

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Dimensionnement d'une station de déminéralisation par osmose inverse des eaux saumâtres de la ville El Hadeb (w. Ouargla).

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 1-0027-16

APA Citation (APA توثيق):

Ouahil, Amina (2016). Dimensionnement d'une station de déminéralisation par osmose inverse des eaux saumâtres de la ville El Hadeb (w. Ouargla)[Mem Ing, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics.

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتقييم الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، بيداغوجية، مقالات الدوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة و يتم إدارته من طرف مديرة المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE
ARBAOUI Abdellah

Département d'hydraulique urbaine

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE

Spécialité : Conception des systèmes d'Alimentation en Eau Potable

THEME

**Dimensionnement d'une station de déminéralisation
par osmose inverse des eaux saumâtres de la ville
EL hadeb Wilaya d'Ouargla**

Présenté par :

M^{elle} OUAHIL Amina

Devant le jury composé de :

Grade	Qualité	
M^r KAHLERRAS Djillali	M.C.B	Président
M^r HEBBOUCHE Abdelhamid	M.A.A	Examineur
M^{me} KADI Latifa	M.A.A	Examinatrice
M^{me} HOULI Samia	M.A.A	Examinatrice
M^{me} AMMOUR Fadila	M.A.A	Promotrice

Septembre 2016

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu le tout puissant, pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté d'étudier et pour m'avoir permis de réaliser ce modeste travail dans les meilleures conditions.

Mes vifs remerciements à mes très chers parents, mes frères et ma sœur.

J'aimerais exprimer ma gratitude pour la patience, le soutien et l'aide qu'a pu m'apporter ma promotrice M^{me} : AMMOUR Fadila Ainsi que sa disponibilité tout le long de l'élaboration de ce travail.

Je tiens à remercier aussi :

- ❖ Les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail.*
- ❖ Le corps d'enseignants et les étudiants de l'ENSH.*
- ❖ Les responsables de l'Algérienne des Eaux qui m'ont aidé pour mener bien à ce travail.*
- ❖ Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans l'élaboration de mon mémoire.*

Merci...



Dédicace

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie ce mémoire de fin d'étude à mes chers, respectueux et magnifique parents qui m'ont soutenus tout au long de ma vie ainsi qu'à ma sœur Meriem et à mes frères Sid.Ali et Youcef.

A mes amies « Katia, Khadidja, Amel, Khouloud, Dikera,... » sans oublié ma chère Zora.

A tous qui mon aider et à mes amis de l'ENPH promotion 2016.

Je dédie ce travail aussi à ma chère promotrice, à mes professeurs qui m'ont enseignée

Et à tous ceux qui me sont chers.

Amina

ملخص

نههدف من هذه الدراسة تحديد أبعاد محطة تحلية المياه الجوفية المالحة بطريقة الأوسموز العكسي و ذلك لإمداد مدينة الحدب بولاية ورقلة بالمياه الصالحة للشرب. و تطرقنا أيضا إلى تحديد قطر الأنبوب الواصل بين هذه المحطة و الخزان الجديد والذي سيضمن بدوره إمداد السكان بالمياه الصالحة للشرب بطريقة منتظمة و مستمرة. لكن صادفنا مشكل تمثل في المياه المالحة المركزة المترتبة جراء عملية التنقية، و عليه قمنا بدراسة مدققة لتصرفها و حماية الأرض من مختلف الأضرار

Résumé

L'objectif de cette étude est le dimensionnement d'une installation de déminéralisation des eaux saumâtres par osmose inverse afin de réduire la salinité des eaux souterraines dans le but d'alimenter en eau potable la ville de El hadeb Wilaya de Ouargla.

Ainsi que le dimensionnement de la conduite de transfert d'eau de la station vers le réservoir afin de faciliter la distribution.

Et enfin, on fait une étude d'impact des rejets saumure occasionnés par la déminéralisation des eaux, lesquelles engendrent des problèmes écologiques.

Abstract

The purpose of this study is the dimensioning of a demineralization plant brackish water reverse osmosis to reduce the salinity of groundwater in order to supply drinking water to the city of El hadeb Wilaya of Ouargla.

We also cite the design of the water transfer line from the station to the reservoir to fluidize distribution.

And finally, the study of brine discharges caused by demineralization of water, which generate environmental problems harmful to the earth.

