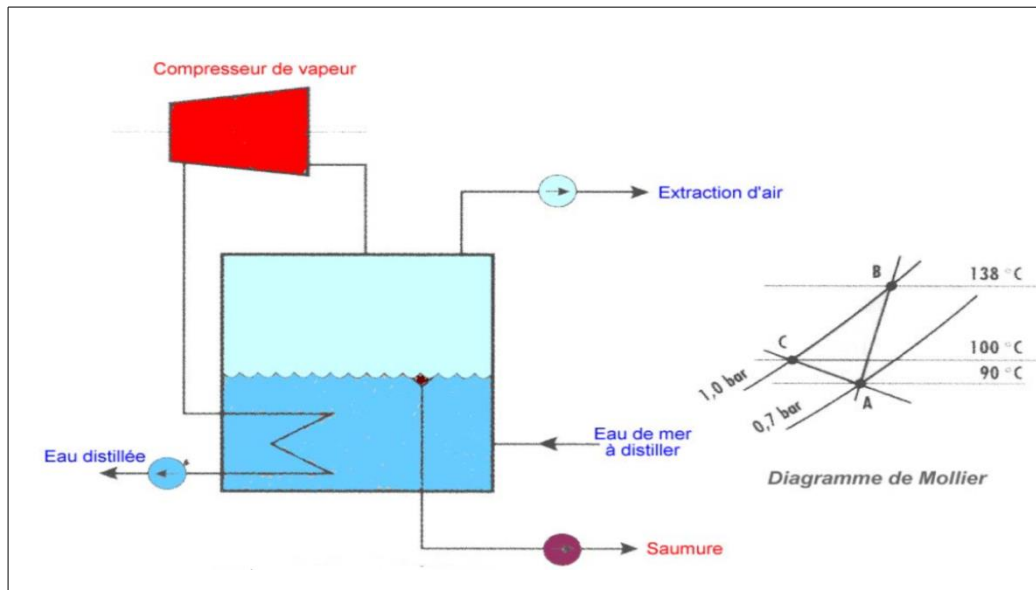


Figure II.5 : Compresseur de vapeur

II-4-2 Procédés membranaires

II-4-2-1 L'électrodialyse

L'électrodialyse est un procédé hybride très ancien puisque la première installation date des années 60. Il combine les procédés de dialyse et d'électrolyse à fin d'éliminer les sels dissous (chlorure et sodium) dans l'eau par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique. Cette méthode s'applique en revanche uniquement aux eaux saumâtres dont le taux de salinité est inférieur à 10 g/l. En effet, au-dessus de ce taux l'énergie nécessaire aux électrodes afin de séparer les ions de l'eau est beaucoup trop importante.

Dialyse : La dialyse représente la diffusion d'un soluté à travers une membrane ; cette dernière est sélectivement perméable au soluté, mais reste imperméable au solvant. Seule la différence de concentration des constituants présents en solution de part et d'autre de la membrane est responsable de leur mouvement : le système tend à équilibrer les potentiels chimiques de chaque compartiment en favorisant le transfert des matières indésirables depuis l'effluent le plus concentré vers l'effluent le moins concentré.

Electrolyse : Une électrolyse est une décomposition chimique de certaines substances en fusion ou en solution par le passage d'électricité. L'électrolyse est une réaction chimique dans laquelle les substances composées sont décomposées en substances simples et/ou d'autres substances composites sous l'influence d'un courant électrique. (Schab.F., 2007).

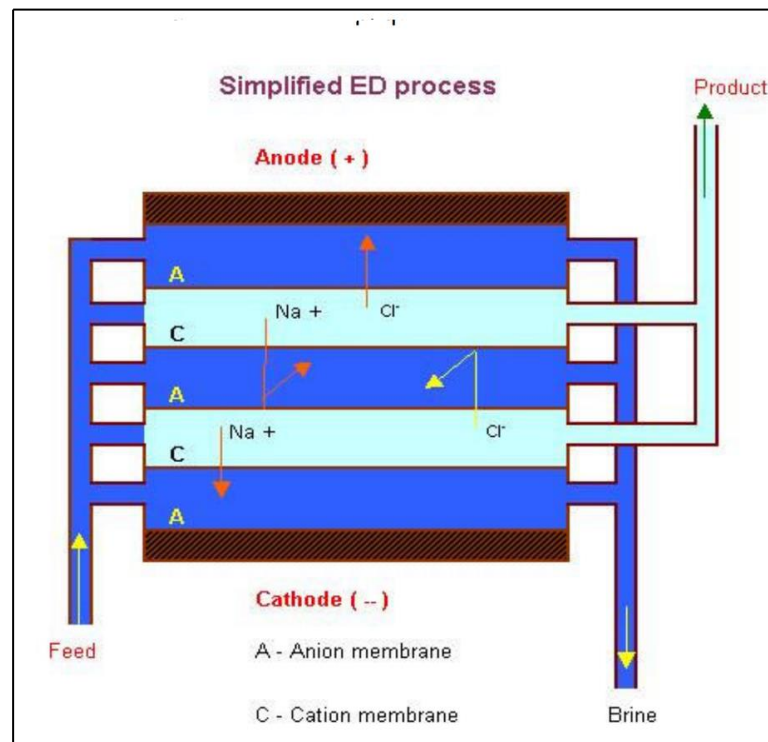


Figure II.6 : Procédé d'électrodialyse simplifié

Un électro-dialyseur fonctionne de la manière suivante : Soit une cellule d'électrolyse ; aux extrémités se présente deux électrodes positive (anode) et négative (cathode), entre les deux électrodes on retrouve des chambres l'une évacue le distillat et l'autre la saumure, chaque chambre est séparée d'une autre par des membranes alternativement anioniques et cationiques c'est-à-dire une membrane est perméable aux anions et l'autres aux cations.

Une fois la solution saline est introduite dans la cellule; les cations vont se diriger vers la cathode (l'électrode négative) et les anions vers l'anode (l'électrode positive), et ainsi on produit une eau douce. (Figure II.6). (Cun.C., 2003).

Les membranes utilisées en électrodialyse sont des membranes dites échangeuses d'ions qui se présente sous la forme de feuilles dont l'épaisseur est comprise entre 0.1 et 0.8 mm. (Maurel.A., 2006).

II-4-2-2 L'osmose inverse

L'osmose inverse est le procédé le plus utilisée au monde. Il a été découvert en 1950 par Reid à l'université de Floride (Etats-Unis) dans le cadre d'études relatives au dessalement de l'eau de mer et qui s'est développé dans les années 1960 lorsque Loeb et Sourirajan ont réussi à

obtenir des membranes asymétriques à perméabilité élevée à l'université de Californie (Etats-Unis) ; membrane à base d'acétate de cellulose. (Maurel.A., 2006).

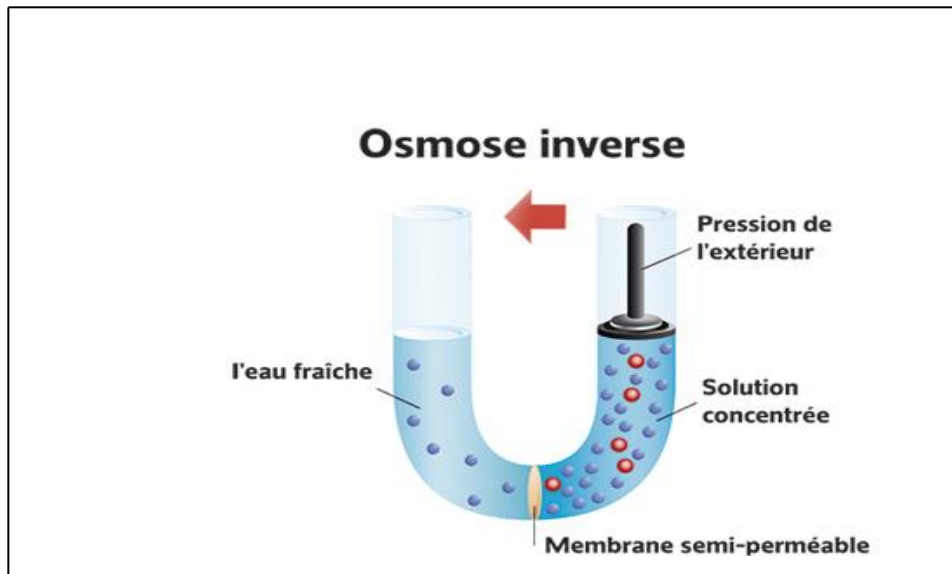


Figure II.7 : Schéma expliquant le principe d'osmose inverse

Le principe est d'appliquer sur la solution saline (eau de mer, eau saumâtre) une pression supérieure à sa pression osmotique dite pression hydrostatique, pour forcer la solution (saline) de passer à travers une membrane semi-perméable, dans la direction inverse (du compartiment contenant l'eau salée vers le compartiment d'eau douce)

La membrane semi-perméable permet le passage des molécules d'eau mais pas des sels dissous, des substances organiques et des bactéries, de cette façon se fait la déminéralisation de l'eau de mer. (Figure II.7). (Cun.C., 2003).

II-5 Autres procédés

II-5-1 Les procédés hybrides

Du fait des réserves limitées en combustibles fossiles et des rejets des gaz à effets de serre engendrés par l'usage de ces combustibles, de plus en plus de projets, se tournant vers un dessalement durable, sont basés sur le concept de dessalement par voie hybride.

Le principe des procédés hybrides est de combiner deux ou trois techniques afin de satisfaire les demandes en eau et en électricité, à moindre coût. On peut associer par exemple :

- Une unité de distillation ;
- Une unité d'osmose inverse ;

- Une centrale électrique.

Exemple :

→ Le procédé de distillation membranaire : il s'agit d'un procédé hybride associant un procédé de distillation à un procédé membranaire, les membranes utilisées sont hydrophobes (seule la vapeur d'eau passe à travers la membrane).

La force de transfert repose sur la pression transmembranaire qui est la différence entre la pression du côté du retentât (qui correspond à la fraction de la solution dessalée qui ne traverse pas la membrane) et de la pression du côté du filtrat (qui correspond à la fraction de la solution dessalée qui traverse la membrane). Cette différence de pression entraîne une évaporation du côté du retentât. La vapeur formée va ensuite se condenser par un procédé de distillation de l'autre côté de la membrane. (Figure II.8). (Kuntz.D. ; Kuntz.J., 2012).

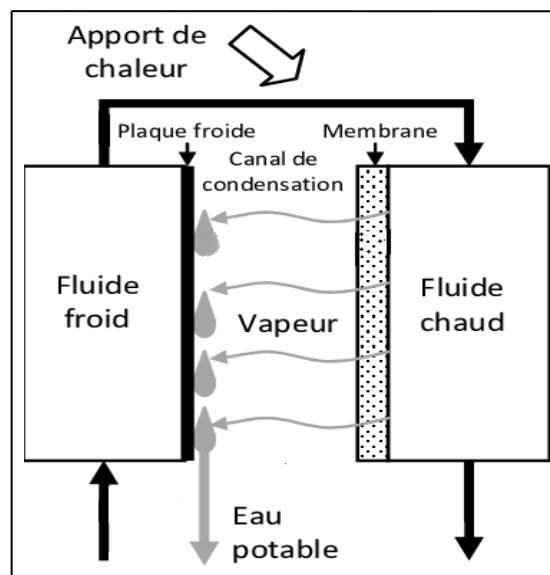


Figure II.8 : Schéma expliquant le principe de la distillation membranaire

Exemple d'usine de dessalement utilisant un procédé hybride : Fujairah aux Emirats Arabes Unis (capacité maximale : 454000 m³/jour) : Procédé MSF accordé à une centrale électrique et procédé d'OI.

II-5-2 Dessalement de l'eau de mer par des réacteurs nucléaires

Plusieurs procédés ont été mis au point, dont les plus prometteurs sont la distillation à faible température et l'osmose inverse. On construit actuellement de grandes installations qui consommeront beaucoup de chaleur, ce qui suppose une source de chaleur fiable, permanente

et disponible. Pour le moment, c'est essentiellement au pétrole que l'on s'adresse, mais la hausse des prix du produit et la tendance à construire des usines de dessalement de grande capacité et grosses consommatrices d'énergie stimulent la recherche d'autres sources. Parmi les options à long terme envisagées figurent les centrales nucléaires. Ces centrales seraient mixtes et produiraient de l'électricité pour le réseau et de la chaleur pour le dessalement à grande échelle, ce qui permet de produire de l'eau douce très bon marché sans rejet de gaz à effet de serre. **(Barak.A. et coll., 1990).**

Exemple : le NHR-200 est en activité depuis 2007 à Yantai, en Chine, et permet de produire 160 000 m³ d'eau potable par jour.

II-5-3 Dessalement et énergies renouvelables

Une combinaison des sources d'énergie renouvelable et de la technologie du dessalement pourrait offrir une source durable d'eau potable :

- Distillation et énergie solaire ;
- Osmose inverse et énergie solaire (photovoltaïque) ;
- Osmose inverse et énergie éolienne.

L'utilisation des énergies renouvelables représente la méthode la plus recommandée actuellement, car elle contribue à la production de l'eau potable sans exposer l'environnement à de graves dangers. En effet, celles-ci réduisent fortement les émissions du gaz CO₂ dans l'atmosphère, et avec le potentiel de stockage de chaleur et d'énergie (par batteries pour les unités de petite capacité ou à l'aide d'un raccordement à un réseau électrique dans le cas des unités à grande capacité c'est-à-dire ayant une capacité supérieure à 1000 m³/jour) elle économise de l'énergie, et réduit le coût de l'eau douce produite. **(Lahouel.N. et al., 2015).**

II-6 Le dessalement dans le monde

D'après l'International Desalination Association (IDA), en 2019, 20 516 usines de dessalement sont présentes dans le monde d'une capacité totale de production d'eau douce d'environ 122,32 millions m³ par jour. **(Gonthier.S., 2020).**

Au total, autour du globe, 95 millions de mètres cubes sont peu ou prou dessalés chaque jour dans 177 pays, pour la consommation humaine surtout (62,3 %), mais aussi l'industrie (30,2 %), l'énergie et, en part plus faible, l'agriculture. Et ces volumes augmentent rapidement, grâce notamment aux progrès technologiques accomplis surtout depuis 2000 qui

ont rendu le secteur moins gourmand en énergie. L'osmose inverse est désormais de loin le procédé le plus utilisé : il l'est dans 84 % des usines opérationnelles qui fournissent 65,5 millions de m³ /jour. (Valo.M., 2019).

En raison du coût de ces technologies, le recours au dessalement de l'eau pour répondre à la demande en eau douce était initialement principalement limité aux pays riches comme l'Arabie Saoudite et le Koweït ou aux petits États insulaires comme l'île de Chypre et les Barbades où les sources d'eau conventionnelles sont rares. Le développement de procédés de dessalement ayant de meilleures performances, et ce, à plus faible coût fait de cet outil une avenue intéressante pour répondre à la crise de l'eau. Les régions étant les plus grandes utilisatrices du dessalement de l'eau comme moyen pour répondre à la demande sont le Moyen-Orient, l'Afrique du Nord, les États-Unis (principalement la Floride et la Californie), la Chine, l'Australie et certaines régions d'Europe. À elles seules, les régions du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord rassemblent environ 48 % de la capacité mondiale de production d'eau douce par dessalement. (Gonthier.S., 2020).

Les dix plus grandes usines de dessalement dans le monde

- **Ras Al Khair, Arabie Saoudite** : 1 036 000 m³/jour : Procédé hybride qui utilise à la fois des technologies de flash thermique à plusieurs étages (MSF) et d'osmose inverse (OI).
- **Taweelah, 909 200 m³/jour** : Taweelah est la plus grande usine de dessalement par osmose inverse autonome au monde et a commencé à exporter 230 000 m³/jour sur les 909 200 m³/jour d'eau prévus en 2022.
- **Shuaiba 3, Arabie Saoudite – 880 000 m³/jour** : L'usine de dessalement fonctionne par distillation flash multi-étages (MSF) et peut produire 678 000 m³/jour d'eau potable dont 583 080 m³/jour destiné au réseau d'eau potable, le reste étant consommé par l'usine et la centrale.
- **Jubail Water and Power Company (JWAP), Arabie Saoudite - 800 000 m³ /jour** : usine de dessalement par distillation multiple-effets MED
- **Umm Al Quwain (UAQ), EAU – 682 900 m³/jour** : Usine de dessalement par osmose inverse. Prévu pour être commercialement opérationnel au troisième trimestre de 2022.
- **DEWA Station M, Dubaï - 636 000 m³/jour** : Utilise la technologie de distillation flash à plusieurs étages (MSF) est utilisée.

