

Faculté : Sciences de L'Ingéniorat
Département : Hydraulique

MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de : Master

*Etude d'une station de traitement et de
production d'eau potable à partir d'un forage
« Hôpital El-Hadjar »*

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Hydraulique

Spécialité : hydraulique urbain et ressource hydraulique

Par : Harez Amira

Djelailia Hanane

DEVANT LE JURY

Président :	M. AMARCHI Hocine	U.B.M. Annaba
Directeur de mémoire :	M. KHERRAT Rochdi	U.B.M. Annaba
Examineur :	M^{me} .BENABDESSALEM Tamara	U.B.M. Annaba
Examineur :	M^{me} LATIFI Sabah	U.B.M. Annaba
Examineur :	M. ALLAOUA Abdallah	U.B.M. Annaba

Remerciements

Je remercie Dieu Tout Puissant de m'avoir donné la patience et le courage pour réaliser ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon encadreur Mr. Kherrat R et de m'avoir accepté de m'encadrer et suivre ce Travail. , J'ai eu beaucoup de plaisir de travailler avec lui, J'ai apprécié sa grande chaleur humaine et sa disponibilité quotidienne. Merci Monsieur pour votre disponibilité et votre gentillesse

J'adresse mes sincères remerciements aux membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce modeste travail.

Mes sincères remerciements à Mr Boutaghane H et Mr Samar H et Mr Lachgar S de m'avoir soutenue et m'encourager toute la période de mémoire.

Un grand merci aux enseignants du Département de l'hydraulique ainsi que génie des procédés.

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

Amira

Dédicace

A Celle qui m'a enseigné la patience, la fierté et la réussite.

A la lumière qui éclaire mon chemin : ma chère maman

A celui qui m'a comblé d'amour et de courage à papa chéri.

A mes complices frère : Minou, Amir et Mazen.

A tonton Rochdi : ma reconnaissance ne se limite pas à une page, je salue grandement vos efforts à la patience de savoir écouter, transmettre et encourager.

A tous mes amis de ma promotion

A tous mes professeurs du département Hydraulique.

Amira

Remerciements

*Pour commencer, je souhaite remercier mes deux directeurs de recherche : **Monsieur Kherrat R** et **Monsieur Botaghane H**.*

Je voudrais aussi remercier tous mes enseignants que ce soit de licence ou de master.

Chacun d'entre vous m'a apporté un plus qui a fait de moi ce que je suis devenue aujourd'hui.

Vous m'avez tout appris et cela je ne l'oublierai jamais.

Mes plus sincères remerciements :

Aux membres du jury ; qu'ils soient remerciés de nous avoir fait l'honneur de juger notre travail.

Je remercie tous ceux qui m'ont aidée de près ou de loin à l'élaboration de travail de recherche.

Djelailia Hanane

Dédicace

*Je dédie ce travail à **mes parents** pour leur encouragement, leurs conseils et leurs sacrifices.*

*Ce travail est dédié aussi à mes chères sœurs **Atika** et **Sihem**, les étoiles sur terre qui illuminent ma vie et mon cher frère **Brahim** que dieu le protège.*

*À mon ange nièce adorable **Mayar**.*

Djelailia Hanane

Résumé

L'hôpital El hadjar est doté d'un forage qui permet d'alimenter l'établissement on cas de coupure d'eau provenant de l'ADE. Malheureusement les analyse physico-chimique ont montré que l'eau de ce forage présent une salinité élevé de l'ordre de 3000ppm avec présence de fer et de matière en suspension.

L'utilisation d'une chaine de traitement permettant l'élimination de ses sels s'impose :

-La technique qu'on a choisie dans ce travail repose sur l'utilisation d'une station d'osmose inverse avec toutes les étapes de prétraitement nécessaire.

Abstract

The El Hadjar hospital has a borehole to feed the establishment in case of water cutoff from the ADE. Unfortunately the physicochemical analysis showed that the water of this drilling has a high salinity of the order of 3000ppm with presence of iron and suspended matter.

The use of a treatment chain allowing the elimination of its salts is essential:

-The technique that we chose in this work is based on the use of a reverse osmosis station with all the pretreatment steps required.

ملخص

يوجد في مستشفى الحجار بئر يسمح بتزويد المؤسسة في حالة انقطاع المياه من مديرية الموارد المائية. للأسف فان التحاليل الفيزيائية والكيميائية أظهرت ان هذا البئر له ملوحة عالية تصل إلى 3000 جزء في المليون مع وجود لحديد والمواد المعلقة.

يجب استخدام سلسلة علاجية تسمح بإزالة الأملاح، حيث تعتمد التقنية التي اخترناها في هذا العمل على استخدام محطة التناضح العكسي مع كل الخطوات المعالجة المطلوبة.

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1: Les principaux éléments majeurs rencontrés dans l'eau.....</i>	<i>11</i>
<i>Tableau 2: Norme d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS (source ADE).....</i>	<i>18</i>
<i>Tableau 3: Résultat d'analyse d'eau traité d'eau de forage de l'hôpital El-Hadjar.....</i>	<i>48</i>
<i>Tableau 4: Les factures de correction approximatifs en fonction de la température.....</i>	<i>65</i>
<i>Tableau 5: Les valeurs indicatives de fonctionnement des différentes membranes disponibles.....</i>	<i>66</i>
<i>Tableau 6: Récapitulatif : fiche technique de chaque unité de traitement.....</i>	<i>69</i>

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1: Processus de coagulation-floculation et de sédimentation.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 2: traitement et stockage sur de l'eau.....</i>	<i>27</i>
<i>Figure 3: traitement et stockage sur l'eau.....</i>	<i>28</i>
<i>Figure 4: charbon actif en fibre et granulé.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 5: classification des procédés barométriques membranaires selon la taille séparation.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure 6: Principe de l'osmose inverse.....</i>	<i>35</i>
<i>Figure 7: Schéma d'un système d'électrodialyse.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 8: Principe de la distillation.....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 9: schéma du mécanisme de filtration sur membrane.....</i>	<i>38</i>
<i>Figure 10: La membrane.....</i>	<i>43</i>
<i>Figure 11: Carte de localisation de l'hôpital El-Hadjar.....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 12: Capture sur logiciel de lewaplus.....</i>	<i>50</i>
<i>Figure 13: Filtre à cartouche.....</i>	<i>60</i>
<i>Figure 14: Osmoseur de base.....</i>	<i>61</i>
<i>Figure 15 : Osmoseur de base.....</i>	<i>63</i>

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction

Sommaire

Chapitre 1 : Généralité sur l'eau

1	Introduction :	10
2	Définition de l'eau	10
3	Composition de l'eau	11
3.1	Espèces inorganiques.....	11
3.1.1	Constituants majeurs	11
3.1.2	Les éléments traces métalliques	12
3.2	Matières organiques.....	12
3.2.1	Matières organiques dissoutes.....	12
3.2.2	Matières organiques particulières	12
4	Origine et différents types d'eau	13
4.1	Eaux naturelles	13
4.2	Eaux souterraines	13
4.3	Eaux de surfaces	14
4.4	Eaux potables	14
4.5	Eaux douces.....	14
4.6	Eaux dures.....	14

4.7	Eaux de marais	14
4.8	Eaux de mers et eaux saumâtres.....	15
5	Paramètres caractéristiques de la qualité des eaux :	15
5.1	Propriétés organoleptiques	15
5.1.1	La Couleur.....	15
5.1.2	Gout et odeur.....	14
5.1.3	Turbidité.....	15
5.2	Caractères physico-chimiques.....	16
5.2.1	Temperature.....	15
5.2.2	PH.....	15
5.2.3	Salinité.....	15
5.2.4	Les résidus secs à 180°C.....	15
5.2.5	Dureté ou titre hydrométrique (TH).....	16
5.2.6	Conductivité électrique.....	16
5.2.7	Alcalinité.....	16
5.2.8	Titre alcalimétrique (TA) ou titre alcalémitrique complet (TAC).....	16
5.2.9	Chlorure.....	16
5.2.10	Autre principaux éléments présents dans l'eau.....	16
6	Paramètres indésirables ou toxiques	17
6.1	Fer et manganèse	17
6.2	Métaux lourds	18
7	Normes d'eau potable :	18
8	Les paramètres microbiologiques	19
8.1	Les paramètres concernant les pesticides et les produits apparentés.....	20
9	Conclusion :.....	21

Chapitre 2 : Les différents types du traitement des eaux potables

2.1	Introduction	23
2.2	Objectif du traitement	23
2.3	Définition des objectifsdu traitement.....	23
2.4	Les étapes du traitement de l'eau :	23
2.4.1	Dégrillage et tamisage.....	24
2.4.2	Oxydation.....	23
2.4.3	Clarification.....	24
2.4.3.1	Coagulation-floculation.....	25
2.4.3.2	Décantation.....	25
2.4.3.3	Flottation.....	25
2.4.3.4	Filtration.....	25
2.4.4	Désinfection.....	30
2.4.5	Stérilisation.....	31
2.4.6	Autres traitements.....	31
2.5	CONCLUSION	31

Chapitre 3 : Les procédés membranaires de traitement de l'eau

3.1	Introduction	33
3.2	Dessalement des eaux	33
3.3	Osmose inverse.....	37
3.4	PRINCIPES DE L'OSMOSE INVERSE.....	38
3.5	MEMBRANES.....	41
3.6	APPLICATIONS INDUSTRIELLES	43
3.7	Conclusion :.....	44

Chapitre 4 : Mise au point de la filière de traitement de l'eau d'un forage profond (cité Larza hôpital El-Hadjar)

4.1	Situation géographique :	46
-----	--------------------------------	----

4.2	Introduction	46
4.3	Caractéristiques de l'eau de forage.....	47
4.3.1	Le forage.....	45
4.4	Caractéristiques de la technologie	47
4.4.1	Avantage.....	46
4.4.2	Inconvénient.....	46
4.5	Choix de la filière de traitement	49
4.6	Calcul et interprétation	49
4.7	Description du logiciel lewaplus	53
4.8	Chaine de traitement retenue	53
4.8.1	Pompe d'alimentation.....	53
4.8.2	Stockage de l'eau brute.....	54
4.8.3	Préoxydation du fer ferreux	55
4.8.3.1	Aération.....	53
4.8.3.2	Oxydation chimique.....	53
4.8.4	Deferrisation.....	56
4.8.5	Filtration sur sable ou matiere(AG).....	57
4.8.6	Filtration sur charbon actif.....	58
4.8.7	Déchloration.....	59
4.8.8	Injection d'antitartre : antiscalant.....	59
4.8.9	Décarbonatation à l'acide.....	60
4.8.10	Filtration fine sur cartouches.....	61
4.9	Osmos Inverse	63
4.9.1	Caractéristique générales de l'osmoseur	68
4.9.1.1	Le taux de production.....	68
4.9.1.2	Le taux de conversion	70
4.9.1.3	Le taux de rejet	71

4.9.2 Paramètre influent	72
4.9.2.1 Temperature.....	73
4.9.3 Pompe Hp ou pompe d'alimentation de l'osmoseur	74
4.9.4 Puissance.....	72
4.10 Etablissement des procédés standard opératoire.....	73
4.10.1 Définition de S.O.P.....	73
4.10.2 Pompe d'alimentation	74
4.10.3 Filtre à sable.....	75
4.10.4 Filtre à charbon actif.....	76
4.10.5 Filtre à cartouche.....	77
4.10.6 Osmose inverse.....	78
4.11 Conclusion.....	79
Méthode de calcul :	81

Liste des abréviations

MSPRH : Ministère de la santé et de la population et de la réforme hospitalière.

ETM : Élément traces métalliques.

µm : Micromètre.

PH : Potentiel Hydrogène.

g/L : gramme par litre.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

NTU : Unité néphélogétrie de turbidité.

Q : Débit.

PK : Constante d'acidité.

OI : Osmose inverse.

TDS : Total des solides dissous dans l'eau.

IX: Echange d'ion.

KW: Kilowatt.

SMBS : Meta bisulfite de sodium.

AG : Alumino silicate.

ORP : Potentiel redox.

SDI : silt densité index.

°C : degré Celsius.

°F : degré français.

TH : Titre Hydrométrique.

TAC : Titre alcalimétrique complet.

$\mu\text{s}/\text{cm}$: micro siemens par centimètre.

TA : Titre alcalimétrique.

ADE : Algérienne des eaux.

MES : Matière en suspension.

PVC : Polychlorure de vinyle.

Kg : Kilogramme.

Introduction

L'évolution que connaît l'environnement urbain et industriel pose, dans de nombreux pays, le problème de l'eau. Par ailleurs il est certain que nos besoins en eau ne cesseront de croître alors que les réserves en eau de bonne qualité diminuent.

Heureusement, ces dernières décennies témoignent d'un grand développement des nouvelles technologies de traitement des eaux. En particulier plusieurs types de procédés ont démontré être d'une grande valeur. Parmi les exemples, nous trouvons : l'osmose inverse, électrodialyse, nano filtration, distillation... etc.

Les procédés membranaires font partie de ces nouvelles technologies qui peuvent jouer un rôle environnemental important. Ces procédés permettent la production d'eau destinée soit à la consommation humaine (dessalement de l'eau) soit aux industries (réutilisation de l'eau) qui consomment de l'eau de pureté contrôlée dans leur chaîne de production (industries agroalimentaires, industrie pharmaceutique,...etc.) ainsi pour d'autres usages notamment le nettoyage des installations.

L'osmose inverse est un procédé qui permet l'obtention d'eau pure dépourvue de toute espèce chimique ou bactériologique.

L'objectif de ce travail est d'alimenter en eau potable l'hôpital El-Hadjar à partir d'un forage cet établissement a été créé par le décret exécutif n°2683 MSPRH du 20 janvier 2008, d'une superficie 19700.00 m² ; sa capacité théorique est de 120 lits techniques.

Il a été mis en service le 21 février 2010.

L'établissement d'El-Hadjar est un établissement public à caractère spécifique doté de la personnalité morale et l'autonomie financière, son offre de soin couvre plusieurs spécialités médicales.

Il est doté de 11 services médicaux dont 05 salles d'opération et une banque du sang

Le travail présenté dans ce mémoire est orienté essentiellement sur quatre chapitres présentés comme suit :

- Dans le premier chapitre nous abordons des généralités sur les eaux.

- Le deuxième chapitre est consacré au différent type de traitement d'eau potable.
- Le troisième chapitre est entièrement consacré à l'étude bibliographique concernant les procédés membranaires et plus précisément l'osmose inverse.
- Dans le dernier chapitre nous présentons la filière de traitement ainsi que les caractéristiques de différents équipements retenue pour l'obtention d'une eau potable, selon la norme l'OMS

Nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre 1 :

Généralité sur l'eau

1 INTRODUCTION :

La gestion rationnelle des ressources en eau douce est une des principales préoccupations des sociétés humaines. Que cette ressource soit abondante, qu'elle l'ait été, mais se raréfie ou qu'elle ait toujours plus ou moins manqué, l'eau est maintenant partout considérée comme un bien précieux. La gestion de l'eau s'articule autour d'un certain nombre de points portant sur :

- La fourniture d'eau potable aussi bien dans les villes que les campagnes, et dans les villes, aussi bien dans les agglomérations structurées que dans les extensions péri-urbaines, voire les bidonvilles.
- L'assainissement et le traitement des eaux usées. L'approvisionnement des populations en eau potable et le traitement de leurs eaux usées sont les conditions pour prévenir les maladies d'origine hydrique, particulièrement, dans les pays dits " émergents. "
- la prévention des pollutions chroniques ou accidentelles d'origine domestique, agricole ou industrielle seul moyen de protéger la ressource d'eau alimentaire d'abord, mais aussi les hydro systèmes aériens ou souterrains et les équilibres floristique ou faunistiques qu'ils abritent.
- l'approvisionnement en eau des industries et de l'agriculture qui fournissent les biens de consommation, les énergies et les aliments nécessaires aux populations.
- la lutte contre les risques naturels liés à l'eau : inondations, coulées de boue, érosion, aridité, sécheresse, feux de forêt, etc.
- le maintien des activités " aquatiques " qui vont du transport fluvial à la pêche professionnelle en passant par une grande variété d'activités de loisir : baignade, canotage, pêche de loisir, etc. [1]

2 DEFINITION DE L'EAU

C'est une Substance naturelle, souvent liquide et inodore, incolore, et sans saveur à l'état pur, de formule chimique H_2O , et peut se trouver dans les trois états de la matière (solide, liquide, ou gazeux), l'eau est l'un des agents ionisants les plus connus, on l'appelle fréquemment le solvant universel [2].

3 COMPOSITION DE L'EAU

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

3.1 ESPECES INORGANIQUES

3.1.1 Constituants majeurs

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

Le tableau suivant résume les principaux éléments majeurs rencontrés dans l'eau.

Tableau 1.1 : Les principaux éléments majeurs rencontrés dans l'eau [3].

Sels minéraux	Carbonates	Sodium
	Bicarbonates	Calcium
	Silicates	de Magnésium
	Sulfates	Fer
	Chlorures	Potassium
	Nitrates	

3.1.2 Les éléments traces métalliques

Les « éléments traces métalliques » (ETM) sont définis comme les éléments métalliques présents avec une concentration d'environ une partie par billion (10^{-3} mg.kg⁻¹) en masse, ou moins. Les principaux éléments traces métalliques présentent dans l'eau sont :

Titane (Ti), Zinc (Zn), Nickel (Ni), Aluminium, (Al), Chrome (Cr), Cadmium (Cd),

Cuivre (Cu), Fer (Fe), Manganèse (Mn), Plombe (Pb), Mercure (Hg) [4].