Sommaire

Introduction Générale	1
Chapitre I: Présentation de la Région d'Ouargla	2
I -1- Introduction :.....	2
I -2-Les ressources en eaux en Algérie :	2
I-2-1- Les ressources en eau de surface :	2
I-2-2 Les ressources en eaux souterraines :.....	3
I -3- Situation géographique :.....	4
I -4- Présentation climatique :	4
I -4-1- La température :	5
I-4-2- La pluviométrie :.....	5
I-4-3- L'humidité :	5
I-4-4- Le vent:	6
I-5-Etude géologique :.....	6
I-6- Géomorphologie :.....	7
I-7- Hydrologie :.....	7
I-8- Hydrogéologie :.....	8
I-9- Qualité des eaux :	12
I-10-Conclusion :.....	13
Chapitre II : Procédés de Procédés de dessalement des eaux de mer et eaux saumâtres 14	
II-1-Introduction :.....	14
II-2-Historique du dessalement:	16
II-3- Les principales technologies de dessalement des eaux :.....	16
II-3-1-Distillation :	17
II-3-2-Congélation :.....	20
II-3-3-L'échange d'ions :	21
II-3-4-L'électrodialyse :	21
II-3-5- L'osmose inverse :.....	23
II-4- Choix d'un procédé de dessalement :	24
II-5-Qualité de l'eau obtenue par les différents procédés :	25
II-6-Conclusion :	27
Chapitre III : Déminéralisation des eaux saumâtres par osmose inverse	28
III-1-Introduction :	28
III -2-Pression osmotique :.....	29
III -3-Schéma général d'une installation d'osmose inverse :.....	31
III -4- Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse :.....	32

III -4-1- Taux de conversion :	32
III -4-2-Sélectivité ou taux de rejet :	32
III -4-3- Débit spécifique ou densité du flux volumique :	32
III -5-Modules d'osmose inverse :	33
III -5-1- Module tubulaire :	33
III -5-2- Module à fibres creuses :	34
III -5-3- Module plan:	35
III -5-4- Module spiralé :	35
III -6-membranes d'osmose inverse :	37
III -6-1- Membranes organiques :	38
III -6-2- Membranes minérales :	40
III -6-3- Membranes composites :	41
III-6-4-La durée de vie des membranes :	42
III-7-Conditions de fonctionnement :	42
III-7-1 choix du type d'installation :	42
III -7-2-Choix de la pression de fonctionnement :	43
III -7-2-1.considération techniques :	43
III -7-2-2.considérations économiques :	44
III 7-3 choix de la température :	44
III -7-4 Choix du taux de conversion :	45
III -8-Consommation d'énergie :	46
III -8-1 Energie consommé en osmose inverse en l'absence de système de récupération	46
III -8-2 Récupération d'énergie :	47
III -8-3 Différents systèmes de récupération d'énergie :	47
III -8-3-1 Les turbopompes intégrées :	48
III -8-3-2 Les turbines Pelton :	48
III -8-3-3 Les système <échangeurs de pression> :	48
III -9-Prétraitement de l'eau avant osmose inverse :	48
III -9-1 Chloration :	49
III -9-2 Clarification de l'eau brute :	49
III -9-3 Prévention de l'entartrage :	50
III -9-4 Déchloration :	50
III -9-5 Filtration de sécurité sur cartouches :	51
III -10 -Moyens d'élimination des dépôts : nettoyage chimique :	51
III -10-1 Fréquence de nettoyage :	51
III -10-2 Solution de nettoyage :	51
III -11- Post-traitement :	52

III -11-1 Correction de l'agressivité de l'eau :	52
III -11-2 Correction de la corrosivité :	52
III -11-3 Désinfection finale :	53
III -11-4 Le problème du bore :	53
III -12-Conclusion :	54
Chapitre IV : Dimensionnement des ouvrages de la station de déminéralisation	55
IV-1-Introduction :	55
IV-2-Caractéristiques des eaux souterraines :	55
IV-3-Prétraitement :	56
IV-3-1-Refroidisseur :	57
IV-3-2-Filtration :	58
IV-3-2-1-Filtres à sable rapide :	58
IV-3-2-2-Calcul du filtre à sable :	61
IV-3-2-3-Calcul de la perte de charge :	61
IV-3-2-4-Calcul de la surface filtrante :	62
IV-3-3-Microfiltration :	62
IV-3-4-La désinfection :	64
IV-4 Dimensionnement des lignes d'osmose inverse :	65
IV-4-1- Facteurs influençant le dimensionnement :	65
IV-4-2-Emplacement des perméateurs B9 dans l'installation :	69
IV-4-3- Caractéristiques de l'eau brute d'EL hadeb:	70
IV-4-4- Calcul du nombre de perméateurs :	71
IV-4-5- Calcul des conversions :	78
IV-4-5-1- Arrangement 2/1 :	78
IV-4-5-2- Arrangement 3/2 :	83
IV-4-5-3- Arrangement 5/3 :	88
IV-5- Prévision de qualité d'eau osmosée :	93
IV-5-1- Calcul de la qualité de l'eau produite :	93
IV-5-2- Interprétation des résultats :	100
IV-6- Equations de dilution :	100
Chapitre V : Dimensionnement de l'adduction	101
V -1-Introduction :	101
V -2-Choix du tracé :	101
V -3-Type des adductions :	101
V -3-1-Adduction gravitaire :	101
V-3-2- Adduction par refoulement :	102
V-3-3- Adduction mixte :	102