- **Sorek, Israël – 624 000 m³/jour** : Usine de dessalement par osmose inverse (OI), situé à 15 km au sud de Tel Aviv en Israël et développé par IDE Technologies.
- **Jubail 3A IWP, Arabie Saoudite - 600 000 m³/jour** : Le projet de dessalement par osmose inverse de l'eau de mer entièrement nouveau devrait être mis en exploitation commerciale au quatrième trimestre de 2022.
- **Sorek 2, Israël – 570 000 m³/jour** : En mai 2020, IDE Technologies et Bank Leumi ont construit la deuxième nouvelle usine de dessalement par osmose inverse à Sorek.
- **Fujairah 2, Émirats arabes unis – 591 000 m³/jour** : Deuxième hybride à rejoindre la liste mais cette fois aux EAU, Fujairah 2 s'empile à 591 000 m³/jour. Cela comprend plusieurs composants : une centrale thermique de 450 000 m³/jour, une installation d'osmose inverse de 136 500 m³/jour et une centrale électrique de 2000 MW. (Rowater-TS., 2021).

II-7 Le dessalement en Algérie

Le stress hydrique, qui a affecté le Pays pendant les années 90, a amené les pouvoirs publics à engager un programme d'urgence pour la sécurisation des zones côtières en alimentation en eau potable par le recours au dessalement d'eau de mer. En 1964, trois petits blocs de 8 m³/h chacun ont été installés au complexe Gaz liquéfié d'Arzew (Oran), et en 1969, une autre installation a vu le jour à Arzew avec une capacité de production de 4560 m³/j ; le procédé utilisé est MSF. Pour le renforcement et la sécurisation de l'alimentation de la population en eau potable, de nombreuses installations de dessalement et de déminéralisation ont été mise en place :

- Wilaya de Skikda 720m³/j en 1971 ;
- Wilaya d'Annaba 3600m³/j en 1973 ;
- Wilaya de Tlemcen 860m³/j en 1974 ;
- Wilaya d'Oran 350m³/j en 1978 ;
- Wilaya de Hassi Messaoud 350m³/j en 1978.

Il faut noter que l'expérience algérienne en matière de dessalement des eaux est étroitement liée au développement de l'industrie pétrolière et sidérurgique.

(Kettab.A. ; Bessenasse.M., 2005).

L'Algérie compte actuellement 14 stations de dessalement d'eau de mer opérationnelles, dont le nombre sera porté à 19, après l'entrée en exploitation des projets programmés, à partir de 2024. (Tableau II.1). (Algérie Presse Service, 2022).

Site	Débit	Procédé	Mise en service
Chlef (Tenes)	200 000m ³ /j	OI	2015
Tlemecen (Souk Tleta)	200 000m ³ /j	OI	2011
Alger (Hamma)	200 000m ³ /j	OI	2008
Alger (Staouali)	5000m ³ /j	OI	2021
Alger (Ain El Benian)	10 000m ³ /j	OI	2021
AinTemouchent(BeniSaf)	200 000m ³ /j	OI	2009
Oran (Kahrama)	90 000m ³ /j	MSF	2005
Oran (Bousfer)	5500m ³ /j	OI	2005
Skikda	100 000m ³ /j	OI	2009
Mostaganem	200 000m ³ /j	OI	2010
Boumerdes(Cap Djinet)	100 000m ³ /j	OI	2010
Tipaza(DouaoudaFouka1)	200 000m ³ /j	OI	2008

Tableau II.1 : Quelques projets existants en Algérie

II-8 Le coût de dessalement

Le coût du dessalement a baissé de moitié au cours des dix dernières années, avec cependant une remontée de prix récente, conséquence de la hausse de coût des matières premières, dont l'acier inox.

Au plan économique, les coûts d'investissement sont de 1000 à 1200 euro /m³/j pour la distillation en thermique MED, et de 900 à 1000 euro /m³/j pour l'osmose Inverse. Le coût de l'eau dessalée est estimé en faisant la somme des trois postes suivants : charges financières, coût de l'énergie, coûts de conduite exploitation et entretien.

Le coût de l'eau saumâtre dessalée est nettement inférieur à celui de l'eau de mer dessalée, il ressort, pour de grandes unités, de 0.2 à 0.3 euro/m³ en eau saumâtre contre 0.4 à 0.6 euro/m³ en eau de mer (Source Constructeurs, couts vérifiés). Ces chiffres sont plus élevés pour des unités plus petites, moins performantes ou anciennes, et bien sûr très sensibles

au coût de l'énergie électrique qui diffère selon les pays, et qui est moins élevée dans les pays pétroliers et gaziers comme l'Algérie et les pays du Golfe.

L'effet de taille fait baisser le coût de l'eau douce obtenue, d'où l'intérêt de construire des installations de capacité importante, si la demande le justifie et en veillant aux impacts environnementaux. **(Janah.Y. ; Ait Nouh.F. ; Kettab.A., 2017).**

Chapitre III

Procédé d'osmose inverse

III-1 Définition de l'osmose

L'osmose est un phénomène physique de diffusion qui correspond à une harmonisation des concentrations de soluté dans un solvant (l'eau généralement). Lorsque deux solutions de concentrations différentes sont mises de part et d'autre d'une membrane "semi-perméable", l'eau se dirige de la solution la moins concentrée en sels (milieu hypotonique) vers la plus concentrée en sels (milieu hypertonique), sous l'action de la pression osmotique et ainsi le milieu le plus concentré en sels sera équilibré (milieu isotonique). (Figure III.1). (Bolard.J., 2012).

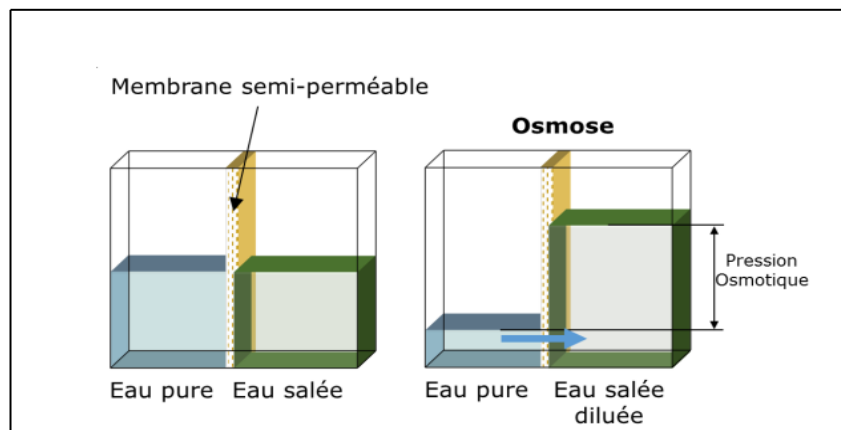


Figure III.1 : Schéma expliquant le principe d'osmose

III-2 Définition de l'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de filtration tangentielle qui permet l'extraction d'un solvant, le plus souvent l'eau, par perméation sélective à travers une membrane dense sous l'action d'un gradient de pression. Elle s'oppose au phénomène naturel d'osmose qui tend à transférer le solvant d'une solution diluée vers une solution concentrée mises en contact par une membrane sélective sous l'action du gradient de concentration. (Sagne.C., 2008).

Pour inverser le passage du solvant et augmenter la différence de concentration, il faut appliquer une pression supérieure à la pression osmotique, dite pression hydrostatique. (Figure III.2)

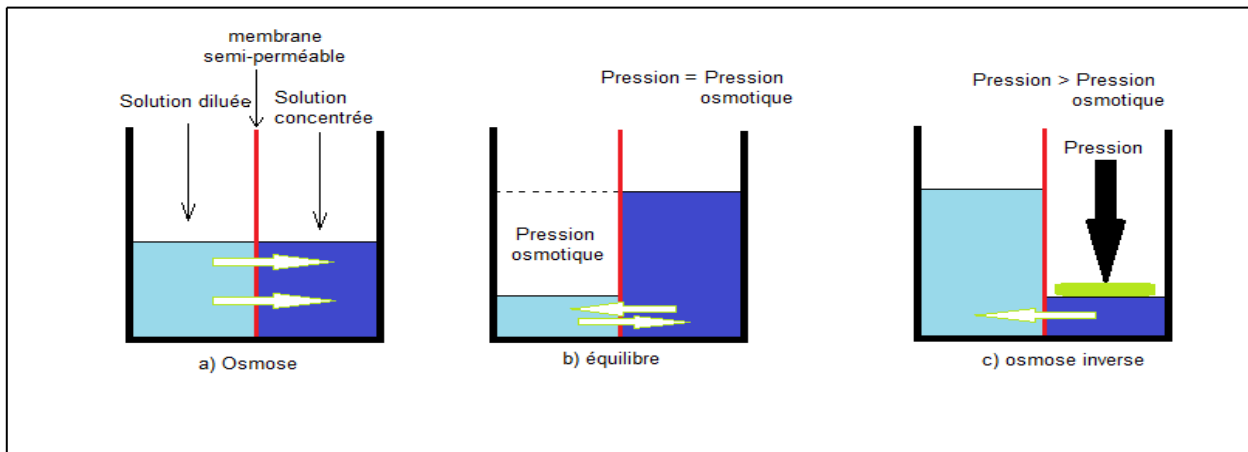


Figure III.2 : Mécanisme d'osmose inverse

Cette technique est utilisée pour : le dessalement des eaux de mer, le dessalement des eaux saumâtres, la production d'eau ultra pure, et la production d'eau de procédé (l'eau d'alimentation des chaudières, l'eau de refroidissement pour les échangeurs de chaleur ou les moteurs, l'eau déminéralisée pour les dilutions de produits chimiques...etc.).

Pression hydrostatique : C'est la force de poussée qu'exerce l'eau sur la surface d'un corps immergé. Cette pression vient compléter la pression osmotique dans l'étude de la mécanique des fluides. (**Aquaportail.com**).

Pression osmotique : C'est la force qu'il faut exercer sur une solution pour l'amener à un état d'équilibre avec le solvant dont elle est séparée par une membrane à perméabilité sélective. Elle est calculée ainsi : (**Maurel.A., 2006**).

$$\pi = i.C.R.T$$

Avec :

π : pression osmotique en bar ;

i : nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte ;

C : concentration molaire (mol/l) ;

R : constante des gaz parfaits ($0.082 \text{ l.bar.mol}^{-1}.\text{k}^{-1}$) ;

T : température absolue en K.

Exemple :

Quelle est la pression osmotique à 20°C d'une solution aqueuse de NaCl à 35g/l (≈Eau de mer) ?

Solution :

$i = 2$ (Na^{2+} ; Cl^-) ; $C = 0.598$ mol/l ; $R = 0.082$ l.bar.mol⁻¹.k⁻¹ ; $T = 293$ K

$C = 35\text{g/l} \rightarrow ? \text{ mol/l} \rightarrow M_{\text{NaCl}} = 58.5 \text{ g/mol}$
 $T = 20^\circ\text{C} + 273 = 293 \text{ k}$

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ mol} \rightarrow 58.5 \text{ g} \\ x \text{ mol} \rightarrow 35 \text{ g} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} x = 35/58.5 \\ x = 0.598 \text{ mol} \end{array} \right.$$

$$\pi = i.C.R.T$$

$$\pi = 2 * 0.598 * 0.082 * 293 = 28,83 \text{ bar}$$

$$\pi = 28,7 \text{ bar}$$

III-3 Schéma général d'une installation d'osmose inverse

Le procédé d'osmose inverse est le cœur du procédé de dessalement, avant de permettre à l'eau d'entrer la membrane elle passe par un poste de traitement appelé le prétraitement, l'eau refoulée vers les membranes d'osmose inverse sous pression à travers des pompes à haute pression, ce qui nécessite une importante consommation d'énergie de tous les équipements de la station.

La perte de charge à travers les membranes d'osmose inverse est d'environ 1.5 à 2 bars, en fonction du nombre d'éléments par tube de pression, le concentrat sort donc à haute pression. Grâce au système de récupération d'énergie, il est possible de réutiliser l'énergie du concentrat. Le concentrat est dirigé vers le système de récupération d'énergie, où il transmet directement son énergie à une partie de l'eau d'alimentation. (Figure III.3). (Adda.A., Naceur.W M., Abbas.M., 2016).

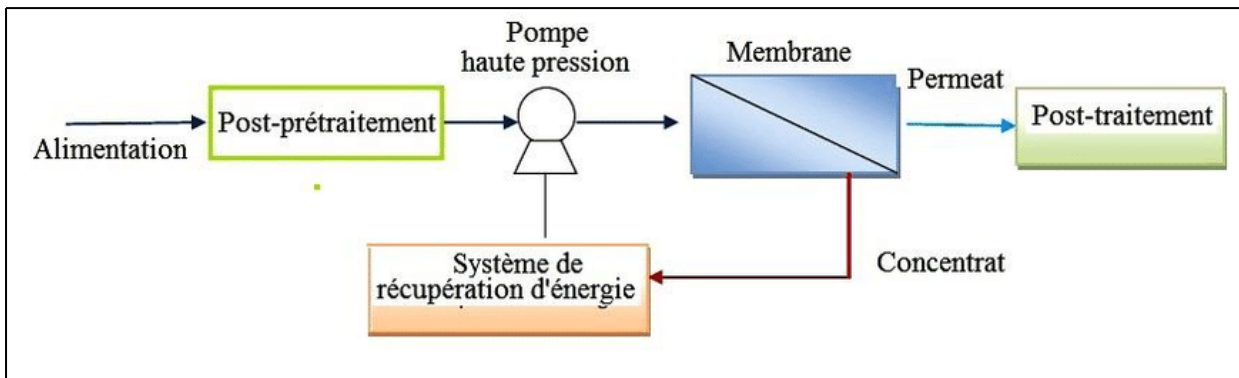


Figure III.3 : Schéma d'une installation d'osmose inverse

III-3-1 Membrane d'osmose inverse

Est une membrane à structure anisotrope ou asymétrique, constituée de deux couches superposées :

- Une sous-couche de 100 à 200 μm d'épaisseur et de texture relativement poreuse ;
- Une peau de très fine épaisseur (de 0.1 à 1.5 μm).

Le taux de conversion et la sélectivité des membranes sont les deux grandes notions qui permettent de caractériser les membranes. (Maurel.A., 2006).

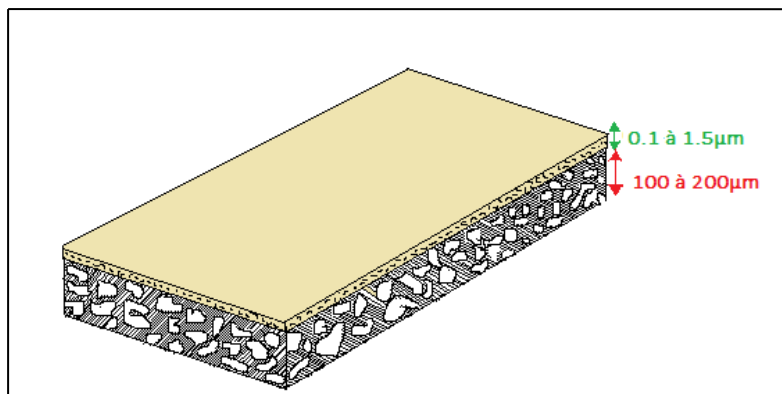


Figure III.4 : Structure d'une membrane asymétrique

Taux de conversion : correspond au rendement en débit d'une membrane semi-perméable. Le Taux de conversion (Y) se calcule à partir du débit d'alimentation Q_0 et du débit de production Q_p ($Q_0 - Q_p =$ débit de rejet) : $Y = P/A \times 100$. (Dictionnaire environnement).

$$Y = \frac{Q_p}{Q_o}$$

Avec :

Y : taux de convention ;

Q_p : débit de l'eau traitée (perméat);

Q_o : débit d'alimentation (eau de mer).

La sélectivité : est en général définie par le taux de rétention ou le taux de rejet des espèces (sels, macromolécules, particules) que la membrane est censé retenir.

$$TR = \frac{C_o - C_p}{C_o} = 1 - \frac{C_p}{C_o}$$

Avec :

TR : Taux de rejet

C_o : Concentration de l'espèce à retenir dans la solution ;

C_p : Concentration de la même espèce dans le perméat.

Dans le cas de l'osmose inverse, le soluté de référence est souvent le chlorure de sodium (NaCl), la déminéralisation des eaux étant l'application la plus importante. Certaines membranes développées pour le dessalement de l'eau de mer ont un taux de rejet au chlorure de sodium de 99 % environ. (**Berland.J M., Juery.C., 2002**).

L'écoulement du fluide sur la membrane est continu et tangentiel, pour éviter ou diminuer l'accumulation continue sur la membrane des espèces (sels, macromolécules, particules).