3.2 MATIERES ORGANIQUES

3.2.1 Matières organiques dissoutes

La plupart du carbone organique dans l'eau est sous la forme de matière organique dissoute et principalement de molécules à faible poids moléculaire et d'origines diverses. La concentration des matières organiques dissoutes et particulaires dépend de type d'eau et sa profondeur : l'eau de mer surfacique a une concentration plus élevée que l'eau en profondeur.

On peut trouver dix milliers de molécules différentes dans l'eau comme les produits de dégradation de déchets végétaux, produits de synthèse organique soluble, et matières azotées.

Le carbone organique dissous est un facteur important dans le cycle du carbone et la chaîne alimentaire. Il influence la pénétration de la lumière, l'échange de gaz à la surface [5].

3.2.2 MATIERES ORGANIQUES PARTICULAIRES

C'est la matière en suspension et en émulsion, elles peuvent être classifiées selon leur taille. Dans l'eau surfacique, la plupart d'entre elles sont d'origine biologique.

Les plus petites particules (moins de 1 µm jusqu'à quelques dizaines de µm) se composent de bactéries et d'autres débris organiques fins, et des particules inorganiques particulièrement des minéraux d'argile et des composés hydratés insolubles tels que Fe(OH)₃.

La gamme de taille allant de quelques dizaines à quelques centaines de µm comporte des grands débris et des agglomérats fécaux, produits de l'agrégation biologique (sable, boues, pétrole, huiles,...).

L'eau contient également les gaz dissous ayant une grande importance dans les phénomènes biologiques ainsi que chimique (corrosion) [6].

4 ORIGINE ET DIFFERENTS TYPES D'EAU

Sans rentrer dans les détails de l'origine des eaux et les relations entre leur composition, nous pouvons envisager selon le mode de gisement, deux sources principales d'eau :

- Les eaux superficielles : les eaux des oueds, des lacs, des océans et des mers ;
- Les eaux souterraines accumulées dans les nappes.

Et sans empiéter encore sur les études particulières portant sur les types d'eau, lesquelles établissent précisément une certaine corrélation entre composition et origine, nous pouvons distinguer :

- les eaux naturelles
- Les eaux potables
- Les eaux douces
- Les eaux dures
- Les eaux de marais
- Les eaux saumâtres
- Les eaux salées.

4.1 EAUX NATURELLES

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrage) ou en écoulement (rivières, fleuves) et des eaux de mer [7].

4.2 EAUX SOUTERRAINES

Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol et se caractérise par une turbidité faible ou leurs eaux bénéficient de filtration naturelle importante. Comme elle se caractérise par une contamination bactérienne faible, car elle est habituellement à l'abri des sources de pollution. Par conséquent la dureté est souvent élevée, et les eaux souterraines peuvent être en contact avec des formations rocheuses contenant des métaux bivalents comme le calcium ou magnésium. En plus, dans les eaux souterraines, le fer et le magnésium présentent une concentration élevée [8].

4.3 EAUX DE SURFACES

Par opposition aux eaux souterraines, l'eau de surface est l'eau qui se trouve à la surface ou proche de la surface du sol. Dans une zone donnée, il s'agit pour l'essentiel des cours d'eau, des océans, des lacs et des eaux de ruissellement qui s'y trouvent. Sa température varie en fonction du climat et des saisons. Ces matières en suspension sont variables selon la pluviométrie, la nature et le relief des terres à son voisinage. Sa composition en sels minéraux est variable en fonction du terrain, de la pluviométrie et des rejets. Une eau de surface est ordinairement riche en oxygène et pauvre en dioxyde de carbone [8].

4.4 EAUX POTABLES

La notion de potabilité est liée directement à l'alimentation humaine. Une eau naturelle est dite potable si elle présente les qualités suivantes :

- fraîcheur et limpidité
- absence d'odeur et de couleur
- goût agréable
- suffisamment douce, aérée
- minéralisation raisonnable
- absence de matières organiques et de germes pathogènes [8].

4.5 EAUX DOUCES

On parle d'eau douce par opposition aux eaux salées et aux eaux dures [8].

4.6 EAUX DURES

Une eau dure incruste à froid ou à chaud les récipients qui la contiennent. La dureté est engendrée par la présence des ions calcium ; magnésium, et un à degré moindre le fer et l'aluminium [8]

4.7 EAUX DE MARAIS

Les eaux de « marais » ou « tourbier » sont des eaux douces caractérisées par une faible valeur de pH, due à la présence d'acides organiques et qui les rend très corrosives. On les appelle parfois « eaux rouges » en raison de la présence des particules à base d'oxyde de fer en suspension [8].

4.8 EAUX DE MERS ET EAUX SAUMATRES

La salinité observée dans les différents océans ou mers du globe résulte d'un équilibre entre évaporation, pluies et apport des fleuves (salinité faible) d'une part et d'échange d'eau avec les autres mers ou océans auxquels ils sont reliés d'autre part. [8].

Une eau saumâtre est une eau dont la teneur en sel est sensiblement inférieure à celle de l'eau de mer. La concentration totale de sel dissous y est généralement comprise entre 1 et 10 g/l alors qu'elle est (en moyenne) de 35 g/l pour l'eau de mer. Dans les estuaires maritimes, la conjonction des courants d'eau douce avec l'eau de mer donne naissance à des poches d'eau saumâtre.

5 PARAMETRES CARACTERISTIQUES DE LA QUALITE DES EAUX :

Les qualités admises d'une eau d'alimentation impliquent la garantie de son innocuité vis-à-vis de l'homme qui est appelé à la consommer. Une eau potable doit présenter un certain nombre de caractères physiques, chimiques et biologiques et répondre, à certains critères essentiels (incolore, insipide, inodore...) appréciés par le consommateur. Toutefois, ses qualités ne peuvent pas se définir dans l'absolu, ni d'une manière inconditionnelle. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a édicté des normes internationales pour l'eau de boisson [9].

5.1 PROPRIETES ORGANOLEPTIQUES

5.1.1 La Couleur

Dans l'idéal, l'eau potable doit être claire et incolore. Le changement de couleur d'une eau potable peut être le premier signe d'un problème de qualité. Dans un échantillon d'eau, l'intensité relative d'une couleur est analysée à l'aide d'une échelle arbitraire composée d'unités de couleur vraie [10].

5.1.2 Gout et odeur

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur non désagréables. La plupart des eaux, qu'elles soient ou non traitées, dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur. Ces deux propriétés, purement organoleptiques, sont extrêmes subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère [10].

5.1.3 Turbidité

La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules suspendues qui la troublent. C'est la propriété optique la plus importante des eaux naturelles. On mesure la turbidité en unités de turbidité céphalométriques (UTN) à l'aide d'un turbidimètre. Cet instrument envoie un rayon de lumière à travers un échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière qui passe à travers l'eau par rapport à la quantité de lumière qui est réfléchiée par les particules dans l'eau [10].

5.2 CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES

5.2.1 Température

Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C, car on admet que l'eau doit être rafraîchissante. Quand les eaux naturelles sont au-dessus de 15°C, il y a risque de croissance accélérée de micro-organismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de couleur et de la turbidité. Les variations de température saisonnières peuvent affecter les eaux, surtout quand elles sont superficielles [11].

5.2.2 Potentiel d'hydrogène

C'est une mesure de l'activité des ions H⁺ contenus dans une eau. En chimie, par convention, on considère le pH de l'eau pure comme celui qui correspond à la neutralité d'une solution. Autrement dit, toute solution de pH inférieur à 7 (à 25°C) est considérée comme acide et inversement [10].

5.2.3 Salinité

La salinité totale d'une eau correspond à la somme des cations et des anions présents exprimée en mg/l [10].

5.2.4 Les résidus secs à 180°C

Les Résidus secs obtenus par évaporation, représentent les matières dissoutes et en suspensions d'une eau [10].

5.2.5 Dureté ou titre hydrométrique (TH)

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau est une grandeur reliée à la somme des concentrations en cations métalliques, à l'exception de ceux des métaux alcalins (Na⁺, K⁺), dans la plupart des cas, la dureté est surtout due aux ions calcium Ca²⁺ et magnésium Mg²⁺

(ions alcalino-terreux). Un degré hydrotimétrique (°TH) correspond à une concentration en ions Ca^{2+} ou Mg^{2+} . Un degré hydrotimétrique correspond aussi à un degré français (1°F) [10].

5.2.6 Conductivité électrique

La conductivité des eaux potables est souvent liée à la concentration en sels minéraux dissous. Son unité est exprimée en ($\mu\text{s}/\text{cm}$) [11].

5.2.7 Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates, carbonates et les hydroxydes, elle est mesurée soit par le titre alcalimétrique (TA) ou par le titre alcalimétrique complet (TAC) [12].

5.2.8 Titre alcalimétrique (TA) ou titre alcalimétrique complet (TAC)

Les valeurs relatives du TA et du TAC permettent de connaître les teneurs en hydroxydes, carbonates et hydrogénocarbonates contenu dans l'eau. Le TA permet de déterminer, en bloc, la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonate. La TAC assure la détermination de la teneur en hydrogénocarbonates [13].

5.2.9 Chlorure

Les teneurs en chlorures (Cl^-) des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes non polluées ont souvent une teneur en chlorures. Dans l'eau, le chlorure n'a ni odeur, ni couleur, mais peut procurer un goût salé [14].

5.2.10 Autres principaux éléments présents dans l'eau

En plus du chlorure présent dans l'eau, elle contient aussi d'autres éléments chimiques, cation et anion.

6 PARAMETRES INDESIRABLES OU TOXIQUES

6.1 FER ET MANGANESE

Ces deux éléments existent dans la plupart des eaux et sont généralement liés ; ils entraînent des conséquences similaires : formation de dépôts, goûts désagréables et prolifération bactérienne. Bien que nécessaire à la nutrition humaine, le fer et manganèse ne doivent pas dépasser certaines teneurs.

6.2 METAUX LOURDS

Certains éléments sont rarement présents dans les eaux à l'état naturel mais sont apportés par les divers rejets. La dose dangereuse est difficile à fixer car la toxicité de ces éléments est surtout d'origine cumulative. Les principaux d'entre eux sont : argent, cadmium, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc ...etc. [6].

7 NORMES D'EAU POTABLE :

Des normes sont imposées pour une eau de bonne qualité. Selon l'OMS, les normes pour une eau potable sont d'assez large gamme, afin de s'adapter aux nombreux pays sous-développés, qui ont une eau de très mauvaise qualité et qui n'ont pas de moyens technologiques afin de suivre les traitements conformes et nécessaires pour rendre une eau potable. Dans le tableau suivant, des normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS sont données :

Tableau 1.2 : Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS (source ADE).

Paramètre	Unité	norme algérienne	Norme de l'OMS
PH	/	6.5-8.5	6.5-9.2
Température	C°	25	/
Conductivité	µs/cm	2800	/
Résidu sec à 180°C	mg/l	2000	1500
Turbidité	NTU	2	5
Dureté total (TH)	mg/l	500	500
Calcium	mg/l	200	/
Magnésium	mg/l	150	150
Sodium	mg/l	200	/

Potassium	mg/l	20	/
Sulfate	mg/l	400	250
Chlorure	mg/l	500	250
Nitrate	mg/l	50	50
Nitrite	mg/l	0.1	0.1
Aluminium	mg/l	0.2	0.2
Phosphate	mg/l	0.5	0.5
Ammonium	mg/l	0.5	/
Matières organique	mg/l	3	/
Métaux lourds	mg/l	0.3	/
Fer	mg/l	0.3	0.3
Manganèse	mg/l	0.5	0.1

8 LES PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES

L'eau ne doit contenir ni microbes, ni bactéries pathogènes, ni virus qui pourraient entraîner une contamination biologique et être la cause d'une épidémie. Le dénombrement bactérien consiste à rechercher des bactéries aérobies, c'est-à-dire celles qui pourraient se développer en présence d'oxygène. Cette analyse est surtout significative pour l'étude de la protection des nappes phréatiques.

À 37 °C et pendant une durée de 24 heures, on isole les bactéries vivant chez l'homme et chez les animaux à sang chaud. Si la population bactérienne ne dépasse pas 10 unités/ml, on peut en conclure qu'il n'y a pas de risques potentiels.

À 20-22 °C et pendant une durée de 72 heures, on isole les bactéries du milieu naturel. Si la population bactérienne ne dépasse pas 100 unités/ml, on peut en conclure qu'il n'y a pas de risques potentiels.

- Coliformes totaux et fécaux (Concentration maximale).
- Streptocoques fécaux (Concentration maximale).
- Clostridium sulfito-réducteurs (Concentration maximale).
- Staphylocoques pathogènes (Concentration maximale).

La présence de coliformes fécaux ou de streptocoques fécaux indique une contamination de l'eau par des matières fécales. La présence d'autres coliformes, de clostridium ou de staphylocoques laisse supposer une contamination de ce type. Dans les deux cas, des mesures doivent être prises pour interdire la consommation de l'eau ou en assurer le traitement.

Les pollutions microbiologiques ne sont pas rares : d'après l'Institut Français de l'Environnement, plus de 17 millions de personnes ont consommé en 1997 une eau ponctuellement polluée par des streptocoques fécaux ou des coliformes. Dans ce domaine, on manque encore d'études épidémiologiques. [15]

8.1 LES PARAMETRES CONCERNANT LES PESTICIDES ET LES PRODUITS APPARENTES

Souvent dû à l'utilisation de produits destinés à la lutte contre les parasites, les insectes et les herbicides, la présence de pesticides et des produits apparentés dans l'eau est limitée à des doses infimes, à titre préventif pour la santé. La réglementation fixe à 0,1 mg/l la concentration maximale par substance individuelle et à 0,5 mg/l le total des substances mesurées. A forte dose, la toxicité sur l'homme (travailleurs exposés professionnellement) et les animaux est indéniablement prouvée. Les pathologies les plus souvent décrites sont des cancers. En revanche, les effets liés à l'ingestion de faibles teneurs, aussi bien dans l'alimentation que dans l'eau distribuée, restent encore peu connus. On suspecte les pesticides de "perturber les régulations hormonales et d'accroître le risque de cancers du sein, de la prostate et du testicule" (étude de De Hayo et Van der Werf citée par Eurêka N°36 octobre 98) et de diminuer la fertilité masculine. [15]

9 CONCLUSION :

Pour obtenir le titre « d'eau potable » et ainsi pouvoir être consommée sans risque pour la santé, l'eau brute puisée dans les rivières, fleuves, lacs et nappes phréatiques ou récoltée grâce à l'eau de pluie doit subir de nombreux traitements. Ces opérations peuvent se faire à l'échelle d'une agglomération, dans des usines privées ou publiques, mais aussi dans une simple maison, pour sa consommation personnelle.

Cette eau, déjà au préalable contrôlé, va passer par plusieurs types de traitements différents afin de respecter des normes de potabilité précises. Ces opérations, qu'elles soient réalisées de manière complète en usine de traitement des eaux ou simplifiées pour pouvoir être effectuées chez soi, produisent des résultats semblables bien que l'on ne réalise pas exactement les mêmes actions. En effet, le traitement en usine emploie beaucoup plus de traitements physico-chimiques. En revanche les traitements biologiques sont presque tous conservés à petite échelle comme le prouvent les filtrations sur lit de sable ou avec charbon actif.

Chapitre 2 :
Les différents types
du Traitement des
eaux potables

2.1 INTRODUCTION

Seules certaines eaux, dites minérales ou de source peuvent être commercialisées et consommées sans traitement. Cependant, pour les eaux de source par fois des traitements comme l'aération, la décantation et la filtration peuvent leur être appliqué. Toutes les autres eaux du milieu naturel dites 'brutes' ont besoin d'un traitement avant d'être consommées, afin de répondre aux normes en vigueur définissant une eau bonne pour la consommation humaine. Elles sont alors acheminées jusque dans une usine de production d'eau potable. Le traitement d'une eau brute dépend de sa qualité, liée à son origine, l'eau principale traitée étant les eaux de surface et les eaux souterraines [16].

2.2 OBJECTIF DU TRAITEMENT

Le traitement doit être ajusté à la composition chimique de l'eau captée. Il varie donc d'un site à l'autre. Si, pour certaines eaux, un traitement partiel ou simple tel que la filtration rapide et la désinfection des eaux suffit, d'autres nécessitent un traitement complet plus ou moins complexe, voire des traitements spécifiques afin d'éliminer les polluants particuliers. [17]

2.3 DEFINITION DES OBJECTIFS DU TRAITEMENT

Ceux-ci peuvent être répartis en deux groupes :

1-la santé publique, qui implique que l'eau distribuée ne doit apporter aux consommateurs ni substances toxiques (organiques ou minérales), ni organismes pathogènes. Elle doit donc répondre aux normes physico-chimiques et bactériologiques [17].

2-la protection du réseau de distribution, et aussi des installations des usagers (robinetterie, chauffe-eau...) contre l'entartrage et/ou corrosion. Dans tous les pays, ces objectifs se traduisent par une réglementation officielle. Cette dernière est fonction de critères de santé publique, du degré de développement du pays considéré et des progrès de la technologie. [17]

2.4 LES ETAPES DU TRAITEMENT DE L'EAU :

Le traitement d'une eau brute après son captage dépend de sa qualité et de ses constituants, critères qui varient dans le temps. L'eau puisée dans l'environnement doit donc être analysée en continu avant de subir le traitement de potabilisation approprié.