V-4-Choix des matériaux :	102
V-5-Dimensionnement:	103
V-5-1-Calcul du diamètre (Cas gravitaire) :	103
V-5-2-Vérification de la vitesse de l'écoulement pour l'Adduction :.....	106
V-6-Conclusion :	106
Chapitre VI : Etude d'impact de la station de déminéralisation sur l'environnement .	107
VI -1-Introduction :	107
VI -2-Origine et type des émissions et rejets :	108
VI -2-1- Émissions atmosphériques :	108
VI -2-2-Rejets chimiques :	108
VI -2-3-La saumure concentrée :	110
VI -2-4- Rejet des eaux de lavage à contre-courant des membranes dans les usines OI ..	111
VI -3-Impacts sur l'environnement :	111
VI-4- Règlementation :	113
VI-5- Techniques d'atténuation :	115
Chapitre VII : Organisation et sécurisation de chantier	116
VII-1- Introduction :	116
VII-2- Prix de revient du mètre cube d'eau dessalée :	116
VII-3- Estimation du prix de revient :	118
VII-3-1- Frais d'investissement :	118
VII-3-2- Frais d'exploitation :	120
VII-3-3- Charges financières :	120
VII-3-4- Prix du mètre cube d'eau dessalée :	121
VII-4- Causes des accidents de travail dans un chantier hydraulique	121
VII-4-1- Facteurs humain	121
VII-4-2-Facteurs matériel.....	122
VII-4-3- Liste des conditions dangereuses	122
VII-4-4- Liste des actions dangereuses	122
VII-5-Mesures préventives pour éviter les causes des accidents	123
VII-5-1- Protection individuelle	123
VII-5-2- Autre protections	123
VII-5-3- Protection collective	123
VII-6- Sécurité au laboratoire :	124
VII-7- Conclusion	125
Conclusion Générale	126

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I-1 : Pourcentages d'exploitation des nappes du sud.....	3
Tableau I-2 : Evaluation de la température de l'année 2013.....	5
Tableau I-3 : Evaluation de la pluviométrie de l'année 2013.....	5
Tableau I-4 : Variations de l'humidité de l'année 2013.....	6
Tableau I-5 : Variations du vent de l'année 2013.....	6
Tableau I-6 : Noms et caractéristiques des stations de Ouargla.....	13

Chapitre II

Tableau II -1 : Valeurs moyennes de la minéralisation de l'eau des mers et des océans.....	15
Tableau II-2 : Principales installations de dessalement d'eau de mer par osmose inverse de grande capacité.....	26
Tableau II-3 : les grandes stations de dessalement par osmose inverse en Algérie.....	27

Chapitre III

Tableau- III-1 :Avantages et inconvénients des différents types de modules.....	36
Tableau III -2 : Avantages et inconvénients des membranes organiques.....	39
Tableau III -3 : Avantages et inconvénients des membranes minérales.....	40
Tableau III-4 : résume les taux de conversion actuellement utilisés.....	45
Tableau III-5 : Avantages et inconvénients des différents types de pompes utilisées en osmose inverse.....	47

Chapitre IV

Tableau IV-1 : Teneur limite pour divers paramètres selon OMS.....	56
Tableau IV-2 : résultats des analyses de l'eau des 3 forages.....	70
Tableau IV-3 : Résultats de calcul des taux de passage des différents ions dissous pour la disposition 2/1.....	95
Tableau IV-4 : Résultats de calcul des taux de passage des différents ions dissous pour la disposition 3/2.....	97
Tableau IV-5 : Résultats de calcul des taux de passage des différents ions dissous pour la disposition 5/3.....	99
Tableau IV-6 : Résultats obtenus pour les 3 arrangements.....	99

Chapitre V

Tableau V-1 : Coefficients K' , m , β pour différents types de tuyau.....	104
--	-----