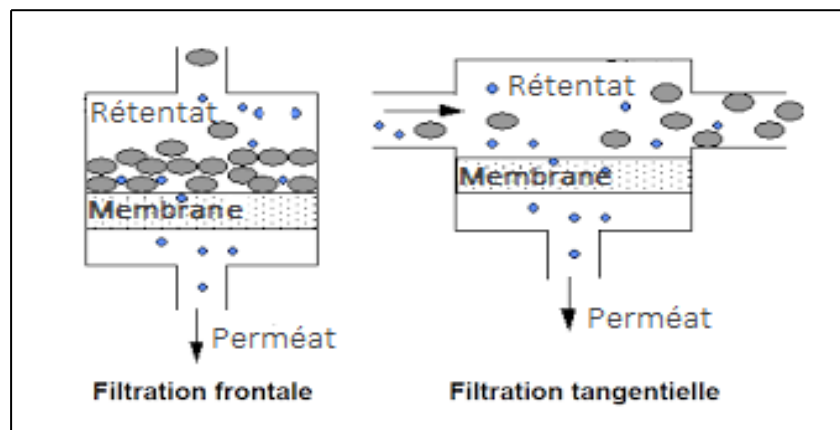


Figure III.5 : Comparaison entre filtration classique (frontale) et tangentielle

III-3-1-1 Différents types de membranes utilisées en osmose inverse

Selon la nature des matériaux constitutifs des membranes on parle de :

- Membranes organiques ;
- Membranes minérales ou inorganiques ;
- Membranes composites ;

A. Membranes organiques

Elles sont fabriquées, pour la plupart d'entre elles, à partir de polymères organiques (acétate de cellulose, polysulfones, polyamides, polyacrylonitrile...). La qualité de ces matériaux leur confèrent une grande adaptabilité aux différentes applications (résistance au colmatage, au produit chimiques, concentration élevée en sels...). Les membranes à base de polymères comptent parmi les plus utilisées dans les installations de dessalement à cause de leur faible cout. (Berland.J M., Juery.C., 2002).

B. Membranes inorganiques

Où encore dites membranes céramiques sont composées entièrement de corps minéraux (zicrone ZrO_2 , Alumine Al_2O_3 ...etc.). Elles sont largement répandues car elles sont très sélectives, très perméables et peuvent être soumises plus facilement à des procédés de nettoyage assez agressifs car elles ont une excellente résistance chimique, mécanique et surtout thermique. Mais elles sont plus couteuses que les membranes organiques. (Arzate.A., Ph.D., 2008).

C. Membranes composites

Apparues au début des années 1990, elles sont caractérisées par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique. Elles peuvent être organiques (superposition de polymères organiques différents), organo-minérales ou minérales (association de carbone ou d'alumine comme support et de métaux tels le zircon, l'alumine et le titane). (Berland.J M., Juery.C., 2002).

III-3-1-2 Durée de vie des membranes

La durée de vie des membranes d'osmose inverse dépend à la fois de la nature de la membrane et à la qualité du prétraitement de l'eau. En effet, certaines membranes sont sensible au Ph, température, produits chimiques comme le chlore, aux microorganismes, aux oxydants... et une mauvaise qualité du prétraitement cause le colmatage, et l'entartrage des membranes. Si ces membranes ne sont pas correctement entretenues, de graves conséquences seront causées pour le processus notamment des faibles quantités d'eau potable produites et en mauvaise qualité, ainsi qu'à des risques économiques (matériels et cout). (Maurel.A., 2006).

Les différentes techniques de nettoyage des membranes sont :

- Le rinçage (en utilisant le perméat) ;
- Le nettoyage mécanique ;
- Le nettoyage chimique ;
- Le nettoyage enzymatique.

L'entartrage : est un dépôt de sels minéraux sur les surfaces d'échange de la membrane (carbonates de calcium (CaCO_3), hydroxyde de magnésium (Mg(OH)_2), sulfate de calcium (CaSO_4), silicates de calcium (CaSiO_3) et de magnésium (MgSiO_3)).

Le colmatage : est le dépôt des minéraux, et des matières organiques tels que : MES, acides humiques ou fulviques, ainsi que le dépôt de colloïdes (silice, soufre, hydroxyde de fer (Fe(OH)_2)...). (Bekhti.S., 2006).

III-3-2 Modules d'osmose inverse

Pour être mise en œuvre, les membranes doivent être montées dans des supports appelés modules. Actuellement, quatre types de modules sont commercialisés :

A. Modules tubulaires

Les modules tubulaires sont constitués par un faisceau de tubes de 4 à 25 mm de diamètre intérieur. Ils sont basés sur une technologie simple, facile d'utilisation et de nettoyage, mais ils sont grands consommateurs d'énergie pour une faible surface d'échange par unité de volume. (Figure III.6). (Boucif.N., 2012).

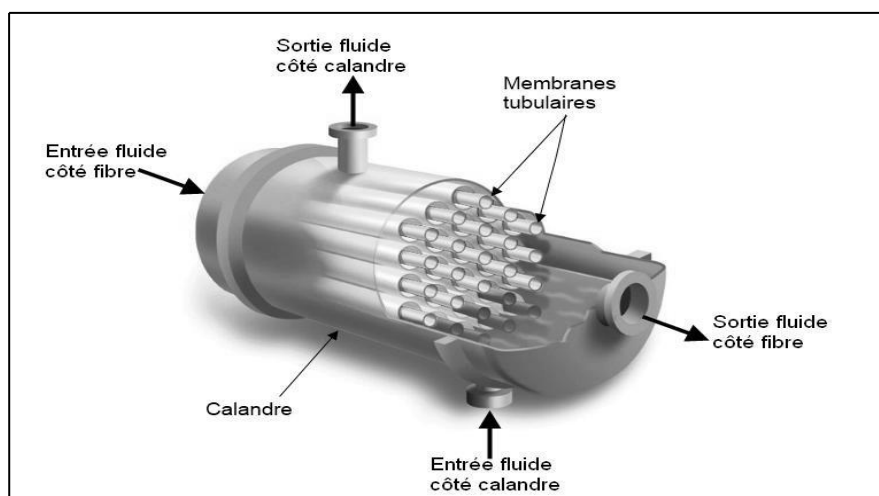


Figure III.6 : Module tubulaire

B. Modules fibres creuses

Ce type de module se présente comme un ensemble de fibres creuses regroupées dans une enveloppe. La peau est localisée à l'intérieur ou à l'extérieur de chaque fibre selon que le perméat est collecté à l'extérieur ou à l'intérieur des fibres (les fibres creuses jouent à la fois le rôle de membrane et de support : la membrane est chimiquement liée à son support, et insérée dans le tube). Ces systèmes sont très compacts, peu coûteux, particulièrement adaptés pour des fluides peu visqueux présentant de faibles risques de colmatage. Une pré-filtration est donc fortement recommandée. (Figure III.7). (Arzate.A., Ph.D., 2008).

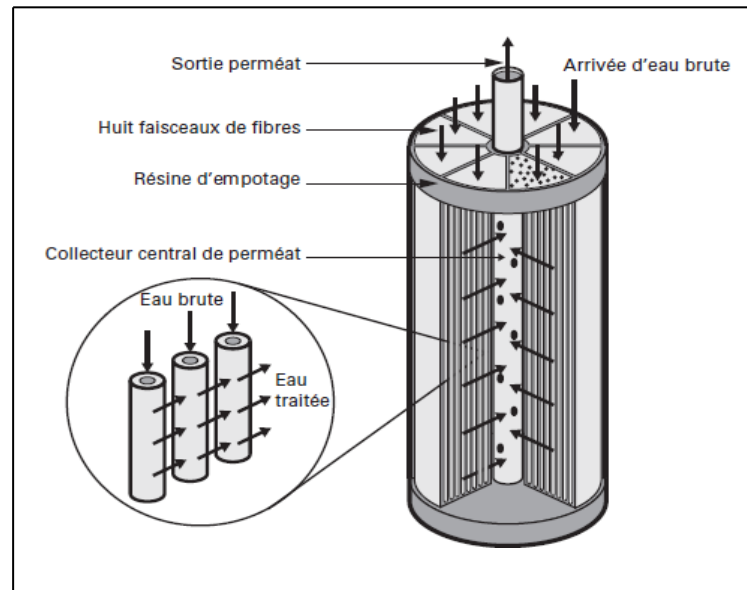


Figure III.7 : Module fibres creuses

C. Modules plans

Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples. Ils sont constitués d'un empilement de membranes et de plaques-supports. Le fluide à traiter circule entre les membranes de deux plaques adjacentes. Ces plaques assurent en même temps le soutien mécanique de la membrane et le drainage du perméat. Leur agencement permet de réaliser des circulations en parallèle et/ou en série. (Figure III.8). (Suez).

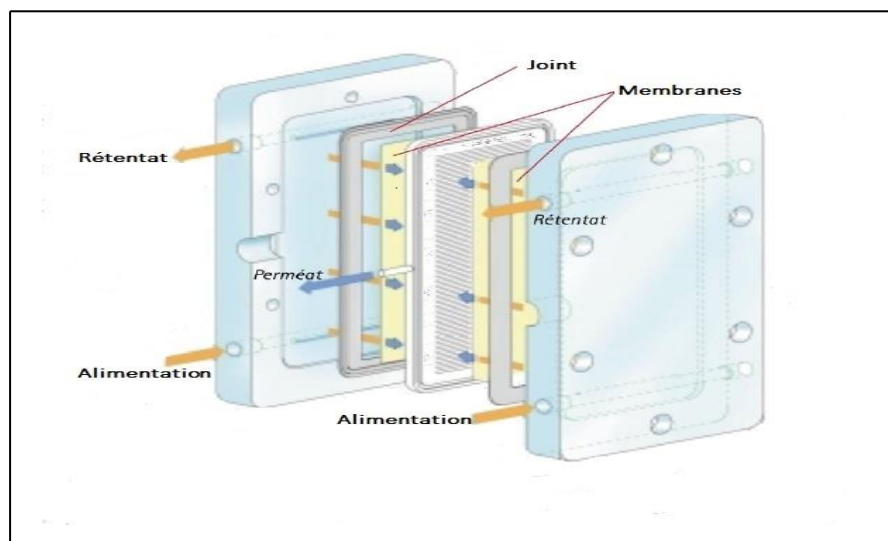


Figure III.8 : Module plan

D. Modules spirales

Dans ce type de module, les membranes planes sont entourée autour d'un tube perforé et ceux destiné à collecter le perméat. Entre les membranes est placé un grillage de 0.8 à 1.2 mm qui a pour but de créer une turbulence dans la circulation du fluide. (Figure III.9). (Maurel.A., 2006).

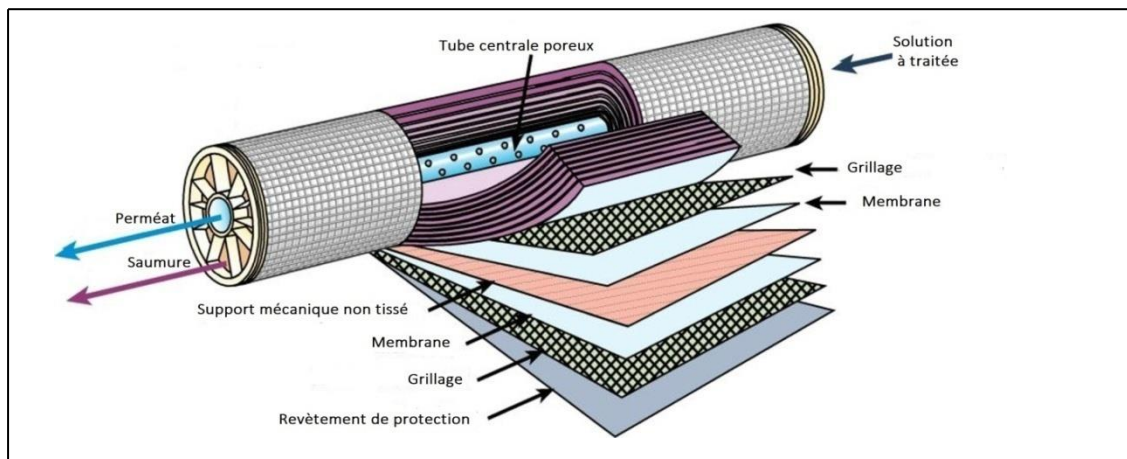


Figure III.9 : Module spiral

III-3-3 Etapes de prétraitement

L'objectif du prétraitement est d'éviter le colmatage des membranes et des modules, pour la longévité du matériel. Les principaux postes d'un prétraitement sont les suivants : chloration, clarification, prévention de l'entartrage, décoloration, filtration sur cartouche. (Figure III.10).

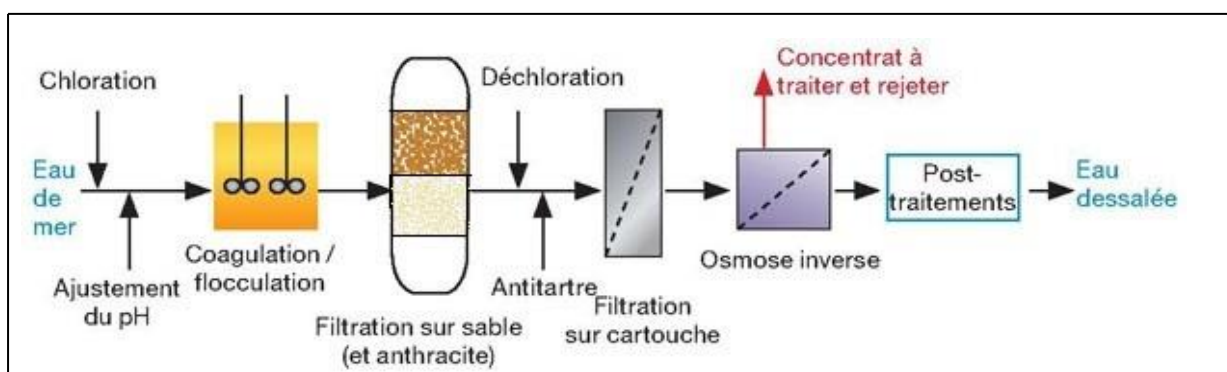
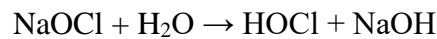
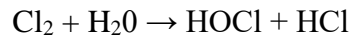


Figure III.10 : Prétraitement conventionnel typique

III-3-3-1 Chloration

L'injection du chlore est nécessaire pour la désinfection et éviter la croissance biologique qui cause le biocolmatage de la membrane et l'obstruction des conduites. Le chlore est ajouté

sous la forme d'hypochlorite de sodium (NaOCl) ou de gaz dichlore (Cl₂) qui est hydrolysé sous la forme d'acide hypochloreux (HOCl). Cette action permet aussi l'amélioration de la floculation-coagulation. (Tansakul.C., 2009).



III-3-3-2 Ajustement du pH

L'addition d'acide comme l'acide sulfurique (H₂SO₄) est nécessaire pour empêcher l'entartrage par CaCO₃. (Tansakul.C., 2009).

III-3-3-3 Clarification

La clarification désigne un ensemble de procédés de traitement qui a pour but l'élimination des matières en suspension, des matières colloïdales et des macromolécules susceptibles de communiquer à l'eau une turbidité ou une couleur indésirables. Il s'agit de matières organiques aussi bien que minérales.

Elle constitue les étapes de coagulation, floculation, décantation et filtration, permettant l'élimination des MES et des matières colloïdales présentes dans l'eau et diminue sa turbidité. (Mouchet.P., 2000).

A. Coagulation

Il s'agit de déstabiliser les particules colloïdales (la diminution du potentiel zêta) et à provoquer leur agglutination pour en faire des flocons qui se prêtent à la sédimentation en ajoutant des réactifs minéraux chargés négativement le plus souvent par Al³⁺ et Fe³⁺: (Assaad.E., 2006).

- Chlorure ferrique FeCl₃ ;
- Sulfate ferrique Fe(SO₄)₃ ;
- Sulfate d'aluminium Al₂(SO₄)₃.

B. Floculation

Représente l'ensemble des phénomènes physico-chimiques menant à l'agrégation de particules stabilisées auparavant par la coagulation pour former des flocons ou « flocs ».

Les membranes d'osmose inverse étant chargées négativement, il est recommandé d'utiliser des flocculant anioniques ou non ioniques : polymère. (Mottot.Y., 2000).

C. Décantation

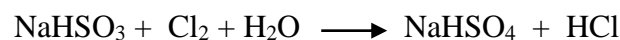
Consiste à éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Elle est utilisée principalement après une décarbonatation à la chaux ou sur des eaux très turbides (prise d'eau de mer à ciel ouvert). Dans de tels cas, on utilise des décanteurs lamellaires de surface plane. (Maurel.A., 2006).