Ce contrôle exécuté, l'eau subit plusieurs traitements avant d'être distribuée dans les circuits d'eau potable. [18]

2.4.1 Dégrillage et tamisage

Le passage de l'eau captée à travers des grilles et tamis élimine les plus gros débris. [18]

2.4.2 Oxydation

Si la charge organique est très importante ou s'il y a de l'ammoniaque, du fer ou du manganèse en solution, l'oxydation facilite leur élimination lors de la phase de clarification. Cette étape d'oxydation peut se faire avec du chlore ou de l'ozone. [18]

2.4.3 Clarification

La clarification regroupe les procédés de coagulation-floculation, décantation ou flottation et de la filtration. Le but est d'éliminer les MES (matières en suspension) minérales et organiques d'une eau brute ainsi qu'une partie des matières organiques dissoutes, fraction floculable. Suivant les concentrations des différents éléments indésirables, plusieurs techniques peuvent être mises en œuvre dont [19].

2.4.3.1 Coagulation-Floculation

Pour une eau brute présentant une légère turbidité, et/ou légèrement colorée, on ajoute un coagulant et éventuellement un floculant. Les doses utilisées doivent être faible, car ces réactifs diminuent la durée des cycles de filtration entre deux lavages. Le processus de coagulation implique d'ajouter du fer ou de l'aluminium à l'eau comme du sulfate d'aluminium, sulfate ferrique, chlorure ferrique ou des polymères. Ces produits chimiques s'appellent des coagulants et ont une charge positive. La charge positive du coagulant neutralise la charge négative des particules dissoutes et suspendues dans l'eau.

Quand cette réaction se produit, les particules se lient ensemble ou se coagulent (ce processus peut également s'appeler floculation). Les particules plus grosses ou plus lourdes se retrouvent rapidement au fond de l'approvisionnement en eau. Ce processus s'appelle la sédimentation. Le diagramme suivant (Figure II.1) illustre les réactions et les processus de bases qui se produisent durant la coagulation. La coagulation peut enlever un grand nombre de particules organiques. La coagulation peut également enlever les particules suspendues, y compris les précipités inorganiques, tel que le fer. Par contre, elle n'enlève pas tous les virus et bactéries dans l'eau et elle ne peut pas produire de l'eau potable sûre. C'est,

cependant, une étape primaire importante dans le processus de traitement de l'eau parce qu'elle enlève des particules, telle que le carbone organique dissout. Ainsi, moins de chlore est nécessaire pour désinfecter l'eau [15]. Après avoir subi le traitement de coagulation, l'eau va être transférée dans un autre bassin. C'est dans ce bassin où va commencer véritablement l'accrétion. En effet, rien ne s'oppose plus alors au rassemblement des colloïdes neutralisés. Il faut donc maintenir une agitation lente pour favoriser les accrétions. Celle-ci est accélérée par l'ajout d'un polymère c'est-à-dire d'une grande molécule constituée par la répétition d'un motif de base qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées et formant ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité. C'est le floc. Elle est aussi accélérée par une régulation d'un pH optimum pour obtenir la meilleure précipitation possible de l'ensemble des hydroxydes métalliques qui viennent d'apparaître grâce à la réaction de coagulation [19].

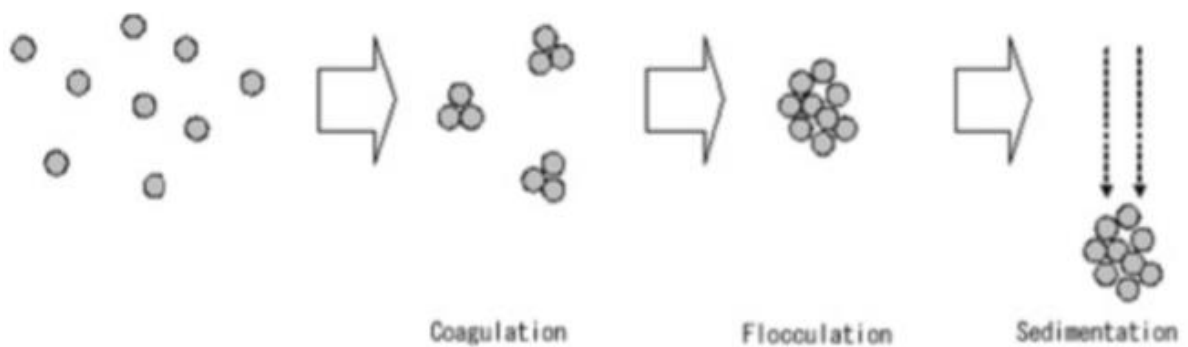


Figure1 : Processus de coagulation-floculation et de sédimentation [19]

2.4.3.2 Décantation

Après avoir rassemblé les différentes petites particules en beaucoup plus grosses, il va maintenant falloir faire décanter tout ceci. Dans un corps d'eau immobile les particules en suspension plus lourdes que l'eau sont soumises à leur poids apparent [19].

2.4.3.3 Flottation

Elle permet de séparer les matières rassemblées en floc comme pour la décantation, mais s'applique aux matières qui ne décantent pas ou très lentement telles que les graisses, hydrocarbures... [20].

2.4.3.4 Filtration

Le système de filtration est composé de filtres avec des tailles différentes et se compose la plupart du temps de gravier, sable et de charbon de bois. Il y a deux types de filtration de base par le sable : la filtration lente par le sable et la filtration rapide par le sable. La filtration lente par le sable est un processus biologique parce qu'elle emploie des bactéries pour traiter l'eau. Les bactéries forment une couche sur la partie supérieure du sable et nettoie l'eau pendant qu'elle traverse, en digérant les contaminants dans l'eau. La couche de bactéries s'appelle le biofilm. La filtration rapide par le sable est un processus physique qui enlève les solides en suspension dans l'eau. Cette filtration rapide est beaucoup plus répandue parce que les filtres de sable rapide ont des débits assez élevés et exigent peu d'espace pour fonctionner. Durant la filtration, le taux d'écoulement de l'eau peut aller jusqu'à 20 mètres par heure. Les filtres sont généralement nettoyés 2 fois par jour.

Les particules qui sont enlevées dans l'eau durant la filtration dépendent de la taille des filtres qui sont utilisés. La filtration lente enlève les bactéries, les virus et les protozoaires et produit essentiellement de l'eau propre. Il est recommandé d'employer un désinfectant comme mesure conservatoire. La filtration rapide enlève les particules suspendues, comme les bactéries, les virus et les protozoaires. Dans les installations de traitement, la filtration enlève un grand nombre de contaminants, mais exige toujours la désinfection pour produire de l'eau potable sûre. Même si la filtration rapide ne puisse pas enlever toutes les bactéries et les virus, c'est une étape importante dans le processus de traitement. La coagulation et la filtration peuvent enlever les matières en suspensions et dissoutes, de sorte que la désinfection soit plus réussie avec une quantité réduite de chlore. Le principe du filtre sous gravier est d'imiter le cycle d'épuration de la nature en utilisant le fond sableux de l'aquarium. L'eau chargée d'impuretés organiques (essentiellement des déchets solides, des substances ammoniacales et des nitrites) est entraînée par un courant lent descendant à travers l'épaisseur de gravier. L'eau abandonne au passage ses impuretés solides dans le gravier. Le charbon est une substance qui depuis longtemps est utilisé pour adsorber les impuretés. Le charbon actif est un carbone qui a une légère charge électrique positive le rendant attirant aux produits chimiques et aux impuretés. Pendant que l'eau traverse le charbon actif, les ions négatifs des contaminants sont attirés sur la surface des granules de carbone. Les filtres de charbon actif enlèvent/réduisent beaucoup de produits chimiques organiques volatils, pesticides et herbicides, comme le chlore, le benzène, le radon, les dissolvants et d'autres produits chimiques synthétiques trouvés dans l'eau de robinet [20, 21].

a) **Filtration sur sable :**

Il en existe **deux types**.

- **Le Filtre à sable de prétraitement**

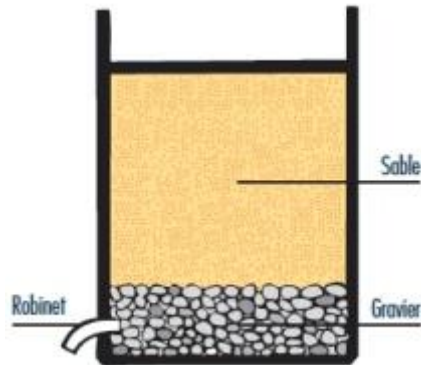


Figure 2 : traitement et stockage sûr de l'eau [22]

Ce filtre est très simple à mettre en œuvre. Mais seul, il ne permet qu'un traitement sommaire de l'eau.

Il consiste à remplir un récipient, souvent un simple bac de béton pourvu d'un robinet ou d'un moyen de vidange, d'une couche de graviers plutôt assez fins et d'une couche beaucoup plus importante de sable sur laquelle on verse l'eau à traiter qu'il suffit de recueillir au bas du récipient.

Il est vraiment efficace lorsqu'il est utilisé en prétraitement d'autres méthodes de désinfection (par rayonnement solaire, par chloration ou par ébullition) lorsque l'eau brute dont on dispose est un peu trouble mais ne suffit pas à lui seul. [22]

- **Le Filtre à sable biologique**

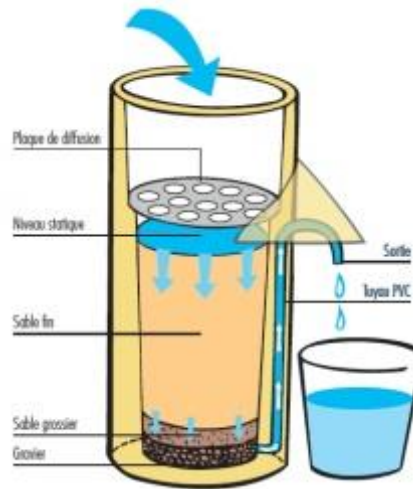


Figure 3 : Traitement et stockage sûr de l'eau [22]

Les filtres à sable biologiques permettent un traitement complet et très efficace de l'eau. Grâce à un niveau de l'eau maintenu constant à l'intérieur du filtre, il y a installation d'une activité biologique qui élimine les germes pathogènes. Le filtre n'est pas efficace pendant les premières utilisations car le filtre biologique n'a pas encore eu le temps de se former. Il faut environ 3 semaines à la couche biologique pour parvenir à sa complète maturité.

Le filtre possède une plaque de diffusion servant à éviter de creuser le sable quand on y verse l'eau. L'eau s'écoule à travers du sable fin. Le bas du filtre est composé d'une couche de sable grossier et d'une couche de graviers. Un tuyau en PVC remonte jusqu'à la hauteur du haut de la couche de sable, afin de maintenir le niveau d'eau constant à l'intérieur du filtre.

Le principal inconvénient de ce filtre est que l'eau s'écoule de plus en plus lentement au fur et à mesure qu'on l'utilise. Lorsque le traitement devient trop lent, il faut remplacer le sable. [22]

b) Filtration a charbon actif :

Filtration de l'eau au charbon actif Le charbon actif est utilisé depuis des siècles pour filtrer l'eau destinée à la consommation humaine. Toutes nos fontaines à eau sont équipées d'un système de filtration de l'eau au charbon actif qui garantit une eau plus propre et plus agréable à boire qu'à son arrivée dans la machine. Les filtres au charbon actif agissent sur la qualité organoleptique de l'eau en lui retirant le chlore, les contaminants, les particules et les autres facteurs de goûts et d'odeurs indésirable. Boire de l'eau filtrée est un premier pas dans la

démarche de l'eau pure. Et la bonne nouvelle, c'est que les nutriments essentiels sont conservés. Les minéraux naturels traversent le filtre pour vous apporter tous leurs bienfaits. [23]

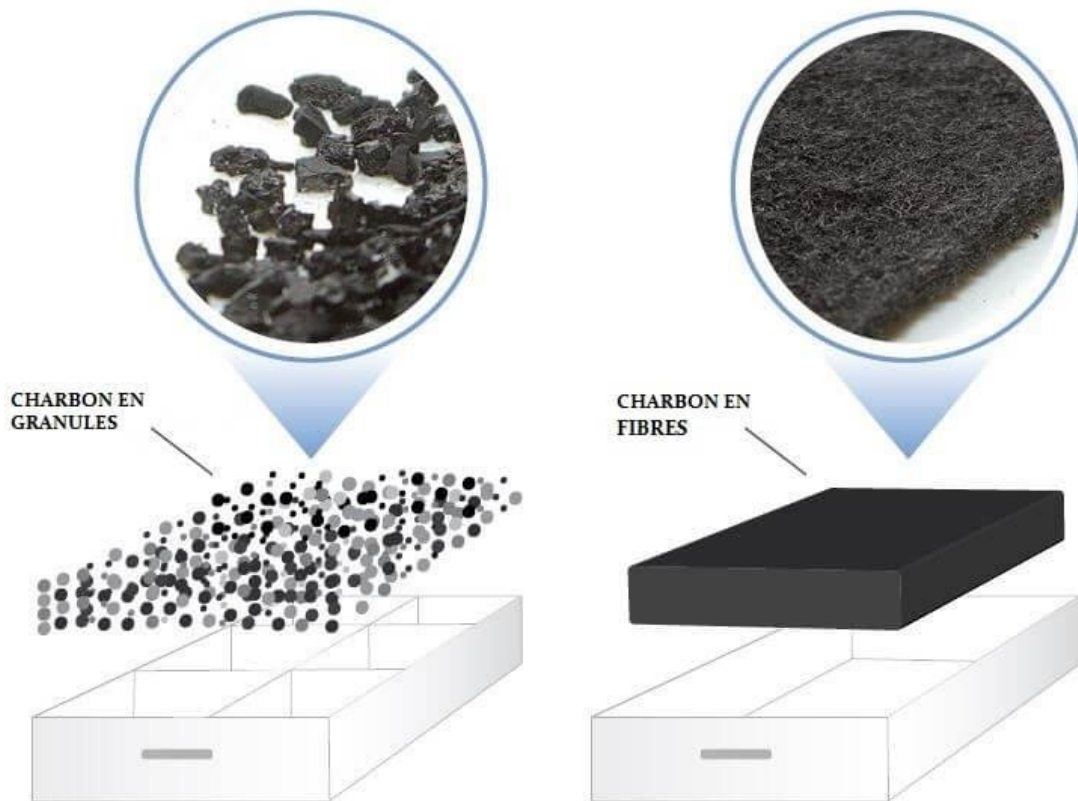


Figure 4 : Charbon actif en fibres et granulés [24]

1 Colmatage et régulation des filtres

Le mécanisme de la filtration consiste dans l'adsorption et la rétention sur les grains de matériaux filtrant des particules flocculées. Le "colmatage" qui se produit ainsi accroît la perte de charge due au fonctionnement du filtre. Cette dernière se manifeste par la différence de niveau entre le plan d'eau sur le filtre et le plan d'eau dans une cuve de réception d'eau filtrée, à la sortie du filtre qui fonctionne à un débit donné. [25]

2 Lavage des filtres (décolmatage)

Le lavage d'un filtre à sable peut être déclenché :

- Lorsqu'une consigne de perte de charge maximale est atteinte ;
- En cas de dégradation de la qualité de l'eau filtrée.

- Par un signal.

Lorsqu'un filtre est mis à l'arrêt pour lavage, en période de production d'une installation comprenant N filtres, la totalité du débit est répartie sur les (N-1) filtres restants en service.

Pour des raisons évidentes, le débit accepté par ces (N-1) filtres doit rester raisonnable. C'est pourquoi, une unité de traitement destinée à produire 24h/24 devra comporter un nombre suffisant de filtres. Pour une petite unité de traitement comportant moins de 4 filtres, le lavage sera effectué hors des périodes de production. Le lavage est réalisé à contre-courant du sens de filtration, à l'aide d'eau filtrée, avec ou sans procédures auxiliaires (air, balayage de surface du matériau).

Les différentes procédures habituelles d'un lavage peuvent être réparties comme suit :

- 1ère phase : détassage. Injection d'air à contrecourant, dans le but de désentasser le lit de matériau qui s'est progressivement compacté au cours du cycle de filtration.
- 2ème phase : lavage. Lavage à contre-courants simultanés d'air et d'eau filtrée.

Pendant cette phase, les forces de cisaillement exercées sur les dépôts, conjuguées aux frottements des grains entre eux, permettent de décoller les particules ayant adhéré aux grains au cours du cycle de filtration.

- 3ème phase : rinçage. Injection d'eau seule, à une vitesse supérieure à celle de la phase de lavage. Cette phase de rinçage a pour objectif l'entraînement hors de la masse filtrante des matières en suspension décrochées lors de la phase de lavage air +eau.

Le lavage d'un filtre à sable selon cette technique (air + eau) nécessite au total un volume d'eau de lavage d'environ 4 m³/m²de surfaces filtrantes. Dans ces conditions, à raison d'un lavage par filtre et par 24 heures, la perte en eau due au lavage s'élèvera à environ 3 % de la production. [26,27]

2.4.4 Désinfection

Les bactéries et virus pathogènes qui demeurent dans l'eau sont éliminés lors de l'étape de désinfection. On utilise pour cela du chlore, de l'ozone ou des ultraviolets. Une petite quantité de chlore reste dans l'eau produite pour éviter un développement bactérien plus en aval, dans le réseau d'eau. [20]

2.4.5 Stérilisation

Stérilisation est la destruction de tous les organismes vivants. L'eau est stockée dans de grands réservoirs de stockage pour être ensuite distribuée [28].

2.4.6 Autres traitements

Éventuellement, la dureté de l'eau est corrigée pour éviter la corrosion ou l'entartrage des canalisations.

En cas de pollutions spécifiques, aux nitrates ou aux pesticides par exemple, des traitements de dépollution supplémentaires sont appliqués.

À la sortie de l'usine de potabilisation, l'eau est acheminée vers des réservoirs (châteaux d'eau) puis jusqu'aux robinets. [20]

2.5 CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons vu les différents procédés de traitement de l'eau potable.

Nous avons donné un aperçu sur l'objectif du traitement ensuite on a commencé par tout d'abord dégrillage et tamisage, ensuite oxydation et clarification, en outre la désinfection et enfin nous avons fini par une stérilisation.