D. Filtration sur sable

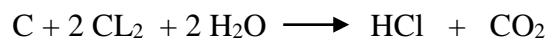
La filtration sur sable est destinée à la clarification de l'eau par l'élimination des MES à l'origine de l'eau brute ou issu de floculation. Elle peut être effectuée sous pression ou de façon gravitaire. Un filtre à sable est un type de filtre mécanique fréquemment constitué de sable disposé en couches de granulométrie croissante de haut en bas. (Maurel.A., 2006).

III-3-3-4 Déchloration et antitartrage

Compte tenu de la grande sensibilité des membranes d'osmose inverse, il est nécessaire d'injecter les produits d'antitartrage et de déchloration dans l'eau brute avant son entrée dans les modules. Cette étape consiste à injecter des inhibiteurs d'entartrage ou antitartres dans le but de protéger les membranes et modules d'osmose inverse des dépôts de tartre (CaCO_3 , CaSO_4 ,...). Souvent on utilise les polyphosphates, et les polymères carboxyliques. Ainsi que l'addition de solution chimique : bisulfate de sodium le plus souvent, pour la déchloration. (Maurel.A., 2006).



Ou soit par passage sur charbon actif :



III-3-3-5 Filtration de sécurité sur cartouches

La dernière étape du prétraitement conventionnel est la filtration sur cartouche avec une taille de maille de 5 à 10 μm pour protéger les membranes d'osmose inverse. Il faudra respecter scrupuleusement la fréquence de changement des cartouches. Celles-ci ne devront pas être nettoyées ni réutilisées. (Tansakul.C., 2009).

III- 3-4 Post-traitement

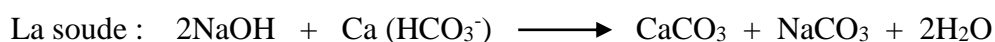
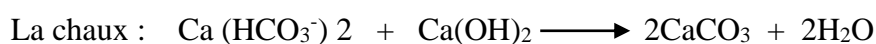
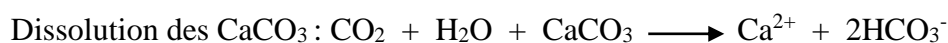
En général, l'étape de poste traitement comporte deux phases principales : l'ajustement de pH et la chloration.

III-3-4-1 Post-chloration

Bien que les membranes d'osmose inverse retiennent tous les micro-organismes (bactéries, virus) ; il est nécessaire d'assurer un résiduel de désinfection pour éviter toute contamination et développement biologique. Dans ce contexte, il existe de nombreuses méthodes de désinfection de l'eau, mais la plus utilisée est la chloration par l'utilisation d'une solution d'hypochlorite de sodium (eau de javel 12 °Cl). Pour raison de sécurité à la sortie de l'installation, il donnera une dose de 2.5 ppm pour assurer la désinfection de toutes les tuyauteries et les réservoirs. Tant que dans les points de consommation il existe encore du chlore résiduel entre 0.3 et 0.6 ppm. Ainsi, la chloration permet de détruire les organismes pathogènes présents dans l'eau et protéger l'eau contre de nouvelles contaminations ultérieures au cours de son transport ou son stockage. (Tahraoui.D N., et coll., 2010).

III-3-4-2 Correction de l'agressivité de l'eau

L'eau produite par osmose inverse est agressive, son pH est inférieur au pH de saturation. Subséquemment, la correction de pH se fait à l'aide d'une solution alcaline, automatiquement en fonction du pH (NaOH ou Ca(OH)₂). Cette neutralisation a pour but d'éviter les problèmes liés au CO₂ dissous dans l'eau (dissolution des carbonates de calcium CaCO₃) pour obtenir une eau ni agressive, ni incrustante, car elle présente de multiples inconvénients par exemples elle peut provoquer le saturnisme chez les consommateurs ; d'autre part, elle contrarie le développement osseux des organismes jeunes. (Tahraoui.D N., et coll., 2010).



Chapitre IV

Matériel et méthodes

IV-1 Présentation de la station de dessalement « Palm Beach »

La station de dessalement de Palm Beach est située au niveau de la commune de STAOUALI (à environ 22 km à l'ouest d'Alger), à proximité d'Azur plage et l'hôpital de rééducation Azur plage Ygoubi Zohir. D'une capacité de 5000 m³/j, la station alimente le château d'eau de la commune de Sidi Fredj, mais actuellement elle est d'une capacité de production de 2500 m³/j. La station à été mise en exploitation le 19 Aout 2021, le procédé de traitement utilisé est l'osmose inverse.

Cette infrastructure fait partie d'un programme d'urgence lancé par le ministère des Ressources en eau, visant à contribuer à la sécurisation des approvisionnements en eau potable dans la wilaya d'Alger. (Figure IV.1).

La station dispose d'un petit laboratoire où chaque étape du processus de dessalement est suivie par une analyse : contrôle de qualité (Ph, Tc°, turbidité, conductivité, chlore résiduel) et un contrôle périodique du matériel utilisé (pompe, membrane, filtre...).

D'une durée de stage de 15 jours, nous avons suivi les étapes de dessalement de l'eau de mer au niveau de la station Palm Beach.



Figure IV.1 : Photo représentative de l'usine de dessalement de Palm Beach

IV-2 Etapes de dessalement suivi au niveau la station de « Palm Beach »

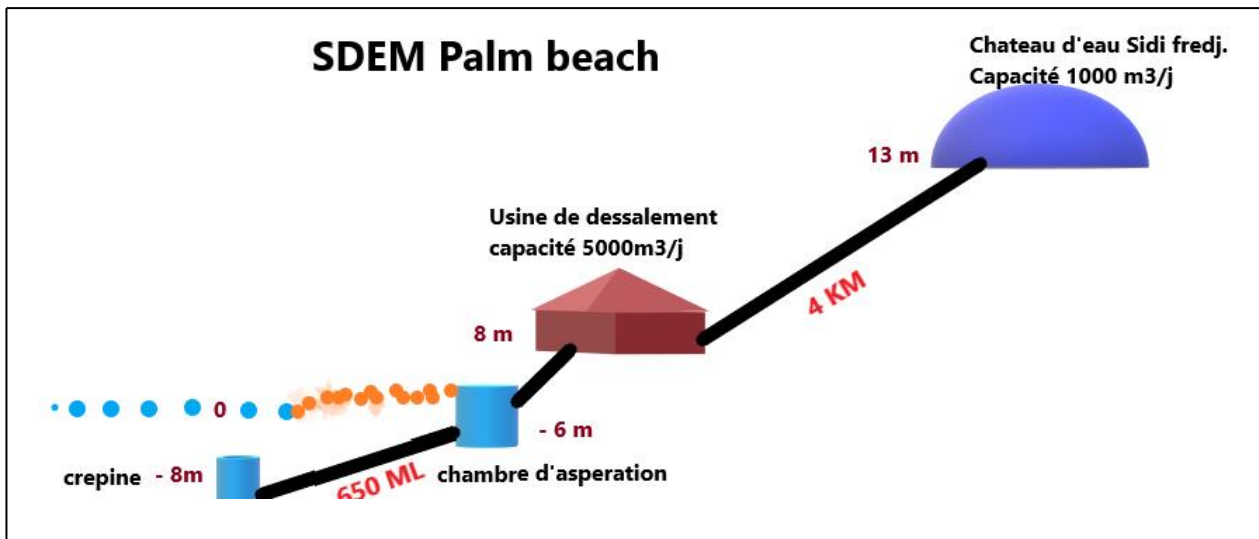


Figure IV.2 : Schéma d'installation de la station de Palm Beach

IV-2-1 Prise d'eau

Deux techniques peuvent être utilisées : les forages côtiers et les prises d'eau de surfaces.

→ Les forages côtiers : sont recommandés lorsque la qualité de l'eau de mer varie suivant les saisons et/ou lorsqu'il est possible d'avoir des pics élevés de turbidité.

→ La prise d'eau de surface : dans le cas idéal le captage doit être effectué en zone profonde, éloigné de la côte, protégé des pollutions et des courants forts.

La technique utilisée par la station Palm Beach est la prise d'eau de surface.

Durant cette étape, l'eau s'introduit par gravité à l'intérieur des conduites, en passant à travers une crépine (filtre positionnée à l'extrémité d'un tuyau d'aspiration d'eau de mer), servant à arrêter et empêcher les éléments grossiers (sacs, bouteilles en plastiques – animaux marins ...) susceptibles de gêner les étapes suivantes du dessalement, ainsi protéger les machines et matériels du dessalement.

Celle-ci est placée à 650 m au large car l'eau est plus propre et stable, et à -8 m de profondeur par rapport au niveau de la mer. Lorsque la crépine est totalement chargée d'éléments indésirables, elle sera remplacée par une autre neuve à l'aide d'un radeau équipé de palan.

L'eau filtrée se stagne dans un réservoir à -6m de profondeur par rapport au niveau de la mer, et sera pompée par la pompe à refoulement pour continuer les autres étapes de traitement.

La pompe est caractérisée d'un diffuseur de chlore appelé « point de choc », sert à insérer le Cl_2 à l'intérieur de la conduite pour inactiver les micro-organismes et micro-algues présents et empêcher leur prolifération et ainsi l'obstruction de la conduite. (Cette action se fait à-peu-près chaque 3 mois selon le taux de saleté).

Durant cette étape se fait aussi l'injection d'acide sulfurique (H_2SO_4), à fin de réduire au minimum la saleté et de diminuer le pH pour la décomposition des carbonates (CO_3^{2-}).

IV-2-2 Prétraitement chimique

Une fois l'eau est filtrée, elle passe vers la chambre de vannes (Figure IV.4), où elle subit un prétraitement chimique par l'addition de coagulant (chlorure ferrique FeCl_3), et flocculant (polymère), ensuite vers le décanteur lamellaire où les flocculants formés dans l'étape précédente ainsi que les petites particules de sable se décantent au fond du bassin (Figure IV.3). L'eau clarifiée sera stockée dans le réservoir d'eau clarifiée, et le sable sera récupéré et déposé dans les lits de séchage.

Durant cette étape, se fait l'injection de l'hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) pour une désinfection primaire: c'est une pré-chloration, mais aussi pour augmenter le pH et l'alcalinité (neutralisation de CO_2).

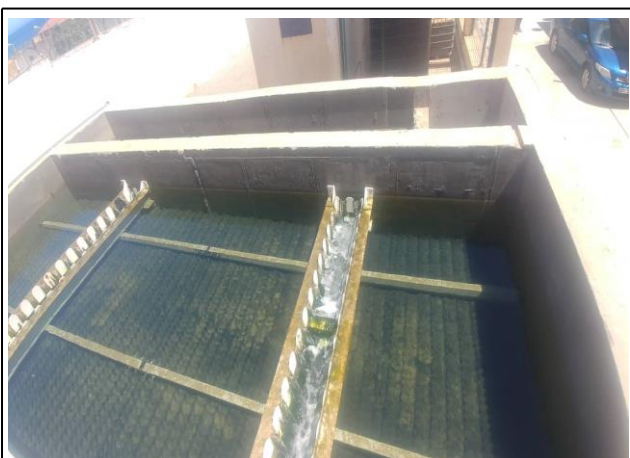


Figure IV.3 : Décanteur lamellaire



Figure IV.4 : Chambre de vannes

IV-2-3 Filtration

A. Filtration sur sable

L'eau clarifiée stockée passe à travers une conduite vers les filtres à sables (Figure IV.5). Elle sera pompée à l'aide de pompes dites pompes transfères.

Les filtres à sables sont formés de trois couches différentes : couche de sable fin, charbon actif, et une couche de gravier.

Pour le nettoyage des filtres, les réservoirs de filtres à sables sont liés au suppresseur d'air (Figure IV.6) et au réservoir de la saumure. On effectue la technique du retro lavage du bas vers le haut.



Figure IV.5 : Filtres à sables



Figure IV.6 : Suppresseur d'air

Avant d'être envoyé vers la deuxième étape de filtration, on injecte :

→ Le réactif SMBS (Métabisulfite de sodium $\text{Na}_2\text{O}_5\text{S}_2$), pour éliminer le chlore car il détruit les membranes d'osmose inverse, et empêcher l'oxydation d'autres substances chimiques (anti oxydation) ;

→ L'anti scalant/antitartre pour éviter l'entartage des membranes d'osmose inverse c'est-à-dire, le dépôt de sels, tels que le carbonate de calcium, et le sulfate de calcium, sur les membranes.

B. Filtration sur cartouches/micro-filtres

Les micro-filtres, sont des membranes filtrantes dont le diamètre des pores est compris entre 0.1 et 10 μm . La microfiltration élimine donc les MES, bactéries et indirectement une partie de la contamination virale (virus en se liant au biofilm bactérien qui recouvre la membrane), et les particules polluantes responsables du colmatage des membranes d'osmose inverse. (Figure IV.7) (Figure IV.8).



Figure IV.7: Réservoir de micro filtres



Figure IV.8 : Micro filtre de 5 μm

C. Filtration sur membranes d'osmose inverse

Cette étape ne pourra pas être lancée sans la vérification de l'efficacité des étapes de traitement précédentes, car la durée de vie des membranes dépend essentiellement de la qualité de traitement de l'eau.

La pompe haute pression HP alimente l'unité d'osmose inverse avec une énergie de 62 bars. Cette énergie est suffisante pour effectuer la séparation liquide-solide (la pression est fixée selon le débit et la densité du flux d'eau à traiter, et sa concentration en sels).

La pompe HP est liée à un récupérateur d'énergie, qui récupère 2 bars d'énergie utilisée pendant l'osmose inverse.

L'unité d'osmose inverse de la station est formée de deux racks chacun contient 28 modules. (Actuellement un seul rack qui est en service). (Figure IV.9), (Figure IV.10).



Figure IV.9: Le rack



Figure IV.10: Module d'osmose inverse

Le lavage des membranes se fait à-peu-près chaque 3 mois par une solution chimique préparé au niveau de la station. On reconnaît que les membranes ont besoin d'un lavage lorsque :

- La production (perméat) diminue de 10 à 15 % ;
- Présence d'une quantité élevée de sels dans l'eau de sortie (perméat) ;
- La perte d'énergie (augmenter la pression de la pompe HP à cause du colmatage des membranes).

IV-2-4 Post-traitement

L'eau déminéralisée dite « perméat » sera récupérée et stocker dans le réservoir d'eau traitée et subie une désinfection par l'injection du chlore, et une correction de pH par la soude (hydroxyde de sodium NaOH).

Pour la reminéralisation, l'eau de dessalement produite par la SDEM Palm Beach sera reminéralisée une fois mélangée avec l'eau du château d'eau de Sidi Fredj, (celle-ci est chargée en sels minéraux).

Pour le concentrat rejeté « saumure », une partie sera stockée dans le réservoir de saumure utilisé pour le lavage des filtres à sables et l'autre partie sera rejetée dans l'eau de mer.

Pour s'assurer que l'eau produite par la SDEM Palm Beach est de bonne qualité, une analyse a été effectuée au niveau du laboratoire de la SEAAL.

Les analyses effectuées se font suivant les normes internationales élaborées par l'Organisation Internationale des Normalités ISO/TC 147, Qualité de l'eau.

IV-3 Présentation de l'entreprise SEAAL

La société des eaux et de l'assainissement d'Alger (SEAAL) est une société publique algérienne par actions créée en 2006, elle est détenue à 70% par l'Algérienne Des Eaux (ADE) et à 30% par l'Office National de l'Assainissement (ONA). La SEAAL dispose de trois unités : Production, distribution, et assainissement.



. → **Objectif de notre étude** : Le suivie de la qualité de l'eau produite par la SDEM Palm Beach, et vérification de sa conformité aux normes internationales des aux potables et aux normes algériennes.

Notre durée de stage est de 11 jours, du 19 au 30 juin 2022.

IV-4 Matériel et méthodes

IV-4-1 Matériel

▪ Analyse physico-chimiques

- | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| → Oxymétrie électronique ; | → Becher ; | → burette ; |
| → Agitateur magnétique ; | → pH mètre ; | → pipette ; |
| → Turbidimètre ; | → Cuve ; | → Barreau aimanté |
| → Conductimètre ; | → Fiole 50 ml ; | → Spectrophotomètre ; |
| → Capsule 60 ml ; | → Tube à essai ; | → kit de mesure LCK301 ; |
| → Distributeur automatique ; | → Filtre à 0.47 μ m ; | → Pince. |
| → Etuve ; | → Balance analytique de précision ; | |
| → Automate de mesure de chlore ; | | |

▪ Analyses bactériologiques

- | | | |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| → Bec benzène ; | → Filtre à 0.45 μ m ; | → Pince ; |
| → Etuve ; | → Rampe de filtration ; | → Fiole à vide ; |
| → Pompe à vide ; | → Entonnoir ; | → Plaque poreuse ; |
| → Boite pétri ; | → Gélose Viande-Foie ; | → Filtre à 0,22 μ m ; |
| → Gélose chromogène. | | |

IV-4-2 Méthodes

A. Analyses physico-chimiques

○ Oxygène dissout

1. Rincer la sonde de l'oxymètre avec de l'eau distillée puis par l'eau d'échantillon à analyser ;
2. Plonger la sonde dans la bouteille d'échantillon à analyser.

L'oxygène dissout est mesuré en milligrammes d'oxygène (O₂) par litre d'eau. (Figure IV.11)

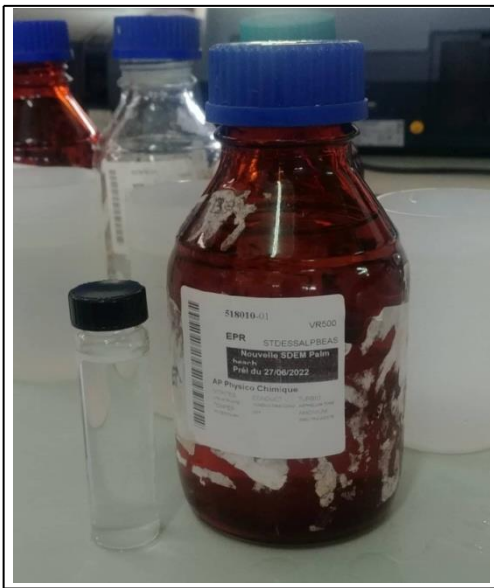


Figure IV.11 : Echantillon d'eau à analyser

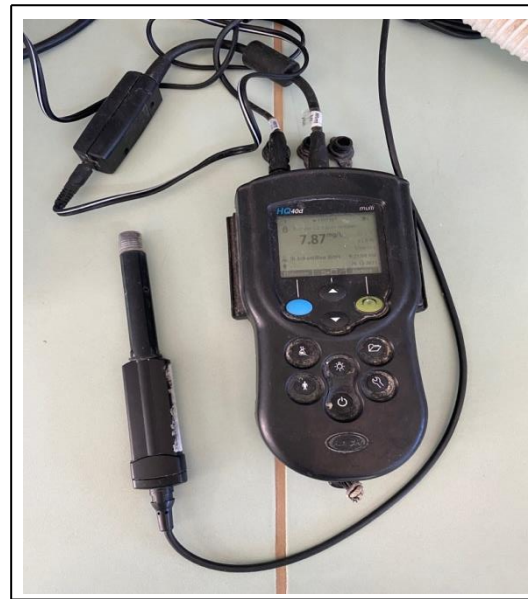


Figure IV.12 : Oxymètre électronique

○ Mesure de pH et température

1. Valider les propriétés de l'appareil, en utilisant deux étalons à pH=4, et pH=7 ;
2. Placer l'échantillon d'eau à analyser dans un flacon/bécher préalablement rincé à l'eau distillée puis avec l'échantillon même ;
3. Rincer la sonde avec de l'eau distillée puis avec l'échantillon d'eau ;
4. Remplir les flacons de façon à ce que la sonde soit bien immergée, avec agitation.

○ Conductivité

1. Valider les propriétés de l'appareil par un étalon de 1413 μ s/cm, en cas de dérive l'appareil doit être étalonné puis révérifier ;
2. Placer l'échantillon d'analyse dans un bécher/flacon préalablement rincé à l'eau distillée puis avec l'eau d'échantillon ;
3. Rincer l'électrode avec de l'eau distillée puis avec l'eau d'échantillon. (Figure IV.13).



Figure IV.13: Mesure de pH, et T°C au pH-mètre et conductivité au conductimètre

○ **Turbidité**

1. Valider les propriétés de l'appareil par deux étalons $E_1 < 0.1 \text{ NTU}$, $E_2 = 20 \text{ NTU}$.
2. Rincer la cuve avec l'échantillon d'eau à analyser ;
3. Remplir la cuve d'échantillon jusqu'au trait blanc son faire des bulles;
4. Incérer la cuve dans le puits de mesure en plaçant la flèche de la cuve face au repère.

(Figure IV.14).



Figure IV.14 : Turbidimètre

○ **Alcalinité**

1. Mettre 100ml d'eau à analyser (Solution titrée) dans un bécher préalablement rincé à l'eau distillé ;
2. Mesuré le pH de l'eau par le pH-mètre. (si le pH est < 8.30 cela signifie absence des

- ions CO_3^{2-} si est > 8.30 on commence le titrage) ;
3. Mettre la solution de titrage : l'acide chlorhydrique (HCl) à 0.10 mol/l dans la burette préalablement rincée avec de l'eau distillée ;
 4. Titrer le HCl jusqu'au point d'équivalent $\text{pH}=8.30$ avec agitation, noter le V_1 (volume correspondant à la concentration des CO_3^{2-});
 5. Continuer le titrage jusqu'à attendre $\text{pH}=4.5$ avec agitation, noter le V_2 (volume correspondant à la concentration du HCO_3^-);
 6. Calculer la concentration du HCO_3^- et CO_3^{2-} . (Figure IV.15).

$$[\text{mg/l}] = V (\text{HCl ajouté}) \times M (\text{HCO}_3^- \text{ ou } \text{CO}_3^{2-})$$

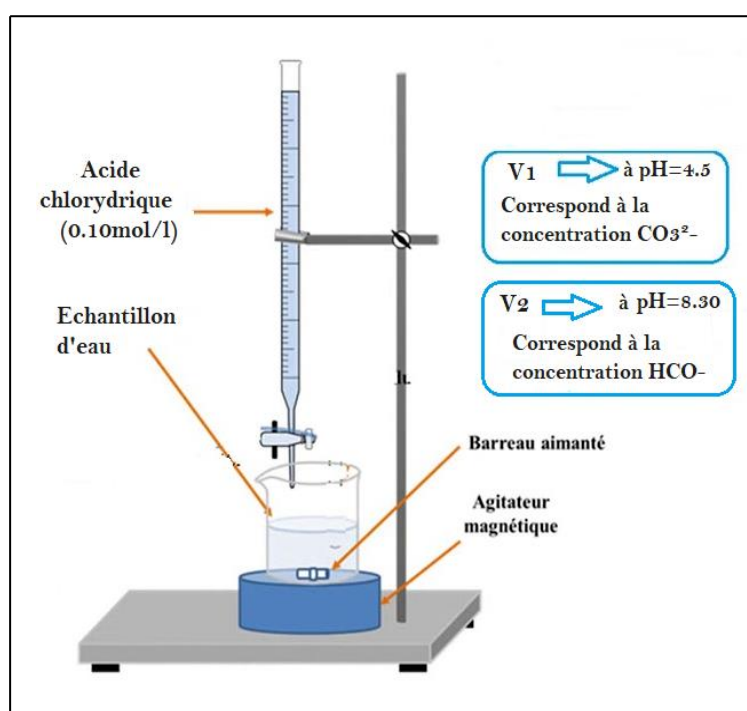


Figure IV.15: Schéma expliquant le principe de mesure d'alcalinité

o Dosage d'ammonium

1. Dans une fiole bien nettoyée de 50ml, mettre 40ml d'échantillon d'eau à analysée ;
2. Ajouter successivement 4ml du réactif colorée, et 4ml du réactif dichloro-isocyanurate de sodium, et compléter avec l'eau distillée jusqu'à 50ml ;
3. Attendre le développement de la réaction, minimum après 60 min ;
4. Le virage de couleur de l'eau vers un jaune vert, signifie la présence d'ammonium.
5. Dans le cas de présence de d'ammonium, nous devons laisser poser 60min puis passer à la lecture spectrométrique à 655 nm.

o Dosages des orthophosphates

1. Dans une fiole de 50ml bien nettoyée, verser 40ml d'échantillon à analyser ;
2. Ajouter dans l'ordre : 1ml d'acide ascorbique à 100g/l, et 2ml de solution molybdate acide ;
3. Compléter à 50ml avec de l'eau distillé ;
4. Agiter quelques secondes ;
5. Après un temps compris entre 10-30 min : si un virage de couleur bleu est apparu, cela signifie présence d'ortho phosphates.
6. Dans le cas de présence d'ortho-phosphate, nous devons laisser poser 30min puis passer à la lecture spectrométrique à 880 nm.

o Nitrates

1. Dans une capsule de 60ml lavée préalablement à l'acide et à l'eau distillée (afin de prévenir les contaminations), introduire à l'aide d'une pipette 10ml d'échantillon à analyser ;
2. Ajouter de 2 à 3 gouttes d'hydroxyde de sodium NaOH à 30% (pour formé le complexe NO_3^- ;
3. Ajouter 1ml de salicylate de sodium (0.5g/100ml d'eau distillé) ;
4. Evaporé à sec dans l'étuve pendant 2h à 80°C ;
5. Laisser refroidir ; et reprendre le résidu par 2ml d'acide sulfurique concentré 96% de pureté ;
6. Attendre 10min, ajouter 15ml d'eau distillée puis 15ml de la solution de tartrate double de sodium et de potassium N-NO_3^- qui développe la couleur jaune ;
7. Attendre 10min, effectuer la lecture au spectrophotomètre à longueur d'onde 420 nm.

o Nitrites

1. Dans une fiole à 50ml bien nettoyée, mettre à l'aide d'une pipette 40ml d'échantillon à analysé ;
2. Ajouter 1ml du réactif mixte/réactif coloré ; homogénéiser et compléter à 50ml avec de l'eau distillée ;
3. Attendre 20 min, si y a présence de nitrites la couleur de l'échantillon vire vers le rose ;
4. Dans le cas de présence de nitrites, nous devons laisser poser 20min puis passer à la lecture spectrométrique à 540 nm.

o Dosage d'aluminium

1. Utiliser un kit de mesure LCK301 ;
2. Dans un tube à essai rempli d'une poudre rose, verser 3ml d'échantillon d'eau à analyser ;

3. Ajouter 2ml de méthanol, et une cuillère de réactif B, bien mélanger ;
4. Laisser poser 25min et passer à la lecture spectrométrique. (Figure IV.16),
(Figure IV.17)



Figure IV.16 : Dosage d'aluminium

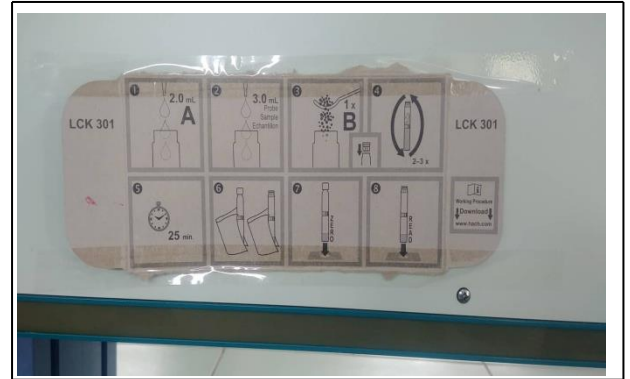


Figure IV.17 : Kit de mesure LCK 301

○ Dosage de Calcium

1. Prendre 50ml d'échantillon à l'aide d'une pipette dans un bécher et mettre sur la balance analytique de précision ;
2. Ajouter 2ml de solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) afin de rendre le milieu basique et de précipiter les ions magnésium ;
3. Ajouter une pincé d'indicateur coloré « Murexide » tout en mélangeant à l'aide d'un agitateur magnétique ;
4. Titrer à l'EDTA à 0.01mol/l jusqu'à apparition de la couleur rose. (Figure IV.18).

○ Dosage Magnésium

1. Prendre 50ml d'échantillon à l'aide d'une pipette, et verser dans un bécher ;
2. Ajouter 4ml de solution tampon (ammoniac) à pH=10 et une pincé d'indicateur coloré « Eriochrome black », bien mélanger ;
3. Titrer lentement la solution d'EDTA à 0.01mol/l jusqu'à l'apparition de la couleur bleu.
4. Noter le volume V_2 d'EDTA ajouté (c'est le volume de Ca^{2+} et Mg^{2+}). (Figure IV.19).



Figure IV.18 : Dosage de calcium



Figure IV.19 : Dosage de magnésium

○ **Chlorure**

1. A l'aide d'une pipette prélever 10ml d'échantillon d'eau, dans une fiole de 100ml, ajouter 100ml d'eau distillée (dilution), verser dans un bécher placé sur un fond blanc ;
2. Ajouter 1ml de chromate de potassium (K_2CrO_4) de couleur jaune qui réagit avec le $AgCl$ pour former un précipité rouge brun de chromate d'argent Ag_2CrO_4 ;
3. Titrer lentement à l' $AgNO_3$ jusqu'à apparition de la couleur brun rougeâtre ;
4. Incrire le volume de nitrate d'argent dans le logiciel LIMS ainsi que le facteur de dilution pour calculer la concentration des chlorures dans l'eau analysée.

○ **Chlore libre**

1. Remplir le tube/fiole à essai préalablement rincé avec l'eau à analysée, d'échantillon à analysé ;
2. Introduire un comprimé du réactif DPD N°1 et mélanger jusqu'à dissolution ;
3. Introduire le tube à essai dans l'appareil (automate) et lire le résultat. (Figure IV.20).

○ **Chlore totale**

1. Après la lecture du chlore libre ajouter au tube d'essai le réactif DPD N°3 et mélanger jusqu'à dissolution ;
2. Placer le tube dans l'automate et lire le résultat. (Figure IV.20).



Figure IV.20 : Automate de mesure de chlore

○ **Matières organiques (MO)**

1. Valider les propriétés du spectrophotomètre par un « blanc » (eau purifiée) ;
2. Homogénéiser le contenu du flacon d'échantillon par agitation manuel ;
3. Remplir la cuve d'échantillon d'eau à analysé jusqu'au trait blanc ;
4. Lire le résultat affiché à longueur d'onde 254 nm.

B. Analyses bactériologiques

Nous effectuons cette analyse pour le dénombrement des *Escherichia coli*, les bactéries coliformes, et bactéries anaérobies sulfito-réductrices par la méthode de filtration sur membrane. (Figure IV.20).

La température à l'intérieur du laboratoire doit être entre 18° et 28°C afin de maintenir les appareils.

Afin d'éviter toutes contaminations il faut, avant d'entreprendre l'opération, s'assurer que le plan de travail est correctement désinfecté et qu'il n'y a pas de courant d'air. Il faut aussi allumer un bec bunsen à moins de 20 cm de la zone de stérilité.

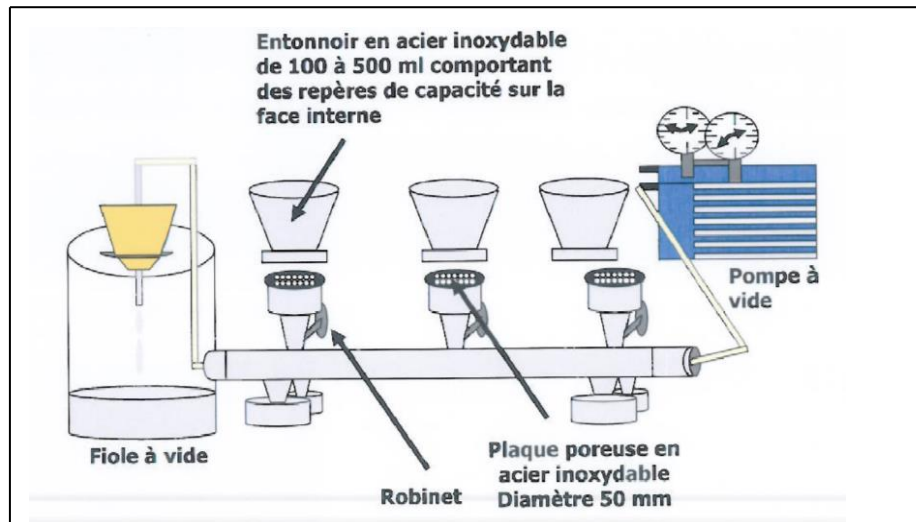


Figure IV.21 : Méthode de filtration

- **Dénombrement des Escherichia coli et des bactéries coliformes sur la gélose chromogène**
 1. Mettre en route la pompe à vide et ouvrir le robinet ;
 2. Flamber l'entonnoir et la plaque poreuse en aspirant la flamme, poser l'entonnoir sur le support et le fixer, puis fermer le robinet ;
 3. Prélever le filtre à 0.45 μm dans son emballage stérile en le saisissant par le bord avec une pince flambée et refroidie, ensuite l'étaler sur la plaque poreuse ;
 4. Agiter le flacon d'eau à analyser, puis verser 100 ml stérilement ;
 5. Ouvrir le robinet de la rampe pour laisser l'eau s'écouler ;
 6. Dès que l'eau est filtrée, prélever la membrane (filtre) avec une pince flambée en le saisissant par son bord ;
 7. Déposer la membrane dans la boîte de pétri à gélose chromogène en prêtant attention à ne pas piéger de bulles d'air ;
 8. Incuber à $36^{\circ}\pm 2^{\circ}$ pendant 24h dans l'étuve le couvercle vers le bas.