Chapitre 3 :
Les procédés
membranaires de
traitement de l'eau

3.1 Introduction

Les procédés de séparation membranaire regroupent un grand nombre de techniques permettant de réaliser des séparations en phase liquide ou gazeuse sous l'action de diverses forces de transfert. Celle-ci peut être un gradient de potentiel électrique (électrodialyse), un gradient de concentration (pervaporation, dialyse) ou un gradient de pression. [29]

3.2 Dessalement des eaux

L'eau de mer est la matière première de l'usine de dessalement. Chacun peut observer ses changements de température, de limpidité d'un lieu. Les écarts de salinité sont moins connus. Salinité, température et matières en suspension sont les paramètres majeurs du fonctionnement d'une unité de dessalement. La salinité mesure la concentration en sels dissous ; elle s'exprime en g/l. du fait que les quantités de sels dissous sont souvent très inférieures au gramme. Les salinités les plus basses se rencontrent au voisinage des pôles. La quantité des sels dissous augmente au fur et à mesure que l'on rapproche de l'équateur. Elle peut dépasser 50 g/l dans certaines zones, telles que la côte Est de l'Arabie saoudite où la chaleur et les hauts fonds favorisent l'évaporation. Exemple la mer morte la salinité est estimée en vers 270 g/l. [30]

On a plusieurs types de dessalement qui est présenté dans :

a) La microfiltration :

Elle est définie comme un procédé de séparation solide / liquide. Le mécanisme est basé exclusivement sur l'effet tamis (taille) et rend possible la rétention de particules en suspension ou de bactéries dont la taille se situe entre 0.1 et 10 μm . Les pressions appliquées sont de quelques dixièmes de bar pour éviter un colmatage important [31].

b) L'ultrafiltration :

Utilisée pour séparer des macromolécules et d'espèces colloïdales. Le solvant ainsi que les solutés de faible masse molaire traversent la membrane selon un mécanisme convectif sous l'effet de la pression, tandis que les espèces de taille supérieures (colloïdes, protéines, polymères) sont retenues. Les pressions (jusqu'à 5 bar) sont supérieures à celles rencontrées en microfiltration et le seuil de coupure se situe entre 103 et 106 Dalton [31].

c) La nano filtration :

Pour traiter des espèces de taille inférieure à 2 nm (sucre, colorant, sels,...) elle se situe à la transition entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration tant au niveau du seuil de coupure (200

à 1000 Dalton) qu'au niveau de la pression transmembranaire (5 à 25 bar). Les membranes de nano filtration possèdent également une sélectivité spécifique vis à vis des espèces ioniques, une rétention plus faible des Co-ions monovalents que des co-ions divalents et une forte rétention globale pour les sels minéraux à faible concentration [32].

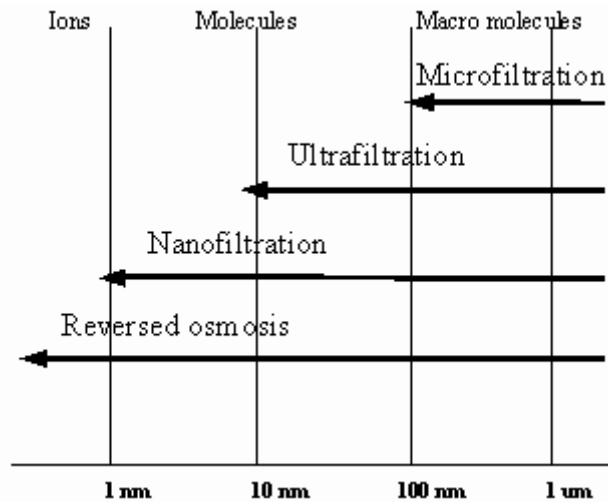


Figure5 : Classification des procédés barométriques membranaires selon la taille de séparation [33]

d) L'osmose inverse :

L'osmose inverse a été découverte en 1850, ce procédé ne s'appliquera pour le dessalement de l'eau de mer qu'en 1960. L'osmose inverse est utilisée à l'origine pour les eaux saumâtres, elle est venue progressivement concurrencer la distillation pour le dessalement de l'eau de mer tout d'abord pour des productions relativement faibles. [29]

Principe :

L'osmose est un processus naturel impliquant les écoulements de fluide à travers une barrière membranaire semi-perméable. Il est sélectif dans le sens où le solvant traverse la membrane plus rapidement que passage des solides dissous. La différence de vitesse de passage entraîne une séparation solvant-solide. La direction de flux de solvant est déterminée par son potentiel chimique, qui est en fonction de la pression, de la température et de la concentration des solides dissous. L'eau pure en contact avec les deux côtés de la membrane semi-perméable idéale à pression et température égales n'a pas de flux net à travers la membrane car le potentiel chimique est égal des deux côtés. Si un sel soluble est ajouté à l'eau d'un côté de la membrane, le potentiel chimique de cette solution saline est réduit. [29]

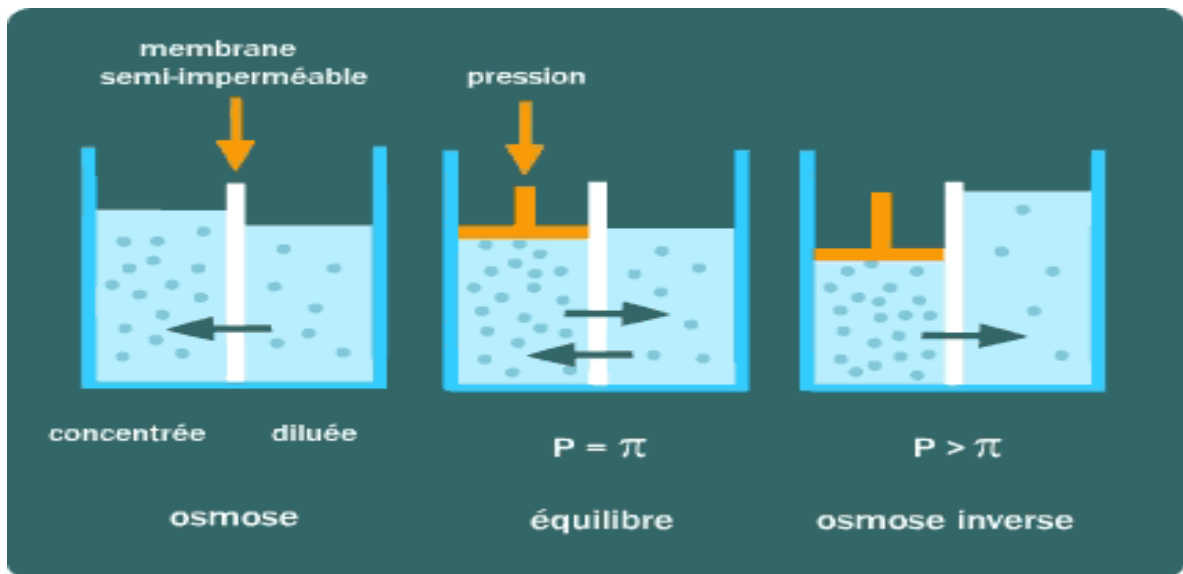


Figure 6 : Principe de l'osmose inverse [29]

e) L'électrodialyse :

L'électrodialyse est le procédé à membrane le plus ancien puisque la première installation est en 1960. Il est particulièrement intéressant pour traitement des eaux saumâtres, notamment celle dont la salinité ne dépasse pas 5g/l, mais rien ne s'oppose techniquement à ce qu'on l'applique pour le dessalement des eaux beaucoup plus chargées en sels, et même de l'eau de mer, bien que la consommation d'énergie électrique soit alors beaucoup plus grande.[34]

Principe :

L'électrodialyse est une combinaison de l'électrolyse et la dialyse. Rappelons que la dialyse consiste en un transfert d'un soluté (sel) à travers une membrane imperméable au solvant (eau) sous l'influence d'une différence de concentration du soluté, qui passent de compartiment de plus forte concentration à celui de moins forte concentration.

L'électrodialyse d'une solution saline, sous l'influence d'un champ électrique, consiste alors en une migration des ions de cette solution à travers des membranes sélectives. Dans les systèmes de traitement basé sur l'électrodialyse, la séparation entre l'eau et les sels est réalisée en faisant passer courant continu à travers l'eau porteuse d'ions, qui conduit les ions dans l'eau source vers les électrodes de charge opposée. [34]

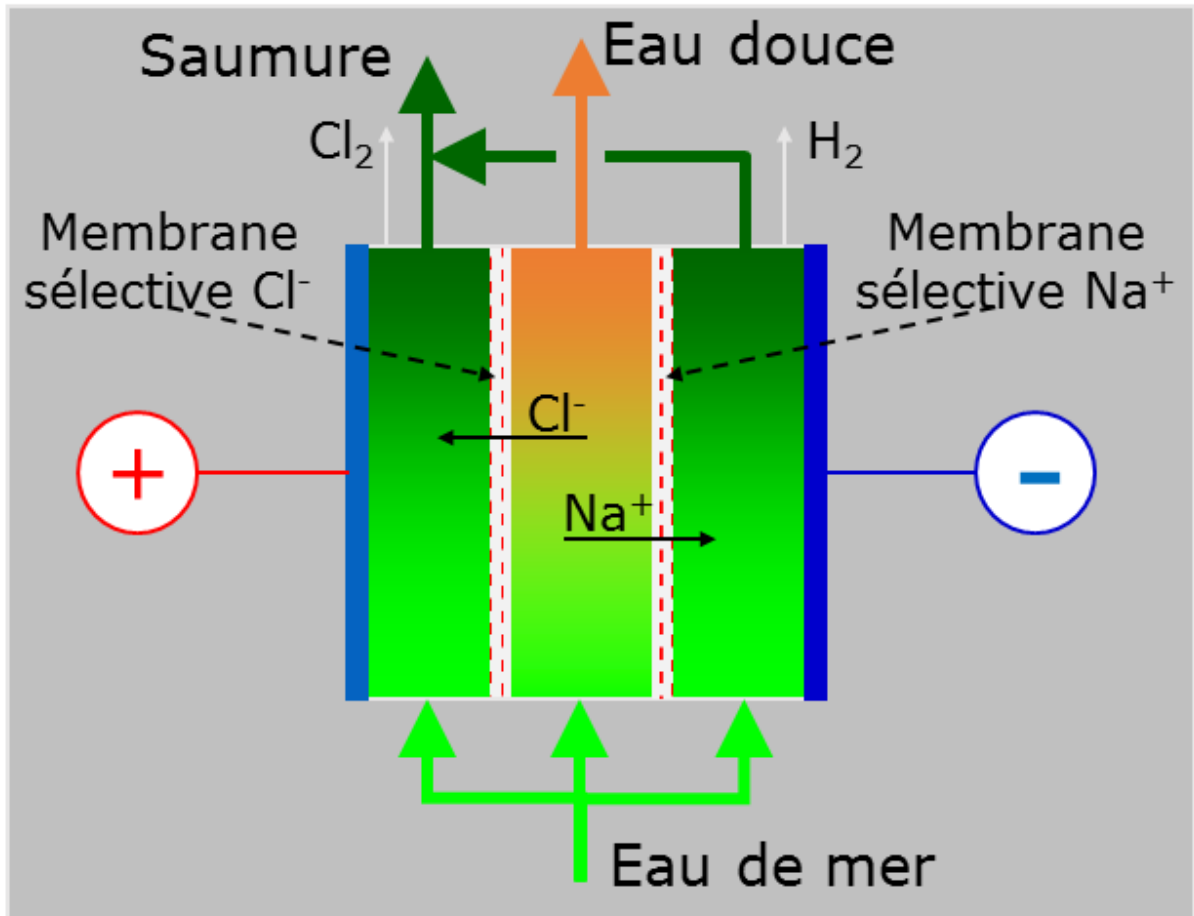


Figure 7 : Schéma d'un système d'électrodialyse [34]

f) La distillation :

La distillation est le processus de dessalement le plus courant, plus de 70% de toutes les installations de dessalement utilisées aujourd'hui utilisent une certaine variation du processus de la distillation. Ce principe de dessalement très simple a été utilisé dès l'antiquité pour produire de très faible quantité d'eau douce sur les bateaux. [35]

Principe :

Dans les procédés de distillation, il s'agit de chauffer l'eau de mer pour en vaporiser une partie, la vapeur ainsi produite ne contient pas de sels, il suffit alors de condenser cette vapeur pour obtenir de l'eau douce liquide. L'inconvénient majeur des procédés de distillations est leur consommation d'énergie, en effet pour transformer un kg d'eau liquide en 1 kg d'eau vapeur à la même température il faut environ 2250 kilojoules. Afin de réduire la

consommation d'énergie des procédés industriels, des procédés multiples effets qui permettent de réutiliser l'énergie libéré lors de la consommation ont été mis au point.[35]

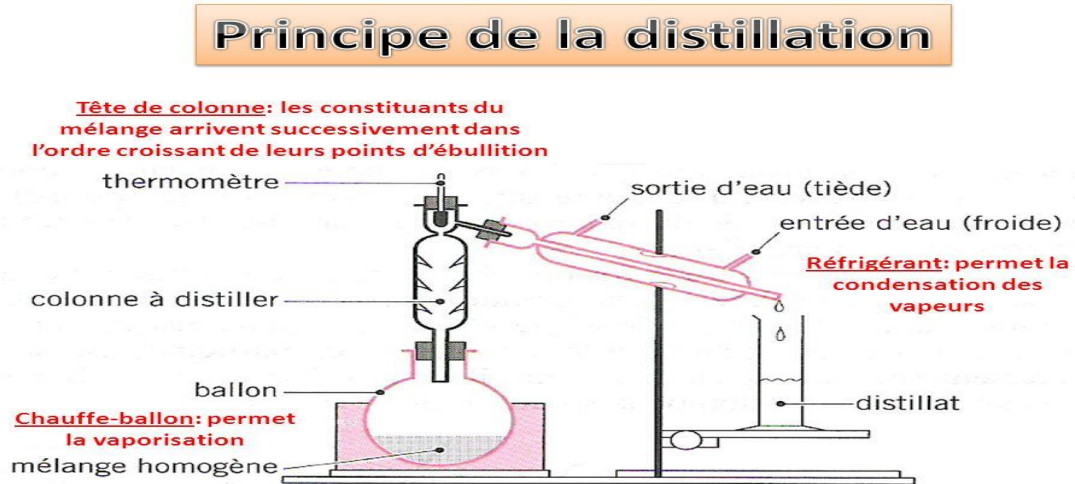


Figure 8 : Principe de la distillation [35]

De ce fait, nous avons constaté que l'osmose inverse est le meilleur procédé pour traiter l'eau de forage de l'hôpital El-Hadjar

3.3 Osmose inverse

3.3.1 DÉFINITIONS

Une membrane semi-sélective est une membrane permettant certains transferts de matière entre deux milieux qu'elle sépare, en interdisant d'autres ou plus généralement en favorisant certains par rapport à d'autres. L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par perméation à travers des membranes semi-sélectives sous l'effet d'un gradient de pression. L'écoulement s'effectue en continu tangentiellement à la membrane. Une partie de la solution à traiter (débit Q_0) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes : • une partie (débit Q_p) passe à travers la membrane (perméat) • une partie qui ne passe pas à travers la membrane (concentrat ou rétentat) et qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane [36]

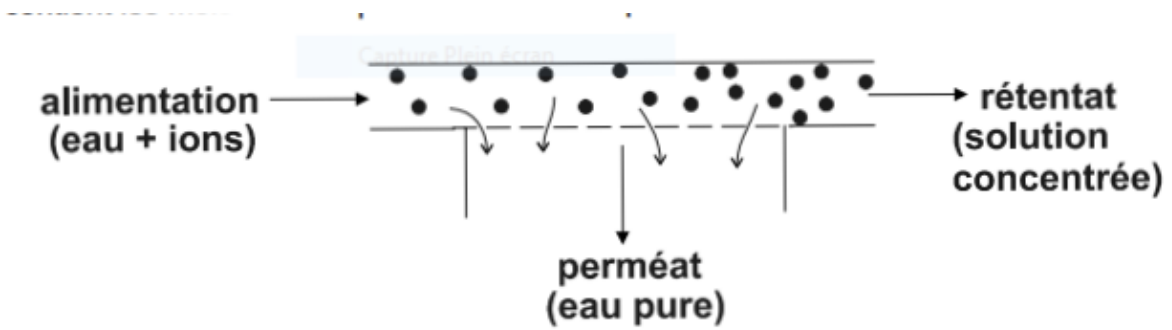


Figure 9 : Schéma du mécanisme de filtration sur membrane [36]

La fraction de débit qui traverse la membrane est le taux de conversion Y défini par :

$$Y = \frac{Q_p}{Q} = 0$$

Le flux de matière intéressant est suivant les cas le perméat (cas de la déminéralisation d'eau) ou le concentrat (concentration de produits alimentaires). Le débit de la solution d'alimentation peut atteindre une valeur 500 fois supérieure à celle du débit de perméat. Lors d'une filtration classique la suspension à traiter est amenée perpendiculairement au milieu filtrant ; l'accumulation de matières forme une couche qui diminue la porosité et ainsi le débit de filtration. L'écoulement tangentiel permet au contraire de limiter l'accumulation sur la membrane des diverses espèces (particules, molécules, ions) retenues par cette dernière. La sélectivité d'une membrane est définie par le taux de rejet R (ou taux de rétention) de l'espèce que la membrane est censée retenir :

$$R = \frac{C_0 - C_p}{C_0} = 1 - \frac{C_p}{C_0}$$

Où :

C_0 est la concentration de l'espèce à retenir dans la solution

C_p est la concentration de la même espèce dans le perméat.