Après la période d'incubation, on compte toutes les colonies présentes, les résultats sont exprimés en UFC (unité formant colonie) par 100 ml d'échantillon.

→ Comptage des colonies positives couleur bleu foncé à violet en tant qu'E.coli qui nécessite la présence des coliformes.

→ Comptage des colonies positives couleur rose à rouge en tant que bactéries coliformes présomptives.

- **Dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices sur la gélose viande-Foie**

→ Préparation du milieu de culture :

1. Utiliser un bain marie à une température de 100°C ;
2. Faire fondre le flacon contenant la gélose stérile ;
3. Laisser refroidir à une température de 50° C ;
4. Rajouter les additifs (alun de fer et sulfite de sodium) à la gélose base juste avant l'utilisation.

→ Filtration de l'échantillon :

1. Chauffer l'échantillon dans un bain marie à 75°C ± 5°C pendant 15 mn ;
2. Subir à l'échantillon un choc thermique en le mettant immédiatement sous l'eau du robinet jusqu'à température ambiante ;
3. Procéder ensuite à la méthode de filtration sur membrane à 0.22 µm ;
4. Placer le filtre face supérieure tournée vers le bas dans le fond de la boîte de Pétri en s'assurant qu'il ne reste pas de bulles d'air sous le filtre ;
5. Verser le milieu de culture avec additifs (gélose Viande-Foie + Alun de fer + sulfite de sodium) jusqu'au rebord de la boîte de Pétri ;
6. Incuber à 37 ± 1°C pendant 20 ± 4 h et 44 ± 4 h.

Après la période d'incubation, on compte toutes les colonies présentes, les résultats sont exprimés en UFC (unité formant colonie) par 100 ml d'échantillon.

→ Comptage de toute colonie noire entourée d'un halo noir est considérée comme résultant d'une spore de bactérie anaérobie sulfito-réductrice.

Chapitre V

Résultats et discussion

V-1 Résultats

V-1-1 Paramètres physiques

Les résultats obtenus montrent que les paramètres physiques de l'eau dessalée rentrent dans les normes de qualité de l'eau potable ainsi, on constate que la turbidité est très faible comparant aux normes algériennes et d'OMS fixée à 5 NTU, en effet celle-ci est de l'ordre de 0.37 NTU. Les valeurs de pH et de température fixées par l'OMS et les normes algériennes sont les suivants : $\text{pH} \geq 6.5$ et ≤ 9 et $T^{\circ}\text{C}$ est égale à 25, et celles affichés sur le tableau sont $\text{pH} = 8.05$ et $T^{\circ} = 21^{\circ}\text{C}$. Pour la conductivité sa valeur est elle aussi très faible comparant aux normes, elle est égale à 520 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C . (Tableau V.1), (Annexe I ; Tableau 1., Tableau 2).

Comparant nos résultats a celles obtenus au niveau de la station de dessalement de Cap Djennat (wilaya de Boumerdes) elles sont presque les mêmes. (Tableau V.1), (Annexe I., Tableau 3).

Tableau V.1 : Résultats des paramètres physiques obtenus de mois de juin

Paramètres de qualité de l'eau	Résultat final	Unité
Paramètres physiques		
Turbidité	0.37	NTU
pH	8.05	-
Température	20	$^{\circ}\text{C}$
Conductivité	520	$\mu\text{S}/\text{cm}$

V-1-2 Paramètres organoleptiques

Les résultats d'analyses d'odeur et de flaveur nous montrent que les valeurs sont inférieure à 3, ce qui répond à la norme algérienne qui est fixée à 4. (Tableau V.2). (Annexe I ; Tableau 2).

Tableau V.2 : Résultats des paramètres organoleptiques obtenus de mois de juin

Paramètres de qualité de l'eau	Résultat final	Unité
Paramètres organoleptiques		
Odeur	< 3	Seuil
Flaveur	< 3	Seuil

V-1-3 Paramètres chimiques et minéralisation globale

D'après le tableau on remarque que les valeurs des minéraux sont très faibles voir nul, ainsi :

→La dureté est $< 2^{\circ}\text{f}$ (< 20 ppm), cette valeur est très loin de celle fixée par l'OMS : 200 ppm et le journal algérien : 500mg/l CaCO_3 (500 ppm).

→La valeur de calcium (Ca^{2+}) est égale à 3 mg/l ce qui est très faible comparant à la norme fixée par l'OMS : 100 mg/l et le journal algérien : 200 mg/l.

→Le titre alcalimétrique complet (TAC) est égale à 0.967°f (9.67mg/l), on constate qu'elle est très faible comparant à la norme fixée par le journal algérien : 65 mg/l CaCO_3 , et le titre alcalimétrique (TA), est égale à 0.

→Le taux de sulfate dans l'eau traité est relativement nul par rapport à la norme fixée par le journal algérien : 400 mg/l, il est < 20 mg/l.

→Les valeurs de sodium (Na^+) potassium (K^+) sont respectivement les suivantes : (Na^+) = 67 mg/l et (K^+) = 3.3 mg/l. On constate que les valeurs sont nettement inférieures aux normes fixées par l'OMS et le journal algérien : (Na^+) = 200 mg/l ; (K^+) = 12 mg/l.

→La valeur des chlorures dans l'eau de dessalement est de 166 mg/l et comparant à celle fixée par l'OMS : 250 mg/l et le journal algérien : 500 mg/l, elle est trop faible.

Seul le taux d'oxygène dissout (O_2) qui est supérieur à celui fixé par le journal algérien : 5 mg/l, il est égal à 7 mg/l. (Tableau V.3), (Annexe I ; Tableau 1., Tableau 2).

Par rapport au résultats de la SDEM Cap Djennat, nos résultats sont très faibles. (Tableau V.3), (Annexe I ; Tableau 3).

Tableau V.3 : Résultats des paramètres chimiques et minéralisation globale obtenus de mois de juin

Paramètres de qualité de l'eau	Résultat final	Unité
Paramètres chimiques+ minéralisation globale		
Oxygène dissout	7	mg/l
Dureté TH	< 2	$^{\circ}\text{f}$
Calcium Ca^{2+}	3	mg/l
TAC	0.967	$^{\circ}\text{f}$
TA	00	$^{\circ}\text{f}$
Sulfates	< 20	mg/l
Sodium	67	mg/l

Potassium	3.3	mg/l
Carbonates CO ₃ ⁻	0	mg/l
Bicarbonates HCO ₃ ⁻	14	mg/l
Chlorure (Cl)	166	mg/l

V-1-4 Paramètres indésirables

Les valeurs des paramètres indésirables sont toutes inférieures aux normes fixées par le journal algérien et l'OMS, elles sont ainsi relativement nulles, et comparant a celles obtenus au niveau de la SDEM Cap Djennat elles sont proches.

→La teneur des nitrites (NO₂⁻) est < 0.03 mg/l et celle des nitrates (NO₃⁻) est < 2 mg/l. Les valeurs fixées par le journal algérien sont : 0.2 mg/l pour les nitrites, et 50 mg/l pour les nitrates ;

→Les ortho-phosphates sont < 0.09 mg/l, la valeur fixée par le journal algérien est de 5 mg/l ;

→La concentration d'aluminium est < 0.02 mg/l tandis que celle fixée par l'OMS et le journal algérien est de 0.2mg/l ;

→La valeur de l'ammonium est < 0.03 mg/l, et celle fixée par l'OMS te le journal algérien est 0.5 mg/l ;

→La valeur du fer est à 0.03 mg/l, tandis que celle de journal algérien est de 0.3 mg/l ;

→La concentration du manganèse est < 0.002 mg/l, la norme fixée par l'OMS est de l'ordre de 0.4 mg/l et par le journal algérien est de 50µg/l (0.05 mg/l).

Pour les matières organiques leurs valeur est de 1.42 mg/l. (Tableau V.4), (Annexe I ; Tableau 1., Tableau 2., Tableau 3).

Tableau V.4 : Résultats des paramètres indésirables obtenus de mois de juin

Paramètres de qualité de l'eau	Résultat final	Unité
Paramètres indésirables		
Nitrite (NO ₂ ⁻)	< 0.03	mg/l
Nitrate (NO ₃ ⁻)	< 2	mg/l
Ortho-phosphates	< 0.09	mg/l
Aluminium	< 0.02	mg/l

MO	1.42	mg/l
Ammonium (NH ⁴⁺)	< 0.03	mg/l
Fer	0.03	mg/l
Manganèse (Mn ²⁺)	< 0.002	mg/l

V-1-5 Paramètres de toxicité

La concentration de : chrome, plomb, cadmium, nickel, mercure, et arsenic est < 2 µg/l. les valeurs fixées par l'OMS et le journal algérien sont les suivantes :

→Chrome (Cr⁺) = 0.05 mg/l ;

→Plomb (Pb) = 0.01 mg/l ;

→Cadmium (Cd) = 0.003 mg/l ;

→Nickel (Ni) = 0.07 mg/l ;

→Mercure (Hg) = 0.006 mg/l ;

→Arsenic (As) : fixé à 0.02 mg/l par l'OMS et 0.01 mg/l par le journal algérien.

Seule la concentration du bore qui diffère et qui est égale à 1.4 mg/l. La valeur fixée par l'OMS est de 0.5 mg/l et par le journal algérien est de 1.3 mg/l, on remarque que celle-ci est dans les normes. (Tableau V.5), (Annexe I ; Tableau 1, Tableau 2).

Tableau V.5 : Résultats des paramètres de toxicité obtenus de mois de juin

Paramètres de qualités de l'eau	Résultat final	Unité
Paramètres de toxicité		
Chrome	< 2	µg/l
Bore	1.4	mg/l
Plomb	< 2	µg/l
Cadmium	< 2	µg/l
Nickel	< 2	µg/l
Mercure	< 2	µg/l
Arsenic	< 2	µg/l

V-1-6 Paramètres microbiologiques

Les résultats du tableau montrent que l'eau produite par dessalement est exempte de toute contamination microbienne ainsi les valeurs de bactéries coliformes, anaérobies sulfito-réductrices et Escherichia Coli, sont toutes égales à 0 nb/ml, et sont donc conformes aux normes fixées par l'OMS et le journal algérien. (Tableau V.6), (Annexe I ; Tableau 1., Tableau 2).

Tableau V.6 : Résultats des paramètres microbiologiques obtenus de mois de juin

Paramètres microbiologiques		
Bact Coliformes	0	UFC/100 ml
ASR (anaérobies sulfito-réductrices)	0	UFC/100 ml
Escherichia coli	0	UFC/100 ml

V-2 Discussion

En fonction des résultats des différents tests physico-chimiques, organoleptiques, minéralisation globale, paramètre de toxicité et microbiologique de l'eau produite par la station de dessalement Palm Beach de Staouali, on note une eau qui répond aux normes de potabilité. Néanmoins les valeurs obtenues sont très faibles comparant aux normes, ainsi l'eau n'est pas apte d'être envoyée directement au consommateur, elle doit tout d'abord passer par un traitement de reminéralisation.

Les résultats obtenus sont liés d'une part au traitement de l'eau par dessalement et d'une autre part à la nature de l'eau de mer traitée. Ainsi les valeurs de turbidité, pH, et de température sont en fonction de la période d'analyse d'échantillon, qui a été réalisée en mois de juin où l'eau de mer est calme et chaude (ce qui explique la $T^{\circ} = 20^{\circ}\text{C}$), le lieu de prise d'eau (-8 m en profondeur et 650 m au large), ainsi que les traitements de coagulation-floculation, décantation, filtration sur sable et procédé de séparation membranaire (osmose inverse) ce qui explique la turbidité qui est égale à 0.37 NTU. Pour le pH celui-ci est aussi lié au traitement par les produits chimiques ajoutés qui affecte la concentration des ions H^+ dans l'eau (élévation et diminution), tels que l'acide sulfurique (H_2SO_4) et l'hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$), ce qui explique le $\text{pH} = 8.05$, et pour la conductivité son taux est trop faible ($520\mu\text{S}/\text{cm}$) à cause du traitement par filtration sur membrane d'osmose inverse qui a la capacité de retenir les particules dont le diamètre est entre 0.1-1 nm.

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matière organique en décomposition. (**Rodier.J., Legube.B., Merlet.N., et coll., 2009**). Une eau de bonne qualité doit être sans odeur et agréable à boire, ce qui n'est pas le cas pour l'eau de dessalement car celle-ci est fade ce là revient au manque de minéraux.

Le contenu en oxygène dissous de l'eau est influencé par la source, la température de l'eau brute, le traitement et les processus chimiques et biologiques qui se produisent dans le réseau de distribution. (**OMS., 2017**), ainsi que le taux de pH ; plus celui-ci est élevé plus le taux d'oxygène dissout diminue, et vice versa.

Le titre hydrométrique (TH) ou dureté de l'eau est l'indicateur de la minéralisation de l'eau, elle est due aux ions calcium et magnésium. Sa valeur est < 2 °f, et selon l'Union française de professionnels de traitement de l'eau (UAE) : 0 à 8° f une eau est très douce, soit de 0 à 0,8 mmol/litre. (**UAE., 2013**). Ce qui explique la faible concentration des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} dans l'eau de dessalement, et probablement cela est due au traitement par osmose inverse d'une part et aux produits ajoutés (de correction de pH, de désinfection...) d'une autre part. Pour l'alcalinité : le titre alcalimétrique complet (TAC) : correspond à l'alcalinité totale au pH=4.5, ce qui revient à déterminer les ions HCO_3^- , CO_3^- , OH^- , et le titre alcalimétrique (TA) : correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^- , déterminer au pH= 8.30 : si le pH $< 8,30$ le TA est = 0.

Les valeurs des ions HCO_3^- et CO_3^- sont très faibles d'où le taux de TAC = 0.937 °f, et le pH enregistré est égale à 8.05. Ces faibles concentrations, influencent l'équilibre calco-carbonique de l'eau :



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

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

La teneur en CO₂ influence le pH :

Si : le CO₂ libre > CO₂ équilibrant → L'eau est agressive (pH acide) ;

Si : le CO₂ libre = CO₂ équilibrant → Eau en équilibre (pH neutre) ;

Si : le CO₂ libre < CO₂ équilibrant → Eau incrustante (saturée en sels dissous) pH de saturation. **(Rodier.J., et coll., 2005).**

Lorsque l'eau est agressive elle provoque le phénomène de corrosion (correspond à une diminution uniforme d'épaisseur d'un métal ou d'alliage, résultant l'interaction électrochimique entre l'eau et le métal ou l'alliage et sa transformation en oxyde insolubles.).

Lorsqu'elle est incrustante elle provoque le phénomène d'entartrage qui cause le colmatage des canalisations et des membranes d'osmose inverse.

Le pH de l'eau analysée rentre dans les normes et donc n'est ni agressif ni saturé, ce qui veut dire que les minéraux (CO₂, OH, HCO³⁻, CaCO₃) sont équilibrés.

Comme on l'a déjà expliqué, l'osmose inverse est un procédé de séparation membranaire qui est capable de retenir les particules dont le diamètre est entre 0.1-1 nm. C'est pourquoi les valeurs de minéralisation enregistrés sont très faibles voir nulles : sulfates < 20 mg/l, sodium = 67 mg/l, potassium = 3.3 mg/l, chlorure = 166 mg/l. C'est le cas pour les paramètres indésirables (nitrites < 0.03 mg/l, nitrates < 2 mg/l, phosphates < 0.09 mg/l, aluminium < 0.02 mg/l, matière organique = 1.42 mg/l, ammonium < 0.03 mg/l, fer = 0.03 mg/l, manganèse < 0.002 mg/l), et les paramètres de toxicité (bore = 1.4 mg/l, chrome < 2 µg/l, plomb < 2 µg/l, cadmium < 2 µg/l, nickel < 2 µg/l, mercure < 2 µg/l, arsenic < 2 µg/l).

La présence de ces minéraux dans l'eau est pour certains indispensable et pour d'autres non, en effet le sodium et le potassium constituent les cations les plus abondant du milieu extracellulaire chez l'homme et contribuent dans l'excitabilité musculaire et la perméabilité cellulaire et maintien la pression osmotique du milieu intérieur, et sont donc important pour sa santé ainsi que le sodium qui maintien l'équilibre des liquides organiques et contribue au bon fonctionnement des muscles et des nerfs. **(Gouvernement du Canada), (OMS., 2017).** Les chlorures sont souvent utilisés pour la désinfection de l'eau destinée à la consommation.

Les nitrites, nitrates, phosphates, aluminium, matière organique, ammonium, fer et manganèse sont des paramètres indésirables leur présence en grandes quantité dans l'eau de consommation provoques par bioaccumulation des maladies neurologiques et pulmonaires et

des affections comme diarrhée et vomissement chez l'homme, ainsi elles confèrent à l'eau un goût et une odeur indésirables (MO), et un développement de la turbidité et de la coloration (Fe, Mn). (OMS., 2017).

Même à faibles doses, une exposition chronique aux métaux lourds peut avoir des conséquences sérieuses sur la santé humaine. Toutefois, l'impact sur la santé des aliments qui contiennent ces contaminants s'avère assez complexe à évaluer. L'évaluation des risques dépend de nombreux facteurs tels que le degré d'exposition, la masse corporelle, l'âge, le genre et la situation géographique. Les femmes enceintes et les enfants en bas âge sont souvent considérés comme étant les plus vulnérables, en raison de la fragilité du fœtus et de l'enfant en développement. Ainsi le chrome, le bore, le plomb, le cadmium, le nickel, le mercure, et l'arsenic provoquent des effets toxiques sur la santé qui se traduit en développement physique anormal chez les enfants, hypertension, irritations cutanées, stimulation du système nerveux central suivie de dépression, troubles rénaux chroniques, formation de calculs rénaux, augmentation du risque de cancer... . (Bordeleau.S., 2016).

De nombreux micro-organismes (bactéries, virus et parasites) sont présents dans les eaux naturelles superficielles telles que les bactéries coliformes, Escherichia coli, et bactéries ASR, et sont à l'origine de nombreuses maladies infectieuses (choléra, typhoïdes, diarrhées.....etc.)

À l'échelle mondiale, la pollution bactériologique des eaux est l'une des principales préoccupations des organismes internationale de la santé à cause des dégâts humains et économiques qu'elle provoque. Ainsi l'eau destinée à la consommation doit être exempte de toute contamination bactérienne et c'est le cas pour notre échantillon d'eau analysé ce qui affirme la bonne qualité de traitement réaliser.

Par ailleurs, des résultats similaires ont été rapportés dans une étude réalisée au niveau de la station de dessalement de Cap Djennat wilaya de Boumerdes, en utilisant le même procédé de dessalement, à savoir l'osmose inverse. En effet, les caractéristiques physico-chimiques obtenues au niveau de cette station sont parfois très proches et parfois supérieurs à nos résultats, et cela est due a la nature de l'eau de mer traitée, la période d'échantillonnage (mois d'avril), le dosage des produits de traitement utilisées, et l'ancienneté du matériels utilisés.

Le dessalement de l'eau de mer joue un rôle crucial dans le développement de la vie humaine car il résout le défi d'approvisionnement en eau dans les zones où l'eau est rare. Néanmoins, il entraîne à long terme des effets néfastes sur l'environnement.

En effet, de grandes quantités de carburant sont brûlées pour générer l'énergie nécessaire au dessalement (le plus souvent fournie par des combustibles fossiles), en résulte des émissions atmosphériques de type à combustion de carburant, tels que le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote, les hydrocarbures non brûlés et les oxydes de soufre. Les brûleurs de dessalement et les centrales électriques sont la principale source d'oxydes de soufre car des combustibles à haute teneur en soufre sont généralement utilisés.

La présence de ces gaz volatiles dans l'atmosphère conduit un grave danger sur l'environnement (effet de serre, réchauffement climatique, pluies acides, nuage de pollution ; le smog), et sur la santé humaine (maladies respiratoires, allergies, problèmes cardiaques, problèmes neurologiques, accidents vasculaires cérébraux). **(Lecomte.V., 2014).**

Ajouter a cela, les rejets de la saumure qui est d'un coté concentrée et chargé en sels, et lorsqu'elle est rejetée sans dilution ni traitement, elle induit une augmentation de la concentration en sel autour de la zone de rejet (peut atteindre une concentration en sel variant de 65 à 85 g / l) et aboutit a la formation d'un système stratifié de couches de plus en plus salées en allant vers le fond, ce qui diminue les brassages entre eau de fond et eau de surface et provoque l'anoxie (absence d'oxygène) et la diminution de la lumière. Et de l'autre coté elle est chaude : l'énergie thermique (procédé de distillation) ou l'énergie mécanique (procédé d'osmose inverse) nécessaires au processus de dessalement de l'eau de mer sont à l'origine d'une augmentation de la température de l'eau et donc d'une température élevée de la saumure. Pour les usines a procédé membranaire, l'augmentation de température entre l'eau de mer et la saumure est relativement faible. En revanche, pour les usines à procédé thermique, cette élévation de température est bien plus conséquente, de l'ordre de 2,8°C en moyenne. La température des eaux de rejet peut même être beaucoup plus élevée lorsque la saumure est mélangée aux effluents d'une centrale électrique (centrale qui permet d'alimenter en énergie l'usine de dessalement) avant déversement à la mer. Ces effluents peuvent ainsi modifier la température de l'eau de mer au niveau de la zone de rejet de la saumure, ce qui produit la réduction de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices, et des effets nocifs pour les espèces thermorésistantes.

Sans oublier les rejets chimiques : les produits chimiques utilisés pendant le prétraitement tels que les sous-produits de désinfection, de coagulation et floculation et les produits d'antitartre finissent par être éliminés via la saumure. De ce fait, la saumure peut contenir des traces de métaux lourds comme le cuivre, le chrome, le nickel, le fer, le molybdène...etc. Ce qui provoque la toxicité du milieu récepteurs et ainsi perturbation du mode de vie de la flore et la faune du milieu marin, et les problèmes d'eutrophisation et d'élévation du pH.

Le lieu de prélèvement de l'eau de mer peut aussi provoquer un danger sur les écosystèmes marins, si l'eau est prélevée dans des puits côtiers, les dangers sont réduits non seulement aux captages (pas de conséquences sur la faune et la flore marine), mais aussi aux lieux de rejets. L'eau étant plus pure aux puits côtiers qu'au large (filtration par le sable), elle nécessite en effet moins de traitements chimiques, mais d'une autre part la réalisation de forages peut mettre en danger les nappes souterraine, en effet l'eau de mer salée peut s'introduire à l'intérieur de ces nappes et ainsi changer les caractéristique de cette eau. A l'inverse, si l'eau est captée aux large, différentes perturbations des écosystèmes marins peuvent être observées. Il faut ajouter a ces effets les impacts liées aux canalisations permettant de conduire l'eau de mer jusqu''a l'usine. En effet l'entraînement dans le circuit d'eau peut tuer un grand nombre de petits organismes marins tels que le phytoplancton, les zooplanctons (petits invertébrés, bactéries etc.) et les alevins, bien que les impacts au niveau des populations n'aient pas été clairement établis. **(Lecomte.V., 2014).**

Cependant des stratégies d'atténuation et de contrôle pour les différents impacts environnementaux associées au dessalement sont nécessaires. Par exemple, pour la pollution atmosphérique, pourquoi ne pas opter à l'utilisation des énergies propres et renouvelables comme l'énergie solaire cas de Sultanat d'Oman qui à lancer un projet photovoltaïque pour le dessalement de l'eau de mer. **(Mancebo.J., 2022).** On peut citer aussi comme exemple le projet Mega-ton Water system qui est une technique d'osmose inverse développé par le docteur japonais Masaru Kurihara dans le but de réduire la consommation d'énergie et la pollution marine. Le projet consiste à utiliser une membrane d'osmose inverse à basse pression innovante, (cette dernière a une surface plus large et pores plus étroits, nécessitant moins de pression pour dessaler l'eau de mer ainsi réduit de 20 % à 30 % la consommation d'énergie). **(Series SCIENCE & TECHNOLOGY).**

De bonnes pratiques pour la gestion de la saumure existent dans les pays ayant un recours intensif au dessalement pour faire face à la pénurie d'eau comme la Californie. Alors pourquoi pas nous ?

On pourrait par exemple diluer la saumure avant de la rejeter directement dans l'eau de mer avec une eau fraîche naturelle (rivière) si l'installation est située près d'un delta ou effluent d'eau usée rejeté dans la mer. (**Lenntech**).

La saumure peut également être une source de production de l'électricité, et est une "mine" de magnésium, gypse, chlorure de sodium, calcium, potassium, chlore, brome, lithium, bore, strontium, rubidium, uranium...etc. (**Gamberini.G., 2019**).

Au final, le procès de dessalement de l'eau de mer semble être le moyen d'approvisionnement en eau numéro un dans le monde, et il connaît une évolution extraordinaire ces dernières années et peut-être dans le proche avenir de nouvelles techniques de dessalement seront nées, mais il faut noter que lorsque le dessalement est l'unique solution pour alimenter les populations en eau douce, des études scientifiques précises doivent être menées sur site avant implantation de l'usine, pour en limiter les impacts, au risque de détruire les écosystèmes marins locaux.

Conclusion

Conclusion

L'eau produite par la station de dessalement « Palm Beach » de Staouali présente une conformité aux normes de potabilité fixées par l'OMS et le journal algérien. En effet, celle-ci est exempte de toute contamination bactérienne, et pauvre en éléments toxiques et métaux lourds ce qui confirme la bonne qualité de traitement et de suivie.

Néanmoins, les paramètres physico-chimiques mesurés, montrent que l'eau traitée est très faible en sels minéraux indispensables à la santé du consommateur d'une part, et à l'équilibre du pH et seuil de gout d'une autre part, à titre d'exemple les concentrations de $[Ca^{2+}] = 3 \text{ mg/l}$, $[Na^{2+}] = 67 \text{ mg/l}$, $[K^+] = 3.3 \text{ mg/l}$, $[SO_4^-] < 2 \text{ mg/l}$, $[Fe^{2+}] = 0.03 \text{ mg/l}$. Ainsi on constate qu'une eau de dessalement ne peut être consommée qu'après un traitement de reminéralisation. Pour se faire, la station de « Palm Beach » envoie son eau produite vers le château d'eau de Sidi Fredj et ainsi elle se mélange avec les eaux de forages et de barrages qui alimente le château d'eau.

Le souci majeur qui doit être soigneusement traité est la saumure ; la station se débarrasse du déchet de dessalement (saumure) en l'injectant directement dans l'eau de mer ce qui induit une augmentation de la concentration en sel autour de la zone de rejet et qui aurait comme conséquence à long terme des détriments continus sur la vie aquatique. Le rejet de saumure dans la mer aboutit en effet à la formation d'un système stratifié de couches de plus en plus salées en allant vers le fond, ce qui diminue les brassages entre eau de fond et eau de surface et qui conduit à la diminution des concentrations d'oxygène, et de la lumière, sans oublier les dangers de toxicités des produits chimiques accompagnés. Nous proposons alors à la station de diluer la saumure avant de la rejeter à l'eau, on la mélangeant soit avec une eau de rivière ou oued, ou avec un effluent d'eau usée rejeté dans la mer.

Ajouter au problème de la saumure, le problème d'émissions atmosphériques (gaz à effet de serre), et de consommation d'énergie, représente la préoccupation primordiale des nations ayant adopté la technologie de dessalement de l'eau de mer, en effet certain pays ont déjà avancé dans la technologie hybride qui consiste à utiliser l'énergie solaire et éolienne comme source d'énergie remplaçant l'énergie fossile à titre d'exemple les Emirats Arabes Unis.

Dans ce cadre, nous espérons que le gouvernement algérien intervient avec des décisions décisives pour adopter cette stratégie, qui reviens bénéfique au pays (cout et énergie).

Pour finir, le dessalement demeure le moyen d'approvisionnement d'eau le plus courant pour garantir la production d'eau et assurer la sécurité hydrique, en tenant compte de l'importance et les danger qui menacent l'environnement.

Références bibliographiques

Adda A., Naceur M W., Abbas M., 2016 ; Modélisation et optimisation de la consommation d'énergie d'une station de dessalement par procédé d'osmose inverse en Algérie. Revue des Energies Renouvelables Vol. 19 N°2 (2016) 157 – 164.

Albouy V., 2008 ; 250 réponses aux questions d'un écocitoyen. Livre editeur : Le gerfau.

Algérie Presse Service ; Dessalement d'eau: lancement en mai d'une opération de réalisation de 5 stations. Article publié le : Dimanche, 01 Mai 2022 à 09:10.

Algérie Presse Service ; Stress hydrique : Le gouvernement mise sur les eaux non-conventionnelles. Article publié le : Mardi, 23 Mars 2021 à 12:00.

Arzate A, Ph.D ; Procédés de séparation membranaire et leur application dans l'industrie alimentaire. Revue de littérature 642-RVL-0508. Centre de recherche, de développement et de transfert technologique acéricole Saint-Norbert d'Arthabaska, Québec. Canada. Publié le 30 mai 2008.

Assaad E., 2006 ; Etude du processus de coagulation-floculation du système montmorillonite-chitosane dans l'élimination de métaux de transition. Université du Québec à Montréal. Canada. 23-29 P.

Bandelier p ; Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. Article publié le 29 novembre 2016 (Encyclopédie de l'énergie).

Barak A., Kochetkov Z A., Crijns M J., Khalid M ; Le dessalement nucléaire: expérience, besoins et perspectives. Aperçu des installations de démonstration et des études récentes. Rapport publié en 1990.

Bekhti S., 2006 ; Etude de colmatage d'une membrane d'osmose inverse. Mémoire de magister. Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene. Algérie. 8-15 P.

Belghiti M L., Chahlaoui A., Bengoumi D., El Moustaine R., 2013 ; Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe Plio-Quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université Moulay ismail, BP 11201 Zitoune, Meknès, Maroc. Larhyss/Journal n° 14, Juin 2013.

Benkaddour B., 2018 ; Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chélif (Algérie). Thèse de doctorat. Université de Perpignan; Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem (Mostaganem, Algérie), 2018. Français. 17 P.

Berland J M., Juery C., 2002 ; Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales. Document technique N°14.

Bernard C., 2015 ; L'eau du robinet est-elle différente de l'eau en bouteille ? Document (LGCIE – INSA Lyon).

Blum.A., Rouzeau.O., Guiraud.A., 2014 ; Suivi de la turbidité des eaux de Guyane. Etat des lieux et recommandation. Approche par télédétection. Rapport BRGM/RP-61632-FR.

Bolard J., 2012 ; Osmose et la vie selon Dutrochet (1820-1840). BibNum.

Bordeleau S., 2016 ; Risque d'exposition aux métaux lourds associé à la consommation de viande de lièvre dans quatre communautés Anicinapek (Algonquines) de l'Abitibi-témiscamingue. Mémoire extensionnée de l'université du Québec à Montréal.

Boucif N., 2012 ; Modélisation et simulation de contacteurs membranaires pour les procédés d'absorption de gaz acides par solvant chimique. Thèse de doctorat. Université de Lorraine. France. 23-33 P.

Boudjadja A., Messahel M., Pauc H ; Érudit / Revues / Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science / Volume 16, numéro 3, 2003, p. 285-380 / Ressources hydriques en Algérie du Nord.

Casanova J., Cagnimel M., Devau N., Pettnati M., Stollsteiner P., 2013 ; Recharge artificielle des eaux souterraines : état de l'art et perspectives. Rapport par : Office national de l'eau et des milieux aquatiques. Géosciences pour une terre durable.

CUN C ; Les techniques membranaires : différences et usages. Article publié le 15/12/2003 (Culture Sciences Chimie).

Danis p ; Dessalement de l'eau de mer. Article publié le 10/06/2003 (Techniques de l'ingénieur).

De Villers J., Squilbin M., Yourassowsky C., 2005 ; Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre générale. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement. Fiche mise à jour novembre 2005.

Définition de la pression hydrostatique. Consulter le 30/07/2022 ; <https://www.aquaportail.com/definition-5808-pression-hydrostatique.html>

Définition du taux de conversion. Consulter le 30/07/2022 ; [https://www.dictionnaire-environnement.com/taux_de_conversion_y_ID1585.html#:~:text=Taux_de_conversion\(Y\)](https://www.dictionnaire-environnement.com/taux_de_conversion_y_ID1585.html#:~:text=Taux_de_conversion(Y))

Drouiche N ; Le dessalement : solution durable pour l'approvisionnement en eau potable. Article publié le : 02/08/2012 à 11:00 (Le soir d'Algérie).

Euzen A., Jeandel C., Mosseri R., 2015 ; L'eau à découvert. CNRS Edition. 26-27 P ; par Ducharne A., Laval K. 54-55 P ; par Millot C.

Ferroudj N., 2017 ; cours de Gestion et politique de l'eau/Droit de l'eau. Université 20 Aout 1955 de Skikda. Algérie.

Gamberini G ; Dessalement de l'eau : l'ONU s'inquiète des risques pour l'environnement. Article publié le 14 janvier 2019 à 16h sur La tribune. Consulter le 20/09/2022.

Gonthier S., 2020 ; Le dessalement de l'eau : Un outil d'adaptation potentiel dans une optique de développement durable. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.). Université de Sherbrooke. Canada.

Gouvernement du Canada ; Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Document technique. Consulter le 10/11/2022.