L'osmose inverse utilise des membranes denses sans porosité qui laissent passer le solvant et arrêtent les ions. [36]

3.4 PRINCIPES DE L'OSMOSE INVERSE

3.4.1 Pression osmotique :

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane

semi-sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigée de la solution diluée vers la solution concentrée. Si on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Avec une pression suffisamment forte, le flux d'eau va même s'annuler : cette pression est nommée la pression osmotique P (en faisant l'hypothèse que la solution diluée est de l'eau pure). Si on dépasse la valeur de la pression osmotique, on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique : c'est le phénomène d'osmose inverse.

La pression osmotique des électrolytes est donnée par la relation suivante :

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

Où i est le nombre d'espèces d'ions constituant le soluté, C la concentration molaire du soluté (mol.m^3), T la température (K) et R la constante des gaz parfaits ($8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$). Π est exprimée en pascals. Cette relation est valable pour des solutions diluées. [36]

3.4.2 Mécanisme diffusif :

En osmose inverse les transferts de solvant et de soluté se font par solubilisation - diffusion : toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent à travers la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci comme dans un liquide sous l'action d'un gradient de concentration et de pression. Le transfert ne dépend donc plus de la dimension des particules mais de leur solubilité dans le milieu membranaire. Les séparations sont donc d'origine chimique et sont liées au pouvoir solvant de la membrane.

Le flux massique J_{solvant} ($\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) de solvant et le débit volumique de solvant ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) traversant la membrane sont donnés par les relations :

$$J_{\text{solvant}} = A.(\Delta P - \Delta \Pi)$$

Et

$$Q_p = \frac{A.S}{\rho}.(\Delta P - \Delta \Pi)$$

Où :

A : est la perméabilité de la membrane au solvant (m-1.s),

S : la surface de la membrane (m²),

ρ : la masse volumique du solvant (kg.m⁻³),

ΔP : la différence de pression de part et d'autre de la membrane

$\Delta \Pi$: la différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane.

$\Delta \Pi$ est la pression osmotique du flux d'alimentation si le perméat est une solution très diluée. Les pressions sont exprimées en pascals.

Le flux massique $J_{\text{soluté}}$ (kg.m⁻².s⁻¹) de soluté traversant la membrane est donné par la relation :

$$J_{\text{soluté}} = B. (C_0 - C_p)$$

Où B est la perméabilité moyenne de la membrane au soluté (m.s⁻¹), C₀ et C_p sont respectivement la concentration en soluté de l'alimentation et du perméat de part et d'autre de la membrane (kg.m⁻³).

On montre donc que le flux de solvant est proportionnel à la pression efficace $\Delta P - \Delta \Pi$ tandis que le flux de soluté en est indépendant. On montre également que le taux de rejet d'une membrane augmente lorsque la pression efficace augmente.

La sélectivité des membranes d'osmose inverse pour les différentes espèces chimiques dépend de leur possibilité de solvation par l'eau. Les espèces les plus fortement solvatées ont un taux de rejet toujours plus important. On peut en tirer les indications suivantes :

- les ions sont mieux retenus que les molécules.
- les protéines ont une rétention plus faible pour des pH proches du point isoélectrique.
- pour les acides faibles, le taux de rejet est élevé lorsque le pH est supérieur au pK.
- pour des ions de valence différente, le taux de rejet croît avec la valence des ions.

- pour des ions de même valence, le taux de rejet diminue si leur masse molaire augmente. [36]

3.5 MEMBRANES

3.5.1 Constitution et assemblage en modules :

Les membranes sont le plus souvent fabriquées en acétate de cellulose ou en polymères de synthèse (polyamides, polysulfones). Elles peuvent être planes ou tubulaires (épaisseur de l'ordre de 200 μm) ou en fibres creuses obtenues en filant des polymères (diamètre intérieur de 25 à 800 μm et diamètre extérieur de 50 à 1000 μm)

Les membranes sont caractérisées par leurs qualités de stabilité chimique (pH, oxydants, dichlore ...), de stabilité thermique (important facteur pour les utilisations biologiques où il y a stérilisation en autoclave), de stabilité microbiologique (dégradation bactérienne pour les membranes en acétate de cellulose) et de résistance mécanique. Leur coût intervient dans 40 à 50 % de l'investissement d'une unité d'osmose inverse.

Pour être mises en œuvre les membranes doivent être montées dans des supports appelés modules. Une enceinte résistant à la pression est toujours nécessaire. On trouve trois types principaux :

- module spirale : une membrane plane est enroulée autour d'un tube creux collecteur de perméat.
- module tubulaire : une membrane tubulaire est fixée sur un support poreux.
- module à fibres creuses : les fibres en U sont mises en faisceau et assemblées de façon à réaliser l'étanchéité aux deux extrémités du module. Le liquide à traiter circule perpendiculairement à l'axe des fibres tandis que le concentrat est recueilli dans une enceinte qui enveloppe le faisceau et permet son évacuation à une des extrémités du module. Le perméat s'écoule à l'intérieur de chacune des fibres puis dans un collecteur. [36]

3.5.2 Polarisation et colmatage :

La polarisation, apparaissant en osmose inverse, est un phénomène réversible (disparaissant quand le gradient de concentration s'annule) caractérisé par une accumulation à la surface de

la membrane des espèces retenues. La concentration étant à la surface plus élevée que dans le volume de la solution il s'ensuit une augmentation de la pression osmotique près de la membrane et donc une diminution de la pression efficace $\Delta P - \Delta \Pi$: Le flux de perméat va donc diminuer.

Le colmatage est possible en osmose inverse. On peut atteindre la limite de solubilité des sels au niveau des membranes et avoir une formation de tartre lors de la déminéralisation d'eaux salines. [36]

3.5.3 Procédés :

Les unités d'ultrafiltration ou d'osmose inverse comportent principalement en plus des modules les éléments suivants :

- une pompe à haute pression (40 à 80 bars) pour l'osmose inverse.
- un échangeur de chaleur pour maintenir les liquides aux températures souhaitées.

Les procédés existent en discontinu comme en continu avec dans les deux cas des montages permettant le recyclage des concentrats pour améliorer la séparation. Une étape d'élimination préalable des plus grosses particules est toujours nécessaire. [36]

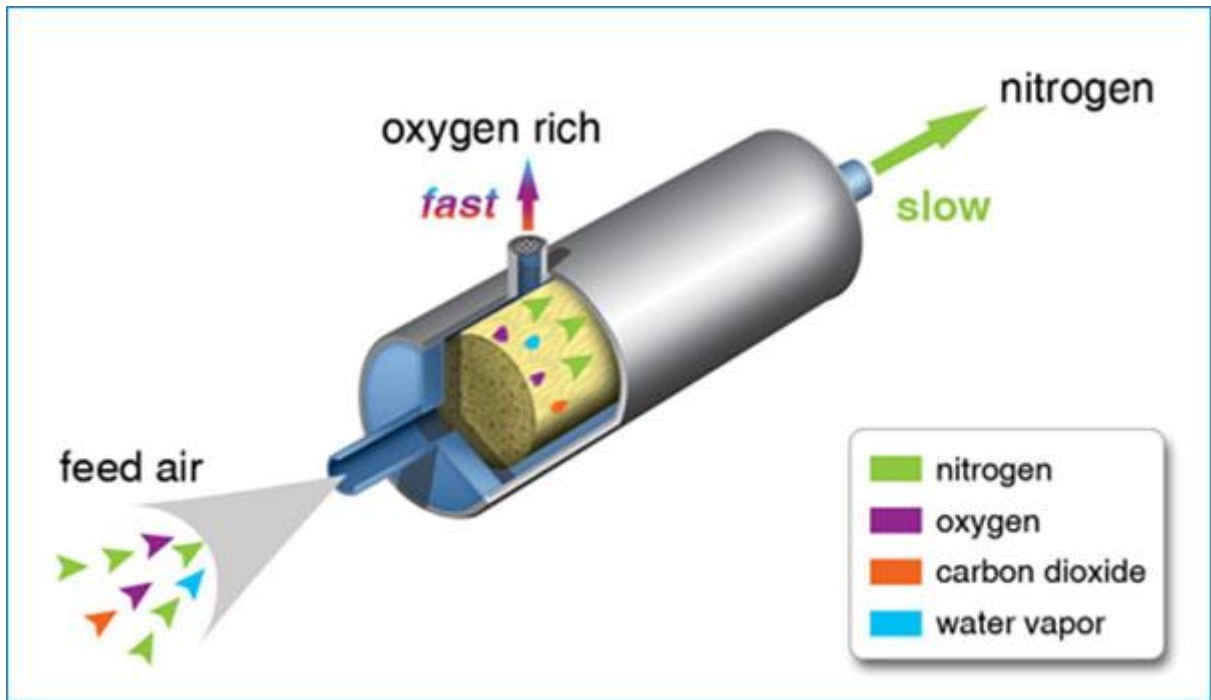


Figure10 : La membrane [37]

3.6 APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Les principales applications de l'osmose inverse et de l'ultrafiltration sont les suivantes :

- traitement des eaux : dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, production de l'eau ultra pure (industries électronique, pharmaceutique ...).
- extraction de protéines du lactosérum dans l'industrie laitière.

Les techniques présentées présentent les avantages suivants :

- opération à température ambiante ce qui évite la dégradation de molécules fragiles dans le domaine agro-alimentaire.
- pas d'intervention de réactifs chimiques comme des agents d'extraction qui sont des sources de pollution.
- consommation énergétique faible vis à vis de la distillation pour le dessalement de l'eau.

Néanmoins des inconvénients existent :

- baisse de la perméabilité et modification de la sélectivité en cas de colmatage des membranes.
- sélectivité entre les espèces chimiques "soluté" toujours inférieure à 100 %.
- durée de vie limitée des membranes soit par perte de résistance mécanique soit par suite d'une mauvaise tenue aux réactifs utilisés pour le nettoyage.[36]

3.7 Conclusion :

Nous avons donc vu que l'osmose est un phénomène de diffusion de liquides entre deux solutions séparées par une membrane semi perméable.

L'osmose inverse peut quant à elle être utilisée pour le dessalement de l'eau de mer. Il faut exercer une pression sur la solution la plus concentrée afin qu'elle passe à travers la membrane et que l'eau soit filtrée. Les nappes phréatiques, les sources d'eau s'épuisent, ce procédé pourrait donc résoudre de nombreux problèmes liés à l'eau dans les prochaines années. [38]

Chapitre 4 :
Mise au point de la
filière de traitement
de l'eau d'un forage
profond (cité Larza
hôpital El-Hadjar)

4.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE :

L'hôpital El-Hadjar est situé au sud-est de la wilaya d'Annaba.

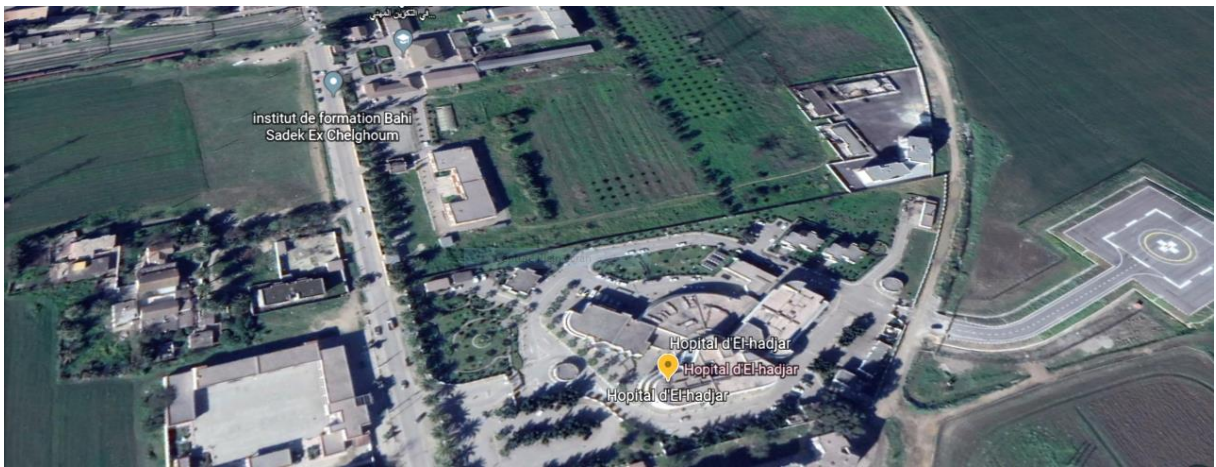


Figure 11 : Carte de localisation de l'hôpital El-Hadjar [39]

4.2 INTRODUCTION

Après avoir évalué les besoins en eau de l'hôpital El-Hadjar, on a estimé sa consommation journalière maximal est de $190\text{m}^3/\text{j}$.

Notre étude a pour objet la détermination d'un procédé de traitement adéquat de l'eau de forage pour une production d'eau potable de débit $08\text{ m}^3/\text{h}$, conformément au norme Algérienne Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabi Et Hani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine, pour les besoins de l'hôpital El-Hadjar, Annaba.

On installe un réseau qui comporte plusieurs éléments à savoir, station de traitement, conduite de distribution et des ouvrages de stockage de l'eau brute d'une capacité de 300m^3 . Cette capacité peut être suffisante mais vu les problèmes de dysfonctionnement, perturbation et coupure d'eau on doit mettre au point la chaîne de traitement de l'eau de forage afin de pouvoir produire un certain volume d'eau qui servira d'autonomie pour la station.

4.3 CARACTERISTIQUES DE L'EAU DE FORAGE

4.3.1 Le forage :

Un forage est un système de captage qui permet l'exploitation de l'eau d'une source souterraine. L'eau peut être contenue dans les fissures, les interstices d'une roche ou bien dans le sous-sol qu'on appelle aquifère ou encore nappe phréatique. Le forage consiste à creuser le sol soit manuellement à l'aide d'outils légers, soit mécaniquement avec des moyens plus lourds. Un forage peut atteindre les centaines de mètres de profondeur. Il existe de nombreux types de forage, en fonction de la profondeur, de la quantité d'eau voulue et de son utilisation.

4.4 CARACTERISTIQUES DE LA TECHNOLOGIE

Le forage s'effectue au moyen de machines semi-automatiques ou foreuses qui permettent aux nappes profondes. Le forage est équipé d'un tube plein en PVC pour stabiliser les parois et d'une crépine en face des venues d'eau pour assurer le captage de l'aquifère.

4.4.1 Avantages

Le forage captant les aquifères profonds mieux protégé contre la pollution permet l'accès à l'eau de qualité et en quantité suffisante (pompe manuelle, système d'adduction d'eau, ..). Il garantit l'accès à l'eau potable même pendant les périodes sèches.

4.4.2 Inconvénients

Le problème de maintenance de moyen d'exhaure, posé en milieu rural très défavorisé, est un inconvénient majeur pour assurer un accès continu à l'eau des forages. Dans certains cas, les populations locales sont réticentes au goût de l'eau du forage.

4.5 Choix de la filière de traitement

La base du choix du procédé de traitement et le dimensionnement des différents équipements se fera à partir de l'analyse de l'eau brute.

Pour le bon déroulement de l'étude, la détermination du débit nominal du forage est une donnée importante. Pour cela nous avons procédé à la mesure du débit qui est de l'ordre de $Q = 13 \text{ m}^3/\text{h}$

Une fois que le débit a été déterminé et qu'il est suffisant et répond à la quantité voulue ou attendue, nous avons commencé à prendre des échantillons d'eau afin de réaliser des analyses physico-chimiques et microbiologiques pour préconiser le traitement adéquat de l'eau c'est-à-dire la chaîne de traitement, sur la base des résultats des bulletins d'analyses d'eau brute effectuées au sein du laboratoire contrôlent de la qualité de l'Algérienne Des Eaux (A.D.E) Annaba et les obligations réglementaires

Tableau 4.1 : résultat d'analyse d'eau traité d'eau de forage de l'hôpital El-Hadjar

	mg/L	Degré français		mg/L	Degré français
Calcium	200,40	50.1	Bicarbonates	399	32.70
Magnésium	126,38	52,6	Sulfates	112	11.67
Fer	2,85	0,51	Chlorures	1246	178
Ammonium	1.96	0.54	Nitrites	0.03	0.01
			Phosphore	0.025	0

	Valeurs mesurées	Unité		Valeurs mesurées	Unité
pH	7.08	Unite pH	Conductivité	4020	μS/cm
Température	23	°C	TH	1027	mg/L de CaCO3
TDS	2035	mg/L	Indices permanganate	3.95	mg/L O ₂

NB/ les caractéristiques physico chimiques de l'eau connaissent des variations importantes selon les saisons, Exemple : la salinité peut atteindre 3000ppm et celle du fer jusqu'à 4ppm (des informations prise par les analyses précédentes)

4.5 CALCUL ET INTERPRETATION :

Méthode de calcul :

- $M_{Mg}=24 \text{ g}$

$$1 \text{ meq/LMg}^{2+} = \frac{24}{2} = 12 \text{ mg/L}$$

$$\text{Mg}^{2+} = \frac{126,38 * 50}{12} = 526,6 \text{ mg/L de CaCO}_3 = 52,6^\circ\text{F}$$

- $M_{Ca^{2+}} = 40 \text{ g}$

$$1 \text{ meq/LCa}^{2+} = \frac{40}{2} = 20 \text{ mg/L}$$

$$\text{Ca}^{2+} = \frac{200,40 * 50}{20} = 501 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de CaCO}_3 = 50,1^\circ\text{F}$$

$$\text{TH} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] = 50,1 + 52,6$$

$$\text{TH} = 102,7^\circ\text{F}$$

Le pH de l'eau est de 7,08 c'est une eau neutre. D'après le résultat des analyses on trouve que le TAC est inférieur au TH donc la dureté de l'eau est carbonatée.

$$\text{TAC} = 40^\circ\text{F} < \text{TH} = 102,7^\circ\text{F}$$

La dureté non carbonatée = $\text{TH} - \text{TAC} = 62,7^\circ\text{F} = 627 \text{ mg/L de CaCO}_3$.

Comparant la teneur du fer avec la norme algérienne qui est de 0,3mg/L, on trouve qu'elle est très élevée de plus le fer constitue en poison pour les membranes d'osmose inverse, en outre l'eau n'est pas limpide parce que sa turbidité = 28NTU (rend la couleur de l'eau jaune à orange).

La conductivité élevée ainsi que la salinité de l'eau, alors l'eau contient beaucoup de sel dissous. On constate l'absence de Manganèse et les métaux lourds.

4.7 DESCRIPTION DU LOGICIEL LEWAPLUS :

LewaPlus® permet de planifier les systèmes à échange d'ions (IX) et à osmose inverse (OI) sous diverses configurations, notamment certaines configurations de processus uniques

uniquement disponibles avec les technologies de produits Lewatit® et Lewabrane®. Le logiciel de conception est unique dans l'industrie du traitement de l'eau, car il offre non seulement la possibilité de traiter un flux après l'autre (unidimensionnel), mais aussi de concevoir des systèmes de traitement complexes (bidimensionnels) avec différentes technologies.

Et dans notre cas, on a utilisé logiciel pour calculer le TH, TDS, conductivité, pression osmotique et la balance ionique.

The screenshot displays the Lewaplus software interface. On the left, a process flow diagram shows 'Traitement d'eau d'alimentation' leading to three 'RO' (Reverse Osmosis) stages, with 'Traitement du concentrat' and 'Traitements concentrés' stages in between, finally leading to 'Traitement d'eau du produit'. The main window is titled 'Analyse de l'eau complète' and shows a table of chemical parameters.

Cations		Originale	Unité	[meq/l]	Anions		Originale	Unité	[meq/l]
Na:	799,5	mg/l		34,77599	Cl:	1645,29	mg/l		46,41157
Ca:	200,4	mg/l		10,00000	SO4:	111,36	mg/l		2,31855
Mg:	126,38	mg/l		10,39309	CO3:	0,5312	mg/l		0,01771
K:	0	mg/l			HCO3:	398,57	mg/l		6,53179
Sr:	0	mg/l			NO3:	0	mg/l		
Ba:	0	mg/l			F:	0	mg/l		
NH4:	1,96	mg/l		0,10865	SiO2:	0	mg/l		
Fe(II):	0	mg/l			B:	0	mg/l		
Mn:	0	mg/l			PO4:	0	mg/l		
Al:	0,12	mg/l		0,01335	Br:	0	mg/l		
					As(III):	0	mg/l		
					As(V):	0	mg/l		
H+:	0,0001	meq/l		0,00008	OH-	0,0002	meq/l		0,00023
Somme C:				55,29108	Somme A:				55,27962
+ Na:				0,00000	+ Cl:				0,01131

Additional data from the 'Autres' section:

- Température: 25 °C
- pH: 7,08
- CO2: 43,22 mg/l
- Turbidité: 28,5 [NTU]
- SDt: 0
- TSS: 0 [ppm]
- COT: 0 [ppm]
- Fe (total): 2,85 [ppm]
- Chlore libre: 0 [ppm]
- H2S: 0 [ppm]

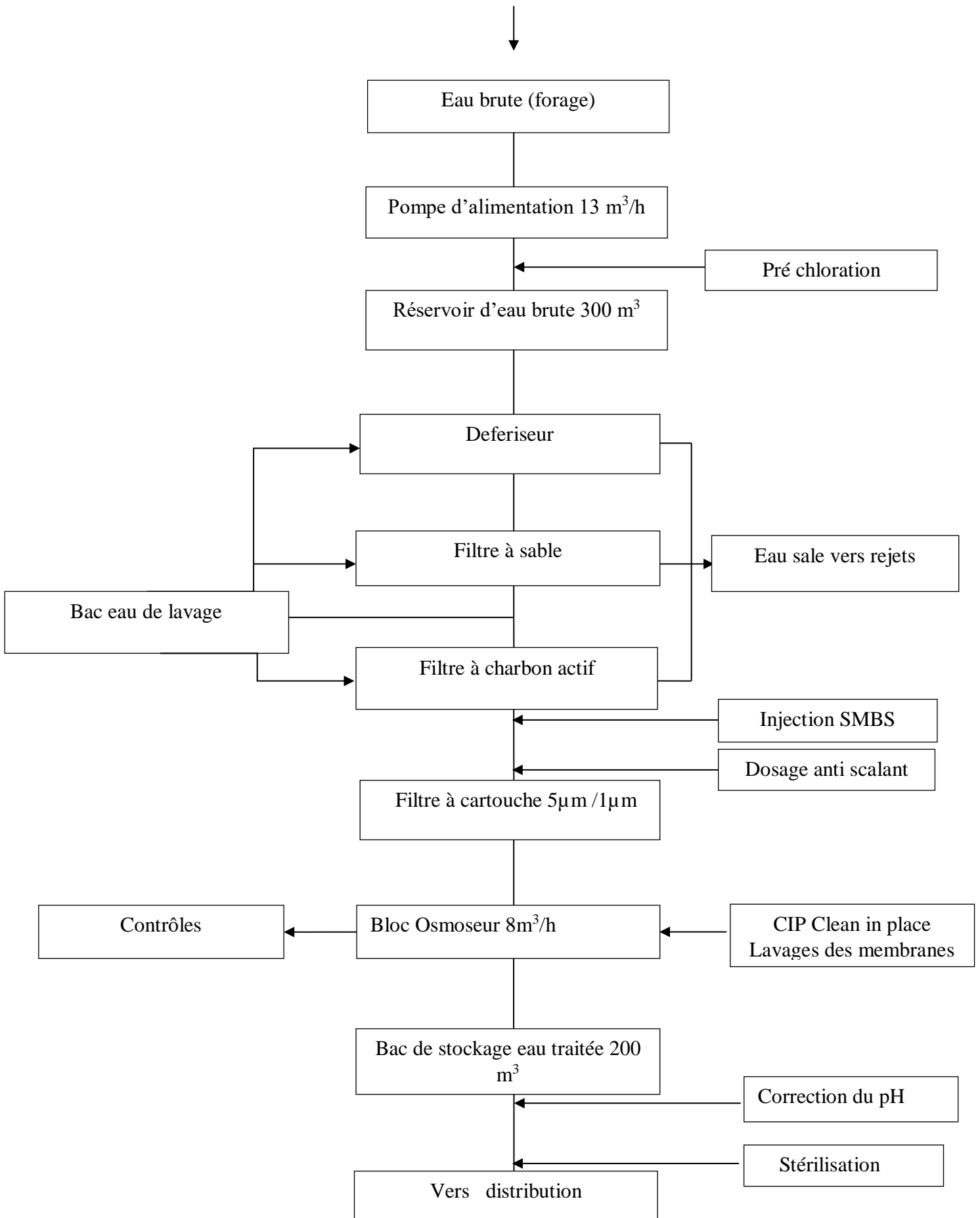
Summary (Résumé):

- TDS: 3284,51
- Conductivité: 5466,13
- Pression osmotique: 234,41
- Force ionique: 0,067

Figure12 : Capture sur logiciel de lewaplus [40]

4.8 CHAÎNE DE TRAITEMENT RETENUE

Afin de déterminer les procédés de traitement de l'eau de forage pour une production d'eau potable de débit 8m³ /h pour les besoins de l'hôpital El-Hadjar. A partir des interprétations des analyses nous avons pu mettre au point la chaîne de traitement de l'eau de forage. La chaîne commence par la construction d'une bache tampon afin de pouvoir retenir un certain volume d'eau qui servira d'autonomie pour la station et maintenir un débit d'alimentation de la station constant et en plus éliminer une partie des matières en suspension. Comme l'eau de forage contient du fer et que ce dernier est un poison pour la membrane d'osmose inverse, on doit l'éliminer. Le fer est un des métaux les plus abondants de la croûte terrestre. Il est présent dans l'eau sous trois formes : le fer ferreux, Fe²⁺, le fer ferrique, Fe³⁺ et le fer complexé à des matières organiques (acides humiques, fluviqes, stanniques ...) et minérales (silicates, phosphates, bicarbonates...). Le fer est un élément essentiel de la nutrition humaine. Les besoins journaliers sont de 1 à 2mg. La présence dans l'eau au-delà de 0,1 mg/L est gênante car elle va conférer à l'eau une couleur jaune à orange, provoquant des dépôts d'hydroxydes ferrique, donnant à l'eau un goût métallique désagréable et tâcher le linge.



4.8.1 POMPE D'ALIMENTATION :

L'extraction de l'eau de forage est assurée par une pompe d'alimentation centrifuge qui la refoule vers une bache de reprise (bassin tampon). Cette pompe est de débit de 13m³/h et de hauteur manométrique totale de 5 bar ainsi d'une puissance de 5KW

4.8.2 STOCKAGE DE L'EAU BRUTE

En amont de la station sera prévu une bache à eau en béton armé d'une capacité de : 300 m³. Ce réservoir sera muni d'échelles, de garde-corps ainsi que de toute la robinetterie, instruments de contrôle, contacteurs de niveau relie au PLC de l'osmoseur, indicateurs de niveau visible, purge vidange et un trou d'homme.

4.8.3 PREOXYDATION DU FER FERREUX :

4.8.3.1 Aération :

L'aération permet de mélanger l'air à l'eau pour favoriser les réactions d'oxydation, enlever les gaz dissous ou éliminer les goûts et odeurs. L'aération suit les lois de l'échange gaz-liquide, pour le transfert des solutés à travers une interface air-liquide.

L'aération peut être installée en tête de la chaîne de traitement de l'eau comme étape de peroxydation. Cette aération est nécessaire lorsque l'eau présente une carence en oxygène et permet alors, soit :

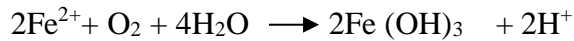
- D'oxyder des éléments réduits, tels les ions ferreux ;
- D'augmenter la teneur en oxygène dans l'eau (améliorer le goût, éviter la corrosion des conduites métalliques en formant une couche protectrice) ;
- D'éliminer des gaz indésirables (H₂S, CO₂ libre, sursaturation en oxygène, composés organiques volatils, etc.).

L'aération permet aisément l'oxydation du fer s'il n'est pas à l'état complexé soit par la matière organique (acides humiques) ou par la silice dissoute.²⁹

4.8.3.2 oxydation chimique :

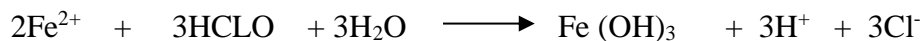
Les oxydants chimiques jouent le même rôle que l'aération en ce qui a trait à l'oxydation des éléments réduits comme les ions ferreux. La combinaison avec l'étape d'aération est toutefois intéressante puisque la demande en oxydant chimique peut être abaissée grâce à l'action préalable de l'oxygène de l'air sur les composés réducteurs, volatils ou autres. ²⁹

Dans les eaux bien aérées, le fer ferreux est oxydé en fer ferrique qui précipite sous forme d'hydroxyde, $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Dans les eaux souterraines (eau généralement ferrugineuse, des teneurs en fer de 1 à 10mg/L étant communes), au contraire, l'absence d'oxygène fait que le fer reste en solution. Au contact de l'air, ces eaux deviennent troubles par suite de la formation du précipité rougeâtre selon la réaction chimique suivante :



La réaction est d'autant plus rapide que le pH est plus élevé, $\text{pH} > 4$, et que l'eau est plus proche de la saturation en oxygène. Par contre la présence de matières organiques ou tout autre élément complexant, retarde la réaction, nécessitant alors un traitement complémentaire,

Consistant en une injection d'un oxydant puissant tel que l'eau de javel qui agit plus rapidement que l'oxygène dissout selon la réaction :



De plus, en agissant sur les matières humiques, ces oxydants peuvent précipiter le fer colloïdal. Pour des eaux présentant un TAC notable, l'ion Fe^{2+} souvent associé à l'ion carbonate.

4.8.4 DEFERRISATION :

Les sels de fer dans les eaux souterraines sont instables ; ils réagissent avec l'eau pour former des précipités insolubles qui sédimentent sous la forme d'un limon de couleur rouille (fer).

La présence de fer dans les sources d'approvisionnement en eau potable n'est pas souhaitable pour un certain nombre de raisons qui ne sont pas liées directement à la santé.

Il arrive souvent que l'eau prenne alors un goût désagréable et paraisse impropre à la consommation ; elle peut tacher la lessive et les accessoires de plomberie.

Dans le réseau de distribution, le fer peut sédimenter dans les conduites et réduire sa capacité hydraulique.

Ils peuvent aussi promouvoir la croissance des Ferro bactéries ; ce sont des micro-organismes qui tirent leur énergie de l'oxydation du fer. Ce phénomène conduit au dépôt d'une pellicule biologique sur la paroi des conduites d'aqueduc.

Ces problèmes apparaissent ordinairement lorsque la concentration du fer dépasse 0,3 mg/L.

Les procédés de traitement d'élimination du fer sont basés sur l'oxydation des formes réduites dissoutes (Fe^{2+}) en formes insolubles ferriques (Fe^{3+}) grâce à une réaction d'oxydoréduction

Ces formes insolubles sont ensuite retenues sur un milieu filtrant granulaire. La première étape de traitement est donc celle d'oxydation

La percolation de l'eau à travers un lit de granules appelé purolussite (MnO_2 pur) offre un autre avantage d'élimination du fer. Cette méthode permet la suppression du fer par adsorption.

- **Caractéristique technique du deferiseur (PUROLUSITE) retenue :**

Le deferiseur doit être capable d'éliminer tout le fer dissous.

- Quantité : (01) ou (01+ 01) un en fonctionnement et l'autre en standby
- Vitesse de filtration optimale : $< 10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$.
- Hauteur : 72 inch
- Diamètre : 36 inch
- Hauteur du lit : 36 inch
- Construction : fibre de verre
- Purolusite : 120 Litres
- Sable : 280 litres

4.8.5 FILTRATION SUR SABLE OU MATIERE AG

La filtration sur sable est nécessaire pour éliminer les agglomérats qui constituent la turbidité de l'eau, afin de protéger la membrane contre le colmatage. Une fois l'eau déferrisée, elle passe à travers le filtre en AG (Alumino-silicate). Le rôle de ce filtre est de retenir toutes les matières en suspension. Le lavage du filtre est automatique est contrôlé par la perte de charge du milieu filtrant.

- **Caractéristique technique du filtre à sable**

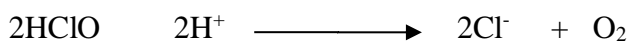
- Quantité : (01) ou (01+ 01) un en fonctionnement et l'autre en standby
- Vitesse de filtration : $10 \text{ m}^3 / \text{h} / \text{m}^2$

- Hauteur : 72 inch
- Diamètre : 36 inch
- Construction : Fibre de verre
- Media type : matière AG
- Densité : 2.6
- Pression de service : 5 bars
- Quantité : 400 L.

4.8.6 FILTRATION SUR CHARBON ACTIF

Après avoir injectée l'eau de javel dans l'eau à traiter, on va avoir deux partie :

Une partie elle va servir à oxyder la matière organique et le fer, l'autre partie en excès va être éliminée en faisant passer l'eau à travers un lit de charbon actif. L'emploi du charbon actif que l'on tire plein profit de ce processus, cette substance étant l'une des adsorbants les plus efficaces et le plus polyvalents. Face au nombre toujours croissant de micropolluants dans les eaux brutes. On devra sans nul doute recourir de plus en plus fréquemment aux procédés d'adsorption pour affiner les eaux de distribution. On entend par adsorption la rétention de molécules ou de radicaux divers à la surface d'un corps solide appelé l'adsorbant. Celui-ci peut agir ainsi en milieu gazeux ou en milieu liquide. Puisqu'il n'y a pas de réaction chimique, l'adsorption est un processus réversible. Par ailleurs, l'adsorbant n'étant que peu sélectif, il adsorbe une gamme très étendue de substances diverses ; il s'agit là d'une caractéristique très intéressante pour le traiteur d'eau, face à la présence simultanée de nombreux micropolluants. Son affinité est beaucoup plus marquée pour les composés organiques. Le charbon actif montre aussi une bonne affinité pour certains composés minéraux notamment pour les composés du plomb, du nickel, du titane. Il faut signaler, de plus, qu'il retient les virus et les bactéries. Par ailleurs, le charbon actif adsorbe le chlore actif et catalyse sa décomposition selon la réaction :



L'adsorption d'un oxydant fort tel que HClO sur le charbon actif peut occasionner son oxydation selon :



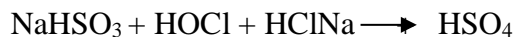
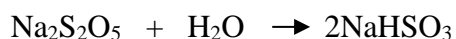
On emploie le charbon en granulés dans des lits ou colonnes analogues aux filtres, avec des hauteurs de couche, cependant, plus considérables, il peut s'agir d'écoulement gravitaire ou d'écoulement sous pression ce qu'on a choisi comme écoulement, on tire alors plein profit du charbon actif et du type d'écoulement car il est possible de réaliser la suppression entière des micropolluants visés.

- **Caractéristique technique du charbon actif**

- Quantité : (01) ou (01+ 01) un en fonctionnement et l'autre en standby
- Vitesse de filtration : 10 m³ /h /m².
- Hauteur : 72 inch
- Diamètre : 36 inch
- Construction : Fibre de verre
- Media type : charbon actif
- Pression de service : 5 bars
- Quantité : 500 L
- Densité : 255 kg/m³

4.8.7 DECHLORATION

Le dé chloration chimique est effectué à l'aide d'injection du réactif Meta bisulfite de sodium SMBS afin d'éliminer le chlore libre total selon la réaction de dé chloration :



L'élimination du chlore libre résiduelle est primordiale car elle préserve la membrane de l'osmoseur qui constitue un poison pour les membranes et augmente leur durée de vie.