Janah Y., Ait Nouh F., Kettab A., 2017 ; Les techniques de dessalement et les énergies renouvelables. Livre. Edition Universitaire Européenne.

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 18. Publié le 18 Rabié Ethani 1432, 23 mars 2011.

Kameche H., Madani K., 2017 ; Gestion de la saumure de dessalement cas de la station de Cap-Djinet – (W) – Boumrdes. Université M'hamed Bougara Boumrdes. Département de génie de l'environnement.

Kettab A., Bessenasse M., 2005 ; Dessalement d'eau de mer : option incontournable pour l'Algérie.

Khawajia A D., Kutubkhanaha I B., Wie J M ; Advances in seawater desalination technologies. Article (Elsevier). Desalination, 221 (2008) 47–69

Kuntz D., et Kuntz J., 2012 ; Eau potable enjeux géopolitique : Le dessalement est il une solution d'avenir ? Article (Wordpress.com).

Lahouel N. et al ; Dessalement de l'eau de Mer et les Énergies Renouvelables. Journal of Advanced Research in Science and Technology, 2015, 2(2), 271-279.

Lasserre F ; Conflits hydrauliques et guerres de l'eau : un essai de modélisation. Revue internationale et stratégique. IRIS Edition. 2007/2 (N°66). 105-118 P. Cairn.Info. Matières à réflexion.

Le Maxidico ; Dictionnaire encyclopédique de la langue française Relié – 1 janvier 1996 de Jacques Domas.

Lecomte V ; LE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER : QUELS IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT ? Article mise à jour en octobre 2014. Ecotoxycologie.fr

L'équilibre calco-carbonique. Consulter le 20/10/2022.

<https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/processus-elementaires-du-genie-physico-chimique-en-traitement-de-l-eau/neutralisation-remineralisation/l-equilibre-calco-carbonique>.

Lenntech ; Déminéralisation par osmose inverse. Consulter le 08/07/2022.

Les dix plus grandes usines de dessalement au monde. Consulter le 23/08/2022.

<https://fr.rowater-ts.com/news/the-largest-desalination-plants-in-the-world-47821861.html>

Mancebo J., 2022 ; Oman mise sur les énergies renouvelables et disposera de la plus grande centrale solaire de la planète pour dessaler l'eau. Article publié le 1 août 2022 sur Atalayar entre deux rives : Les clés du monde entre vos mains. Consulter le 10/09/2022.

MANUEL MSD Version pour le grand public ; Présentation du rôle du phosphate dans l'organisme. Consulter le 02/11/2022.

Maurel A., 2006 ; Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. Livre 2^{ème} édition. Lavoisier.

Metahri M S., 2012 ; ÉLIMINATION SIMULTANÉE DE LA POLLUTION AZOTÉE ET PHOSPHATÉE DES EAUX USÉES TRAITÉES, PAR DES PROCÉDÉS MIXTES. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Algérie. 08 P.

Modules plan. Consulter le 20/10/2022 ; <https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/separation-par-membranes/les-modules-disponibles-leur-geometrie/modules-a-plaques>

Morel J., 2007 ; Les ressources en eau sur Terre : origine, utilisation et perspectives dans le contexte du changement climatique – un tour d'horizon de la littérature. Laboratoire d'économie de la production et de l'intégration internationale. France.

Morin-Crini N., Crini G., 2017 ; EAUX INDUSTRIELLES CONTAMINÉES : Réglementation, paramètres chimiques et biologiques & procédés d'épuration innovants. Livre édition : Presses universitaires de Franche-Comté. 103- 144 P ; par : Morin-Crini N.

Mottot Y ; Coagulants et floculants. Texte de la 279e conférence de l'Université de tous les savoirs donnée le 5 octobre 2000.

Mouchet P., 2000 ; Traitement des eaux avant utilisation. Matières particulières. Article publié le 10 janvier 2000 sur Techniques de l'ingénieur. Réf : G1170 v1.

OMS., 2000 ; Directives de qualité pour l'eau de boisson. Livre 2^{ème} édition. Volume 2 Critères d'hygiène et documentation à l'appui.

OMS., 2017 ; Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4e éd. intégrant le premier additif. ISBN 978-92-4-254995-9.

ONU., 2017 ; Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017: Les eaux usées: une ressource inexploitée.

Renaudin V ; Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtre. Article publié le 18/11/2003 (Culture Sciences Chimie).

Rodier J., et coll., 2005 ; L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer. Livre 8^{ème} édition DONOD. Série ENVIRONNEMENT ET SECURITE.

Rodier J., Legube B., Merlet N., et coll., 2009 ; L'analyse de l'eau. Livre 9^{ème} édition DUNOD.

Sagne C., 2008 ; Etude des mécanismes de transfert de molécules organiques en osmose inverse. Application au recyclage des condensats issu de la concentration des vinasses de distilleries. Thèse de doctorat. Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech). France. 9-19 p.

Schab F., 2007 ; Étude comparative des procédés d'électrodialyse et d'électrodéionisation. Application à la fabrication d'acide lactique. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine. France. 48-52 p.

Series SCIENCE & TECHNOLOGY; The Mega-ton Water System. Document publié le 02 Decembre 2013.

Souak F Z ; LA POLITIQUE DE L'EAU EN ALGERIE VALORISATION ET DEVELOPPEMENT DURABLE.

Tahraoui D N., Kettab A., Abedelali M., Boughrara F., 2010 ; Qualité des eaux de mer après dessalement au niveau de la station de dessalement de la ville de Ténès, Chlef. Impact de dessalement sur l'environnement (milieu aquatique). WATMED 5, Lille - France, 26-28 Mai 2010.

Tansakul C., 2009 ; Procédés hybrides à membranes pour le traitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse. Thèse doctorat. Université de Toulouse. France. 20-33 P.

Union française des professionnels du traitement de l'eau (UAE) ; Différence entre pH, TH et TAC. DIFFUSION TOUS PUBLICS – V3 – Octobre 2013.

Valo M ; Dessalement de l'eau l'ONU alerte sur les quantités de saumure déversées. Article publié le : 14 janvier 2019 à 17h45 mis à jour le 14 janvier 2019 à 18h01 (Le monde).

Annexes

Tableau 1 : Normes de potabilité OMS (2006)

Groupe	Paramètres	Valeurs indicatives	Unités
Paramètres physiques	PH	Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5	-
	Conductivité	Pas de valeur guide	µs
	Température	acceptable	°C
Paramètres organoleptiques	Turbidité	5	NTU
	Couleur	Pas de valeur guide	-
	Goût et odeur	Acceptables	-
Eléments toxiques	Arsenic (As)	0.02	mg/l
	Cadmium(Cd)	0.003	mg/l
	Chrome Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	Chrome totale : 0.05	mg/l
	Mercure (Hg)	Inorganique : 0.006	mg/l
	Plomb(Pb)	0.01	mg/l
	Fer(Fe)	Pas de valeur guide	mg/l
Eléments indésirables	Manganèse(Mn)	0.4	mg/l
	Aluminium(Al)	0.2	mg/l
	Ammonium (NH ₄ ⁺)	0.5	mg/l
	Zinc(Zn)	3	mg/l
	Nitrite (NO ₂ ⁻)	3	mg/l
	Nitrate (NO ₃ ⁻)	50	mg/l
	Bore(B)	0.5	mg/l
Minéralisation globale	Calcium (Ca ²⁺)	100	mg/l
	Chlorure (Cl)	250	mg/l
	Dureté mg/l CaCO ₃	200	ppm
	Sodium (Na)	200	mg/l
	Potassium (k ⁺)	12	mg/l
Paramètres microbiologiques	Coliformes totaux	0	nb/100ml
	Coliformes fécaux	0	nb/100ml
	Streptocoques fécaux	0	nb/100ml
	Clostridium Sulfito - Réducteurs	0	nb/100ml
	Staphylocoques pathogènes	0	nb/100ml
	Spores des bactéries	0	nb/20ml
	Vibrions cholériques	Absence	nb/10ml
	Salmonella	Absence	nb/5 l

Tableau 2 : Normes de potabilité (Journal Algérien 2011)

Groupe	Paramètres	Valeurs indicatives	Unités
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	pH	$\text{pH} \geq 6.5$ et ≤ 9	-
	Conductivité	2800	$\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C
	Température	25	°C
	Dureté	500	mg/l en CaCO_3
	Alcalinité	65	mg/l en CaCO_3 pour les eaux dessalées
	Calcium	200	mg/l en CaCO_3
	Chlorures	500	mg/l
	Potassium	12	mg/l
	Résidu sec	1500	mg/l
	Sodium	200	mg/l
	Sulfates	400	mg/l
	Fer	0.3	mg/l
	Oxydabilité	5	mg/ IO_2
Paramètres organoleptique	Couleur	15	mg/l Platine
	Turbidité	5	NTU
	Odeur 12°C	4	Taux de dilution
	Saveur 25°C	4	Taux de dilution
Paramètres indésirables	Aluminium	0.2	mg/l
	Ammonium	0.5	mg/l
	Bore	1.3	mg/l pour les eaux de dessalement
	Cuivre	2	mg/l
	Zinc	5	mg/l
	Manganèse	50	$\mu\text{g}/\text{l}$
	Nitrites	0.2	mg/l
	Nitrates	50	mg/l
	Phosphore	5	mg/l
Paramètres de toxicité	Arsenic	10	$\mu\text{g}/\text{l}$
	Cadmium	3	$\mu\text{g}/\text{l}$
	Chrome total	50	$\mu\text{g}/\text{l}$
	Mercure	6	$\mu\text{g}/\text{l}$
	Nickel	70	$\mu\text{g}/\text{l}$
	Plomb	10	$\mu\text{g}/\text{l}$

Paramètres microbiologiques	Escherichia Coli	0	nb /100ml
	Entérocoques	0	nb /100ml
	Bactéries sulfite réductrices y compris les spores	0	nb/20ml

Tableau 3 : Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau traitée (Station Cap-Djinet)

PARAMETRE	LIMITES SPECTRO	UNITE	05/04/2017	06/04/2017	09/04/2017	MOYENNE
			10:30	10:30	10:30	
MTD		Ppm	234	230	225	229.66
Dureté totale		ppm CaCO3	67,92	70,3	69,82	69.34
PH			8,41	8,32	8,32	8.35
Température		deg C	17,6	17,3	17,5	17.46
Conductivité		µS/cm	468	459	450	459
		mS/m	46,8	45,9	45	45.9
Total alcalinité (TAC)		ppm CaCO3	58,8	59,4	59,52	59.24
Calcium		mg/l	23,37	23,94	24	23.77
Bore	0,05	Ppm	0,751	0,748	0,752	0.75
Turbidité		NTU	0,86	1,01	0,58	0.816
Chlore libre		Ppm	0,26	0,24	0,24	0.246
Alcalinité (TA)		mg/L(CaCO3)	2,4	2,28	2,52	2.4
Calcium		mg/L(CaCO3)	58,42	59,4	60	59.27
Sodium	161	mg/L				
Potassium	8	mg/L				
Magnésium	0,5	mg/L	2,28	2,28	2,34	2.3
Carbonates		mg/L	5,76	5,75	6,04	5.85
Bicarbonates		mg/L	65,83	66,6	66,46	66.26
Chlorures	70	mg/L				
Nitrites	0,015	mg/L				
Nitrates	0,23	mg/L				
Sulfates	40	mg/L				
Fer	0,2	mg/L				

Planche I



Figure I.a : Développement de la couleur jaune en cas de présence des ions ammonium.



Figure I.b : Développement de la couleur bleu en cas de présence des ions orthophosphates.



Figure I.c : Virage de couleur dans le cas de présence des ions NO_2^-

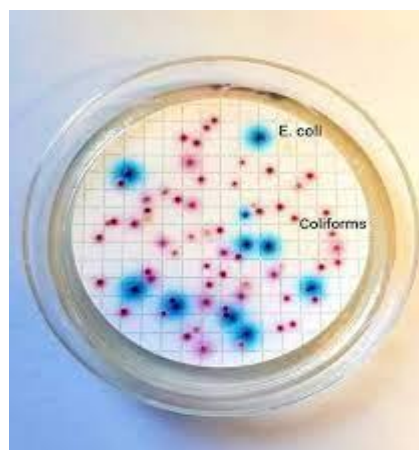


Figure I.d : Colonies d'E. Coli et des Coliformes



Figure I.e : Colonies de bactéries ASR (Anaérobie-Sulfito-Réducteur)

متابعة عملية تحلية مياه البحر في محطة شاطئ النخيل بسطوالي و تقييم جودتها الفيزيوكيميائية و البكتيريولوجية

ملخص

في إطار دراستنا حول تحلية مياه البحر عن طريق التناضح العكسي ، قمنا بمتابعة عملية تحلية المياه على مستوى محطة شاطئ النخيل بسطوالي ، وتحليل جودتها في مختبر سيال بالقبية. تعمل تحلية المياه تدريجياً على ترسيخ نفسها كحل من الدرجة الأولى للتعامل مع مشكلة ندرة مياه الشروب والتي تعاني منها العديد من بلدان العالم نتيجة للاحتباس الحراري ، التنمية الحضرية ، النمو الديموغرافي ، زيادة الطلب على المياه ، نقص الموارد المائية ، التلوث وما إلى ذلك ، ويعتبر التناضح العكسي العملية الأكثر استخداماً نظراً لاستهلاكها المنخفض للطاقة ومصداقيتها. تعتمد هذه التقنية على استخراج مياه الشرب من خلال مياه البحر أو المياه قليلة الملوحة باستخدام تقنية الفصل الغشائي. تظهر نتائج التحليل أن المياه الناتجة عن تحلية مياه البحر نقية للغاية وخالية نسبياً من المعادن ، ولا يمكن إرسالها إلى المستهلك إلا بعد معالجتها. ومع ذلك ، فإن لتحلية المياه آثاراً سلبية طويلة المدى على البيئة ، ولهذا تتجه العديد من المشاريع إلى تحلية المياه عن طريق الوسائل الهجينة واستخدام الطاقات المتجددة.

الكلمات الرئيسية : تحلية، التناضح العكسي، ندرة المياه، معالجة، الفصل الغشائي، الهجينة.

Suivi du procédé de dessalement de l'eau de mer à la station Palm Beach de Staouali et évaluation de sa qualité physico-chimique et bactériologique.

Résumé

Dans le cadre de notre étude sur le procédé de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse, nous avons opté au suivi du processus d'osmose inverse au niveau de la station de dessalement Palm Beach de Staouali, et l'analyse de la qualité de l'eau dessalée produite au niveau du laboratoire SEAAL de Kouba. Le dessalement s'impose progressivement comme la solution de premier plan pour faire face au stress hydrique croissant, qui affecte de nombreux pays du monde suite aux problèmes liés au réchauffement climatiques, développement urbain, croissance démographique, la demande accrue en eau, le manque de ressource en eau, la pollution...etc, et l'osmose inverse représente le procédé le plus utilisé de fait de sa faible consommation d'énergie et de sa fiabilité accrue. En effet, cette technologie consiste à extraire une eau potable à partir d'une eau de mer ou d'une eau saumâtre en utilisant la technique de séparation membranaire. Les analyses de qualité de l'eau montrent que l'eau produite par dessalement est extrêmement pure et relativement déminéralisée, et ne peut être envoyée au consommateur qu'après un traitement de reminéralisation. Néanmoins, le dessalement entraîne à long terme des effets néfastes sur l'environnement, et c'est pourquoi de plus en plus de projets, se tournant vers un dessalement durable basés sur le concept de dessalement par voie hybride et utilisation des énergies renouvelables.

Mots clés : dessalement, osmose inverse, stress hydrique, reminéralisation, séparation membranaire, hybride.

Monitoring of the seawater desalination process at the Palm Beach station in Staouali and evaluation of its physico-chemical and bacteriological quality.

Abstract

As part of our study on the seawater desalination process by reverse osmosis, we opted to monitor the reverse osmosis process at the Palm Beach desalination station in Staouali, and to analyze the quality of the desalinated water produced at the SEAAL laboratory in Kouba. Desalination is gradually establishing itself as the first-rate solution to deal with the growing water stress, which affects many countries in the world as a result of problems linked to global warming, urban development, population growth, increased demand for water, lack of water resources, pollution, etc., and reverse osmosis is the most widely used process due to its low energy consumption and increased reliability. Indeed, this technology consists of extracting drinking water from seawater or brackish water using the membrane separation technique. Water quality analyzes show that the water produced by desalination is extremely pure and relatively demineralized, and can only be sent to the consumer after a remineralization treatment. Nevertheless, desalination has long-term adverse effects on the environment, and this is why more and more projects are turning to sustainable desalination based on the concept of desalination by hybrid means and the use of renewable energies.

Keywords: desalination, osmosis reverse, water stress, remineralization, membrane separation, hybride.