Le profil de concentration du chlore libre est suivi par l'électrode ORP (potentiel redox). C'est une électrode qui dose le chlore libre. Pour avoir une concentration nulle en chlore libre il faut avoir un potentiel de l'eau inférieur à 250mv. L'avantage du bisulfite est qu'il est aussi un réducteur d'oxygène qui ralentit considérablement le développement des germes sur la membrane de l'osmoseur.

En théorie le dosage de bisulfite doit être fait stochiométriquement par rapport à la présence de chlore libre dans l'eau, dans la réalité pour avoir une action immédiate il y a lieu de doser 10ppm de bisulfite par ppm.

- **Caractéristique technique du de chloration**

Quantité de bisulfite à doser : +/- 10 ppm par ppm de chlore libre.

Cet ensemble se compose de :

- 1 bac de 150 litres avec contrôle de niveau et agitateur mécanique
- 1 pompe doseuse électromagnétique : 2 LPH

La pompe doseuse est pilotée par compteur émetteur d'impulsion

4.8.8 INJECTION D'ANTITARTRE : ANTISCALANT

Les produits chimiques antitartre sont utilisés pour prévenir l'encrassement et l'encrassement des membranes RO. L'échelle peut consister en un encrassement minéral tel que le sulfate de calcium, le carbonate de calcium, le sulfate de baryum, la silice, le fluorure de calcium et le sulfate de strontium. Le dosage de l'agent antitartre doit être effectué avant d'atteindre les membranes d'OI afin de dissocier les sulfates, le carbonate de calcium et d'autres encrassements minéraux.

Les produits chimiques antitartre sont utilisés pour traiter une eau d'alimentation de très mauvaise qualité avec des taux de récupération très élevés. Lorsqu'il est utilisé correctement, Anti scalant prolonge le délai entre les nettoyages de la membrane de quelques semaines à quelques années dans certains cas. Sans Anticalcaire, les systèmes membranaires ne seraient+

A partir de cela on remarque que le rôle de l'anti scalant est d'empêcher les dépôts ce qui minimise les besoins en produits de nettoyage curatif, réduisant ainsi le temps d'arrêt pour le nettoyage du système. Il sera comme le SMBS et l'eau de javel, injecté par pompe doseuse. Le matériel doit être en matière plastique. La dose exacte dépend de la qualité de l'eau et des conditions opératoires de l'installation. Il s'utilise de préférence pur et de qualité alimentaire. Le bac de stockage doit être maintenu fermé et nettoyé à chaque remplissage.

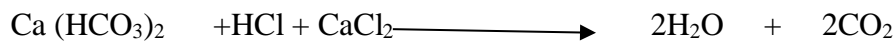
- **Caractéristique technique de l’antitartre**

Pour protéger l’osmoseur contre l’entartrage. Le système est constitué de :

1 bac de 150 litres avec contrôle de niveau et agitateur mécanique 1 pompe doseuse électromagnétique La pompe doseuse est pilotée par compteur émetteur d’impulsions 2 LPH

4.8.9 DECARBONATATION A L’ACIDE

Pour minimiser la quantité d’anti scalant vu que l’eau est très chargée en sel, on préconise une décarbonatation à l’acide chlorhydrique ou sulfurique, mais de préférence à l’acide chlorhydrique. L’addition d’un acide fort déplace les carbonates sous formes de gaz carbonique suivant les réactions suivantes :



L’addition d’acide est régulée par un pH mètre, le pH de l’eau doit être égal à 6,5 pour déplacer 50% des bicarbonates en gaz carbonique.

4.8.10 FILTRATION FINE SUR CARTOUCHES

Les membranes d’osmose inverse sont très sensibles au colmatage par les matières colloïdales, les ions minéraux qui ont tendance à précipiter ou à s’accumuler sur la surface de la membrane, et les micro-organismes. Le SDI (silt density index) est un paramètre indicateur du potentiel de fouling des membranes. Il dépend de la nature et de l’origine de l’eau brute. Les fournisseurs des membranes recommandent un SDI inférieur à 3 en amont des membranes. Afin d’avoir un SDI inférieur à 3, des filtres à cartouches (5microns et 1 micron) sont installés en amont des membranes (de l’osmoseur), pour retenir ces matières en suspension entraînées par l’eau, d’une façon accidentellement et protégés les membranes.

- **Caractéristique technique du filtre a cartouche**

5 microns

- Nombre de filtre : (1)
- Pression de service : 4.0 bar
- Maximum pression : 10 bars
- Dim particule : 5 Micron

- Matériaux cartouche : Polypropylène
- Longueur : 30 inches

1 Micron

- Nombre de filtre : (1)
- Pression de service : 4.0 bars
- Maximum pression : 10 bars
- Dim particule : 5 Micron
- Matériaux cartouche : Polypropylène
- Longueur : 30 inches



Figure 13 : Filtre à cartouches "CF" [42]

4.9 OSMOSE INVERSE

L'osmose inverse ou inversée est le procédé mis en œuvre pour obtenir le résultat inverse à l'osmose naturelle c'est à dire la production d'eau pure à partir d'une solution moyennement voire faiblement concentrée.

Ce procédé inverse est obtenu par l'application d'une pression supérieure à la pression osmotique sur la solution que l'on souhaite concentrer.

La mise en œuvre industrielle oblige à réaliser cette opération de façon dynamique avec apport d'eau fraîche à concentrer et évacuation de l'eau concentrée en continu.

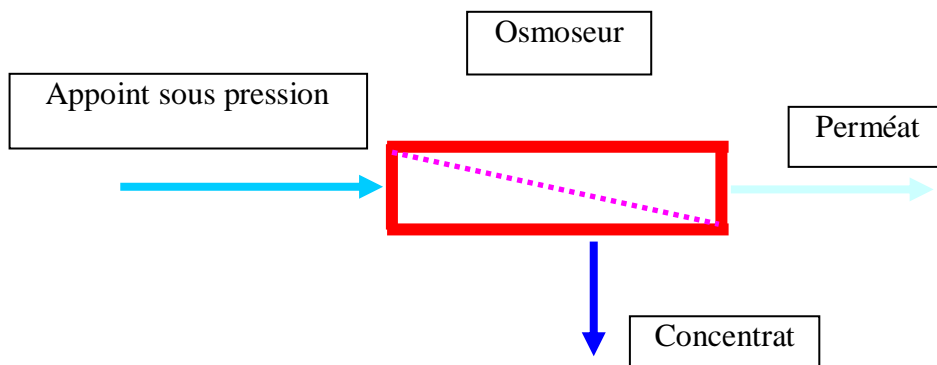


Figure 14 : osmoseur de base

4.9.1 CARACTERISTIQUES GENERALES DE L'OSMOSEUR :

Il y a 3 caractéristiques principales que l'on retrouve sur tous les osmoseurs :

- Le taux de production (vision quantitative)
- Le taux de conversion (rendement)
- Le taux de rejet (vision qualitative)

Ces trois caractéristiques sont généralement demandée en garantie par les clients, il faut bien en comprendre le sens.

4.9.1.1 Le taux de production :

Le taux de production est la capacité d'un osmoseur (ou d'une membrane) à produire une quantité d'eau donnée en un temps donné.

En règle générale nous l'exprimons en litres par heure mais on rencontre aussi cette quantification sous d'autres formes :

Mètre cube par heure 13 m³/h.

Mètre cube jour 312 m³/j.

4.9.1.2 Le taux de conversion :

Dans les systèmes simples à une seule membrane sans recirculation il n'y a qu'un seul taux de conversion qui est celui de la membrane.

Dans les systèmes complexes à plusieurs membranes et/ou avec recirculation il y a deux taux de conversion : le taux de conversion réel et le taux de conversion apparent.

Taux de conversion réel : nous considérerons le taux de conversion membrane par membrane selon la formule :

$$TC = \frac{\text{Débit de perméat} \times 100}{\text{Débit d'alimentation}} = \frac{8 \times 100}{13} = 61,54\%$$

Dans le système ci-dessous nous avons un taux de conversion réel sur la membrane de 20%

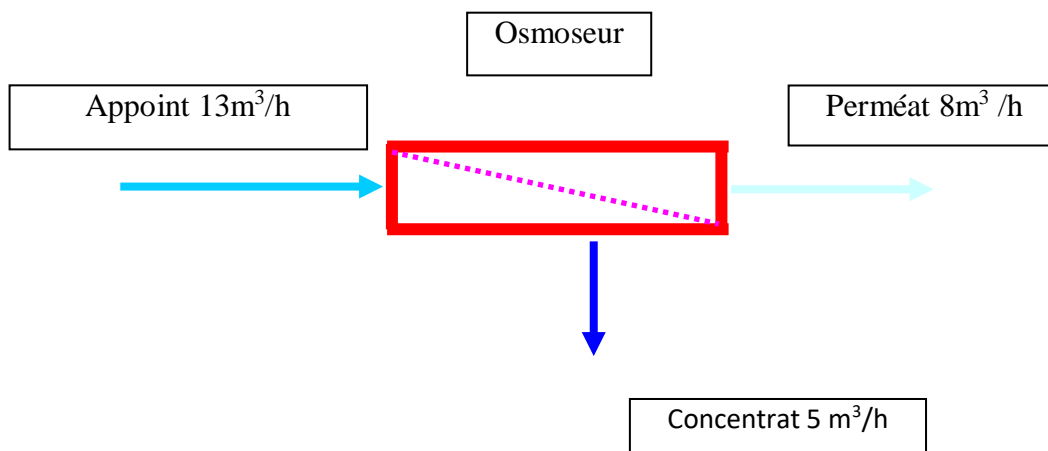


Figure 15 : osmoseur de base

Le taux de conversion du système est de 61,5% mais le taux de conversion de la membrane reste de 33,5% grâce à la recirculation.

- 61,5% c'est le taux de conversion apparent du système
- 33,5% c'est le taux de conversion réel de la membrane

4.9.1.3 Le taux de rejet

Le taux de rejet est l'expression de la performance des membranes d'osmose inverse à rejeter la salinité c'est à dire à produire de l'eau pure.

Les membranes les moins performantes ont des taux de rejet de 95 à 96%, les plus performantes de 99 à 99,5%.

Il va donc rester dans le perméat de 5 à 0,5 % de salinité dissoute qui va représenter la conductivité de l'eau produite.

4.9.2 PARAMETRES INFLUENTS

De nombreux paramètres influent sur la quantité et la qualité de l'eau produite mais aussi sur le dimensionnement et les paramètres de réglage de l'osmoseur.

4.9.2.1 La température :

La température influe principalement sur le taux de production. Les osmoseurs sont dimensionnés pour une température théorique, mais à pression constante en fonction de la température, le débit de production va augmenter ou diminuer de +/- 3% par degré Celsius en plus ou en moins.

Le tableau 4.2 ci-dessous donne les facteurs de correction approximatifs en fonction de la température. Par exemple si un osmoseur dimensionné pour produire 1 m³/h à 15°C est alimenté avec de l'eau à 20°C il pourra produire 1 * 1.19 = 1.19m³/h.

°C	Facteur	Facteur
4	0.45	0.62
5	0.47	0.64
6	0.49	0.67
7	0.52	0.71
8	0.54	0.74
9	0.57	0.78
10	0.60	0.82
11	0.63	0.86
12	0.66	0.90
13	0.68	0.93
14	0.70	0.96
15	0.73	1.00
16	0.76	1.04
17	0.79	1.08
18	0.81	1.11
19	0.84	1.15
20	0.87	1.19
21	0.89	1.22

22	0.92	1.26
23	0.95	1.30
24	0.98	1.34
25	1.00	1.37
26	1.03	1.41
27	1.06	1.45
28	1.10	1.51
29	1.14	1.56
30	1.18	1.62

Les membranes disponibles actuellement sont les suivantes :

- Membranes type TW30 « Tape Water » : ce sont des membranes traditionnelles, existant depuis de nombreuses années, idéalement conçues pour travailler à des pressions de moins de 25 bar et des salinités inférieures à 2 000 ppm.
- Membranes type BW30 « Brackish Water » : il s'agit en fait des mêmes membranes que les TW30, seule la structure extérieure des membranes diffère, ce qui leur permet de travailler jusqu'à des pressions de 40 bar.
- Membranes LP. Les nouvelles membranes LP sont en fait les anciennes membranes HP pour une surface de travail identique aux membranes TW ou BW, elles permettent de produire la même quantité d'eau avec une pression inférieure (par exemple : 15 bar pour les membranes TW ou BW, et seulement 10 bar pour les membranes LP). Le taux de rejet de ces membranes est légèrement inférieur.
- Membranes XLE. Ce sont des membranes dites « Extra LowEnergy » qui pour une même surface de membrane que les TW ou les BW, produisent une quantité d'eau similaire à une pression beaucoup plus faible (15,5 bar pour 6,9 bar). Cependant le taux de rejet de ces membranes est nettement inférieur aux membranes traditionnelles : uniquement 99 % contre 99,5 % pour les membranes traditionnelles. Elles sont faites pour travailler sur des eaux n'excédant pas 500 ppm de salinité totale.
- Membranes SW « Sea Water ». Elles sont utilisées sur des eaux de mer pouvant aller jusqu'à 32 000 mg/l. Elles peuvent travailler jusqu'à des pressions de 70 bar. Elles produisent une eau de meilleure qualité, mais ont des débits de production inférieurs à surface de membrane identique.

- Membrane SW30HR « Sea Water membranes High Rejection ». Elles sont utilisées aussi pour l'eau de mer. Le taux de rejet de ces membranes peut monter jusqu'à 99,7 %. Elles peuvent aussi travailler à 70 bars.

Le tableau 4.3 ci-dessous donne quelques valeurs indicatives de fonctionnement des différentes membranes disponibles.

	Surface M2	Pression Bar	Débit M3/J	Taux de Rejet %	TDS eau brute
Membranes 2,5"					
TW30-2540	2,6	15,5	3,2	99,5	2000
BW30-2540	2,6	15,5	3,2	99,5	2000
LP-2540	2,6	10,0	3,2	99,2	500
XLE-2540	2,6	9,6	3,2	99,0	500
SW30-2540	2,7	55,2	2,6	99,4	32 000
Membranes 4"					
TW30-4040	7,6	15,5	9,1	99,5	2 000
BW30-4040	7,6	15,5	9,1	99,5	2 000
BWLE-4040	7,6	10,3	8,7	99,2	2 000
LP-4040	8,1	10,0	10,2	99,2	500
XLE-4040	8,1	6,9	9,8	99,0	500
SW30-4040	7,4	55,2	7,4	99,4	32 000
Membranes 8"					
BW-330	30,7	15,5	28,4	99,5	2 000
BW-365	33,9	15,5	36,0	99,5	2 000
BW-400	37,2	15,5	39,7	99,5	2 000
BWLE-440	40,9	10,3	44,0	99,2	2 000
XLE-440	40,9	6,9	48,1	99,0	500
SW-380	35,3	55,2	23,0	99,7	32 000
SWHR-380	35,3	55,2	34,1	99,4	32 000

Dans notre cas on a choisi la membrane BW-400, est cela est basé sur l'influence des paramètres à savoir la pression 15 bars, diamètre : 8'', longueur 40''.

4.9.3 Pompe HP ou pompe d'alimentation de l'osmoseur

Les performances d'une membrane d'osmose inverse sont évaluées en termes de pression nette d'attaque (P_{na}) nécessaire pour produire le débit de perméat voulu et le passage en sel correspondant. Le débit spécifique de perméat pour une membrane donnée, qui définit la P_{na} du système, détermine la pression d'alimentation P_a et la consommation énergétique d'un système d'osmose inverse. La pression nette d'attaque (P_{na}) est la différence entre la pression d'alimentation P_a de la pompe haute pression et la somme de la pression osmotique de l'eau brute π (donc de la minéralisation de l'eau brute), la perte de charge ΔP , la pression du perméat P_p et la pression osmotique du perméat, généralement négligeable.

Dans un système d'osmose inverse la pression P_{na} diminue le long du tube de pression à cause de l'augmentation de la pression osmotique d'alimentation et la diminution de la pression d'entrée due aux pertes de charges hydrauliques. Il est évident qu'il est nécessaire que la pression d'entrée soit suffisamment élevée pour garantir aussi une pression P_{na} dans le dernier module du système d'osmose inverse où la pression osmotique est la plus importante.

$$P_{na} = P_a - (\pi + \Delta P + P_p)$$

$$\text{Avec } \pi = i \sum C_i R T$$

La pression d'alimentation P_a dépend du facteur de conversion, de l'origine des membranes (fabriquant, matériau..), de l'âge de la membrane, celle-ci se compactant dans le temps, la pression doit être augmentée pour maintenir un débit constant. Plus la pression d'alimentation sera élevée plus le flux transmembranaire sera important. Au-delà de la valeur de la pression osmotique, le débit est directement proportionnel à la pression d'alimentation. Celle-ci étant limitée par la résistance mécanique de la membrane. La pression d'alimentation des modules est en moyenne égale à environ 2,5 fois la pression osmotique. A la pression d'alimentation il faudra retrancher la perte de charges et la pression du perméat, déjà citées auparavant. La pression d'alimentation sera dans l'intervalle de pression 12 à 14 bars.

4.9.4 Puissances :

Connaissant le débit et la pression d'alimentation nécessaires, il peut être choisi la pompe définie par ces caractéristiques hydrauliques, puis le moteur électrique d'entraînement, en sachant que la puissance absorbée à l'arbre de la pompe est donnée par la formule suivante :

$$P_{ab} \text{ (KW)} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times P \text{ (bar)} \times 100 / 36 \times \eta_p$$

$$Q = \text{débit d'alimentation : } 13 \text{ m}^3\text{/h}$$

$$P = \text{pression fournie par la pompe } 14 \text{ bars}$$

$$\eta_p = \text{rendement de la pompe } 85\%$$

$$P_{ab} = 13 \times 14 \times 100 / 36 \times 85 = 6 \text{ KW}$$

La puissance absorbée aux bornes du moteur électrique (P_b) se déduit de la puissance absorbée à l'arbre de la pompe (P_{ab}), en prenant en compte le rendement du moteur (η_m) et éventuellement celui de la transmission (η_t).

$$P_b \text{ (KW)} = P_{ab} / (\eta_t \times \eta_m) = 6 / (0,96 \times 0,85) = 8 \text{ KW}$$

$$\eta_m = 96\%$$

$$\eta_t = 85\%$$

Tableau 4.4: Récapitulatif : fiche technique de chaque unité de traitement

unité de traitement	Quantité	Débit	Puissance
Pompe d'alimentation (en amont du deferiseur)	un (01 +01)	12-13 m ³ /h	5KW
Deferiseur (Purolusite)	(01) ou (01+ 01)	< 10 m ³ /m ² /h.	
Filtre à sable	(01) ou (01+ 01)	10m ³ /h /m ²	
Filtre à charbon actif	(01) ou (01+ 01)	10m ³ /h /m ² .	
Spécifications du système	une unité(01)	08m ³ /h Minimum	
Pompe haute pression	unité: 01	12 m ³ /h	15 KW

Membranes RO	09 Eléments		
POMPE DOSEUSE : CHLORATION	Un (1)	Un (1)	5 l/h à 4 bars
CIP DE LAVAGE DES MEMBRANES	1		1300 W

4.10 Etablissement des procédés standard opératoire

4.10.1 DEFINITION DU SOP :

Standard operating procédure (SOP), est une procédure de sécurité qui décrit comment affronter une menace et comment agir pour en diminuer le risque. Elle décrit les étapes à suivre pour réduire la possibilité qu'un incident se produise et s'il se produit ce qu'il faut faire pour en limiter les conséquences.

4.10.2 POMPE D'ALIMENTATION :

SOP de la pompe l'alimentation	Article N°1
	Date de l'article 29/05/2019
	De la part de Harez Amira Djelailia Hanane

Le but : Une phase l'aspiration accéder la circulation de l'eau à travers les filtres, elle est autorégulatrice et génère un débit.

L'utilisateur : L'opérateur.

Le temps : Selon les besoins.

Equipements et matériels : La pompe d'alimentation à membrane est fixé sur le bloc moteur, Elle est constitué d'un orifice d'entrée d'une membrane, d'un ressort de refoulement, ainsi d'un levier d'amorçages manuel et de commande d'une part d'un clapet de refoulement d'autre part un clapet d'aspiration, Enfin d'un ressort antibruit et d'une came de commande.

Protocole : L'eau est pompée à l'aide d'une pompe d'alimentation centrifuge à débit 13 m³/h de capacité 5KW et d'une hauteur manométrique totale 5bar.

Condition de sécurité : Les pièces soumises à des variations de température dont le contact peut- être dangereux doivent être protégés par des dispositifs appropriés. Les dispositifs de protection le contact accidentel de pièce en mouvement ne doivent être démonté que lorsque la machine est à l'arrêt. Cette pompe ne doit en aucuncas factionner sans liquide.

4.10.3 FILTRE A SABLE :

SOP du filtre à sable	Article N°2
	Date de l'article 29/05/2019
	De la part de Harez Amira Djelailia Hanane

Le but : Eliminer toute les particules en suspension à savoir les matières colloïdales, matières minéral et organiques.

L'utilisateur : L'opérateur, l'ingénieure en processus, Ingénieure en hydraulique.

Le temps : Après avoir deferrisé l'eau.

Equipements et matériels : Le filtre est rempli d'un milieu filtrant en matière silicate d'alumine non hydraté. Il est doté d'un système de lavage et de rinçage a eau et a air en semi-automatique.

Protocole : Le filtre est rempli d'un milieu filtrant en matière AG (Silicate d'alumine non hydraté). La hauteur de la couche est adaptée à la vitesse de filtration. Il doit être capable d'éliminer toutes les particules en suspension à savoir les matières colloïdales, matières minérales et organiques. Il est doté d'un système de lavage et de rinçage à eau et à air en semi-automatique par circulation à contre -courant. Le système semi-automatique est déclenché par un émetteur de différence de pression (différence de pression entre l'admission et la sortie du filtre), qui est raccordée au PLC. Ce dernier gère cette opération

Condition de sécurité : Il est recommandé de détartre le filtre du moins une fois par an. Si les opérations de lavage et de rinçage du filtre ne sont pas fait correctement la qualité du sable et de la filtration s'entrouvrent impactés filtre à sable dont être changer chaque 5ans.

4.10.4 FILTRE A CHARBON ACTIF :

SOP du filtre à charbon actif	Article N° 3
	Date de l'article 09/06/2019
	De la part de Harez Amira Djelailia Hanane

Le but : Eliminer toute les matières organiques dissoutes, odeur couleur de l'eau, chlore libre.

L'utilisateur : L'opérateur, l'ingénieure en processus, Ingénieure en hydraulique.

Le temps : Juste apes filtration à sable.

Equipements et matériels : Il est construit de fibre de verre, il est doté de vanne de régulation ainsi d'un diffuseur avec raccord rapide.

Protocole : On emploi le charbon en granulés dans des lits ou colonne analogues aux filtres, avec des hauteurs de couche plus considérable il peut s'agit d'écoulement gravitaire ou d'écoulement sous pression.

Condition de sécurité :

Bien manipuler le filtre pendant le démontage.

Veiller à ne pas abimer ou déformer son étanchéité.

Ne pas laver le filtre sous l'eau durée, de vie 5ans il est important d'en charger au minimum après 5ans.

4.10.5 FILTRE A CARTOUCHE:

SOP du filtre à cartouche	Article N°4
	Date de l'article 09/06/2019
	De la part de HarezAmira Djelailia Hanane

Le but : Retenir les matières en suspension entre 1 à 5 micro entraînées par l'eau et protéger les membranes.

L'utilisateur : L'opérateur.

Le temps : Après une décarbonatation à l'acide.

Equipements et matériels : Un filtre à cartouche se compose d'un cylindre dans lequel se trouve une cartouche filtrante.

Protocole : Le fonctionnement de ce système est très simple, l'eau chargée d'imputé est aspirée à l'aide d'une pompe elle passe ensuite dans le filtre où elle est nettoyée grâce à la cartouche filtrante.

Condition de sécurité : Entretien doit être très régulier car la cartouche se salit vite en moyenne il faut la nettoyer.

Une à deux fois par semaine.

Il est important d'en changer 2 cartouches par mois.

4.10.6 OSMOSE INVERSE :

SOP de l'osmose inverse	Article N°5
	Date de l'article 11/06/2019
	De la part de Harez Amira Djelailia Hanane

Le but : Une technique de traitement de l'eau, production d'eau désalinée par un système de filtrage très fin afin d'éliminer les sels et substances organiques présentes dans l'eau ainsi une partie de bactéries et de virus.

L'utilisateur : L'opérateur.

Le temps : Selon les besoins.

Equipements et matériels : Un lot de 9 membranes, doté d'une pompe de haute pression ainsi 2 une membrane d'osmose inverse.

Mode d'emploi : L'osmose inverse purifie l'eau en faisant passer par un volume d'eau pressurisée à travers une membrane très fine en plastique désinfecter l'eau en amant de l'osmose pour éliminer le chlore, les particules et retenir les contaminants susceptible de souiller.

Condition de sécurité

La membrane d'osmose doit être changeable chaque 5ans.

4.11 CONCLUSION :

L'analyse d'eau de forage hôpital El-Hadjar à des caractéristiques physico-chimique qui ne répond pas au norme international et algérienne surtout à savoir la salinité qui est de l'ordre 3000 ppm avec présence de fer et en une turbidité élevé de ce faite, nous avons préconiser une chaine comportant une série d'équipement de prétraitement à savoir : differiseur , filtre à sable , filtre à charbon actif et filtration fine sur cartouche .

L'eau ainsi obtenue sera traitée par une station d'osmose inverse comprenant neuf membranes de type BW-400, ce qui permettra d'obtenir une eau potable conformément à la réglementation et pour des raisons de sécurité on a établie pour chaque équipement de la station un S.O.P

Conclusion général :

L'hôpital El-Hadjar est alimenté par le réseau public de l'ADE.

C'est établissement public hospitalier n'est pas suffisamment alimenté en eau pendant les moments de pénurie à cause du dysfonctionnement et les coupures d'eau fréquente qui ont très souvent eu des répercussions négatif sur l'hygiène au sein de l'hôpital.

Pour cela on doit exploiter le forage abandonné non exploité par une station de traitement.

L'utilisation de ce dernier est basée sur des analyses physico-chimiques et bactériologiques.

Les analyses ont montré que l'eau n'est pas conforme aux normes algériennes et OMS contient beaucoup de sels dissous ; C'est une eau l'ordre saumâtre ; la salinité est élevée ; elle est de 3000ppm ainsi que la turbidité est de 2,8 NTU.

Comparant la teneur du fer avec la norme algérienne qui est de 0.3 mg /L on trouve qu'elle est très élevée de plus ; la teneur du fer est considères comme un poison pour les membranes d'osmose inverse.

De ce fait on a préconisé la filière de traitement suivante : on commence par une oxydation chimique ; ensuite une deferisation ; filtration sur sable et sur charbon actif ; En outre une déchloration et injection d'antitartre par ailleurs une decarbonatation à l'acide et filtration fine a cartouche ; Enfin l'osmose inverse.

En définitive nous avons essayé d'établir une fiche technique de chaque équipement de la station.

ANNEXE

METHODE DE CALCUL :

- **Filtre à sable :**

$$\text{Surface de filtre} = \frac{\text{débit}}{\text{vitesse de filtre} \times \text{nombre filtre}}$$

$$\text{Surface} = \frac{\text{débit}}{\text{vitesse} \times 2} = \frac{12}{10 \times 2} = \mathbf{2.4m^2}$$

$$\text{Volume} = \text{surface} \times \text{hauteur} = 2.4 \times 1.83 = \mathbf{4.4m^3}$$

$$\text{Diamètre} = \frac{\pi \times D^3}{4} = \text{surface}$$

$$\text{Diamètre} = \sqrt{\frac{2.4 \times 4}{3.14}} = \mathbf{1.7m}$$

- **Filtre à charbon actif :**

$$\text{Surface de filtre} = \frac{\text{débit}}{\text{vitesse de filtre} \times \text{nombre filtre}}$$

$$\text{Surface} = \frac{\text{débit}}{\text{vitesse} \times 2} = \frac{12}{10 \times 2} = \mathbf{2.4m^2}$$

$$\text{Volume} = \text{surface} \times \text{hauteur} = 2.4 \times 1.83 = \mathbf{4.4m^3}$$

$$\text{Diamètre} = \frac{\pi \times D^3}{4} = \text{surface}$$

$$\text{Diamètre} = \sqrt{\frac{2.4 \times 4}{3.14}} = \mathbf{1.7m}$$

Calcul d'un réservoir :

$$V_{RV} = V_{\text{besoin d'hôpital}} + V_{\text{incendie}}$$

$$V_{RV} = \text{Le volume de réservoir (m}^3\text{)}$$

$$V_{\text{besoin de l'hôpital}} = \frac{100 \times 12}{365} * 1000 = 280l/j/lit = 120 * 280 = 33600 \frac{l}{j} / lit$$

$$V_{\text{incendie}} : \text{Le volume d'incendie} = 120 \text{ m}^3.$$

$V_{\text{besoin d'H}} = \text{le volume dans 48h} = 33600 * 2 = 67200 \text{ l/j} = 67,2 \text{ m}^3/\text{j}.$

$V_{\text{RV}} = V_{\text{besoin d'hôpital}} + V_{\text{Incendie}}$

$V_{\text{RV}} = 67,2 + 120 = 187,2 \text{ m}^3/\text{j}.$

BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographiques

[1] : Données sur l'eau : confirmation des défaillances de l'Onema Sites Internet et articles / Corrélat.

[2] : Encyclopédie. (2006). L'eau. Edition. Encarta.

[3] : Copin-Montégut G. (1996). Chimie de l'eau de mer, Institut Océanographique.

[4]: Brown E., Colling A., Park D., Phillips J., Rothery D. et Wright J. (1997).

Seawater: Its composition, properties and behaviour, The Open University, Second edition.

[5]: Benner R., Biddanda B., Black B. et McCarthy M. (1997). Abundance, size distribution, and stable carbon and nitrogen isotopic compositions of marine organic matter isolated by tangential-flow ultrafiltration, *Marine Chemistry* 57 243-263.

[6] : Ransom B., Shea K. F., Burkett P. J., Bennett R. H. et Baerwald R. (1998). Comparison of pelagic and nepheloid layer marine snow: implications for carbon cycling, *Marine Geology* 150 [7] DESJARDINS, (1990).

[8] DEGREMONT, «Mémento technique de l'eau », Deuxième édition Tom1, (2005). 39-50.

[9] A.KHADRAOUI, S.TALEB, « Qualité des eaux dans le sud algérien (potabilité pollution et impact sur le milieu) », (2008).

[10]Dégrément, « Mémento technique de l'eau », Première édition, (1952).

[11] A. Dupont, Hydrologie-captage et traitement des eaux, HYDRAULIQUE, Tome 1, Ed 5, Paris (1981).

[12] H.TARDATH et J.P.BEAUDRY, « chimie des eaux, les griffons d'argile », (1984).

[13] Henri Roque, « Fondement théorique du traitement chimique des eaux » vol. I et II, technique et documentation, Lavoisier, Paris (1990).

- [14] H.OUAHRANI, « Suivie de la stabilité des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau », Université de Bejaia, (2012).
- [15]. Directives de qualité pour l'eau de boisson Genève. OMS, 1985-86.
- [16] Technique de la gestion et de la distribution de l'eau ; édition (2009).
- [17] A.KETTAB (Docteur d'état en hydraulique, maître de conférence à l'E.N.P), « Traitement des eaux (les eaux potables) », (1992).
- [18] : Dégrément, « Mémento technique de l'eau ».
- [19]: Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment, Consumer's Guide to Drinking Water. (December 2006).
- [20] DEGREMONT, « Mémento technique de l'eau », Deuxième édition Tom2, (2005).
- [21] Jean RODIER, l'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer 8^{ème} édition, (1996), Edition DUNOD, Paris.1983p.
- [22] :https://wikiwater.fr/E21-Le-traitement-de-l-eau-par-filtration-lente-sur-sable-a-usage-familial?fbclid=IwAR231Nrl9NnADUlw7BOogKx7DyDnuEoOfvls6kpeDLTUJ0w8SiB4sQ_dCG0.
- [23] :https://www.waterlogic.fr/fontaine-a-eau/technologies/filtration-de-l-eau-charbon-actif/?fbclid=IwAR37xo7sjbCo9MTwS36739B-_B4sLMcBDBe3oZtX2kIt-c_0ndbek3jZAmU.
- [24] :<https://www.teqoya.fr/purification-air-filtres-charbon-actif-efficacite-polluants/>.
- [25]. DEGREMENT, "Mémento technique de l'eau", Tome I, 1989.
- [26]. Les traitements de l'eau - Procédés physico-chimiques et biologiques. Cours et Problèmes résolus - Génie de l'environnement, de Claude Cardot, Collection : Technosup, 256 pages, 1997.
- [27]. Le traitement des eaux, de Chantal Desjardins, Tec & Doc, 204 pages, 1997.
- [28] Formation/Traitement de l'Eau Etabli par : Hodnia KABOUYA Responsable Affaires.

- [29]: Greenlee et al., 2009 Dow Water & Process Solutions, FILMTECTM Reverse Osmosis Membr. Tech. Man, 2009.
- [30]:Réf : J2700 v1Eau de mer et eau potable
Dessalement de l'eau de mer auteur(s) : Patrick DANIS, Date de publication : 10 juin 2003.
- [31] : El khabbaze H. (2008). Traitement des solutions modèles du lait par des membranes de Nanofiltration et d'osmose inverse. Thèse de doctorat. Rabat : Université Mohammed V – AGDAL. 151 pages.
- [32]:Chaufer B., Rabiller-Baudry M., Guihard L., Daufin G. (1996), Rétention of ions in nanofiltration at various ionic strength. Desalination 104 37-46.
- [33]:<https://www.lenntech.fr/francais/membrane-technologie.htm>.
- [34]:<https://www.encyclopedie-energie.org/le-dessalement-deau-de-mer-et-des-eaux-saumates/>.
- [35] :<http://artisanplombier-paris15.fr/distillation-fractionnee-pdf-4/> **PUBLIÉ LE 4 JANVIER 2019 PAR ARTTO.**
- [36]: Greenlee et al., 2009 Dow Water & Process Solutions, FILMTECTM Reverse Osmosis Membr. Tech. Man, 2009.
- [37]:<https://www.pcigases.com/technology/membrane-technology/>.
- [38] : TPE "Le phénomène d'osmose et ses applications" créé dans le cadre des épreuves anticipées du baccalauréat de l'année scolaire 2010/2011.
- [39] : photo capturée par google earth de l'hôpital El-Hadjar.
- [40] : logiciel de lewaplus.
- [41] :https://www.emauxgroup.com/products/filter/cf-cartridgefilter.html?__store=fr&__from_store=en.