Chapitre VI

Tableau VI-1 : Résumé des phases de la production d'eau potable par OI et devenir des produits utilisés.....	109
---	-----

Liste des figures

Chapitre I

Figure I-1: Carte hydrogéologique du système aquifère CI et CT.....9

Figure I-2: Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région d'Ouargla.....11

Chapitre II

Figure II-1 : schéma du système de dessalement pour tout procédé.....14

Figure II-2 : schéma distillation à simple effet.....18

Figure II-3 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED)19

Figure II-4 : Principe de fonctionnement d'un système par détente successive (MSF) à 3 étages.....20

Figure II-5 : Principe de fonctionnement du procédé électrodialyse.....22

Figure II-6 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse.....24

Figure II-7: choix du procédé de dessalement en fonction de la salinité de l'eau à traiter en mg/l.....24

Chapitre III :

Figure III-1: schéma de principe d'une unité d'osmose inverse.....31

Figure III-2 : Schéma de principe d'un module tubulaire.....34

Figure III-3 : Schéma de principe d'un module à fibres creuses.....34

Figure III-4: Schéma de principe d'un module plan.....35

Figure III-5: Schéma d'un module spirale.....35

Chapitre IV :

Figure IV-1 : Filtre à sable.....59

Figure IV-2 : Perte de charge dans le milieu filtrant.....60

Chapitre V :

Figure V-1 : Schéma de l'adduction à partir de la station vers le réservoir.....106

Chapitre VI :

Figure VI -1 : Efflorescence saline à la surface d'un sol salé Source : Photographie Futura-
Sciences.....112

Liste des planches

Planche-1 : Schéma synoptique de la station de déminéralisation

Planche-2 : plan d'implantation de la station de déminéralisation de la ville El hadeb

Planche-3 : plan d'implantation de la conduite d'adduction

Planche-4 : profil en long de la conduite d'adduction de la station de déminéralisation
W.Ouargla

INTRODUCTION GENERALE

De nos jours, la nature ne renouvelle plus l'eau au même rythme qu'elle est consommée. De plus, l'usage de l'eau dans le domaine de l'agriculture est de 70%, de 20% dans les usines et de 10% pour les usages domestiques. Tout le monde a de plus en plus besoin d'eau pour peu importe la raison.

L'eau pose incontestablement un grand problème dans de nombreux endroits. Le manque d'eau potable ou utilisable arrête de plus en plus l'expansion de l'agriculture et de l'industrie et la croissance des collectivités. Beaucoup de villes qui avaient assez d'eau autrefois trouvent qu'elles n'en ont plus assez depuis que leur population a augmenté. Le cultivateur se trouve obligé de creuser des puits plus profonds. Dans les endroits où l'eau est tirée de réservoirs artificiels, la vase apportée par les érosions comble peu à peu le fond des réservoirs et en réduit la capacité.

Au cours du 21ème siècle, la consommation de l'eau potable a doublé, dépassant ainsi le taux de croissance de la population mondiale. Cela nous mène à questionner le futur de notre planète quant à sa quantité d'eau propre. Les causes : La pollution, La surconsommation, Le changement climatique. Les conséquences : La pollution diminuera la quantité d'eau douce et la contaminera, La surconsommation de l'eau videra les nappes souterraines, assèchera les rivières et les cours d'eau et augmentera le prix de l'eau potable, Les changements climatiques mèneront à la sécheresse

Des moyens pour améliorer cette situation : Il faut changer les techniques utilisées pour l'agriculture, Il faut recycler l'eau, Diminuer la quantité d'eau consommée par chaque individu, dessalement d'eau de mer ou déminéralisation des eaux saumâtres.

Le but de cette étude est de dimensionner la station de déminéralisation des eaux saumâtres afin d'alimenter une partie de la Wilaya d'Ouargla et combler le manque d'eau potable. Par la suite on fait le dimensionnement de l'adduction et une étude d'impact sur l'environnement.

Chapitre I :
Présentation de la région
d'Ouargla

Chapitre I: Présentation de la Région d'Ouargla

I -1- Introduction :

Les ressources en eau souterraines au Sahara sont essentiellement constituées par :

- Les eaux renouvelables localisées dans les inféro-flux du versant sud des Aurès (région Nord de Biskra), du Hoggar-Tassili à l'Est et de la région de Béchar-Tindouf à l'Ouest ;
- Les eaux non renouvelables représentées par les deux grands réservoirs des deux bassins sédimentaires : le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire.

I -2- Les ressources en eaux en Algérie :

Estimées en moyenne à 17,2 milliards de m³/an dont :

- 12 milliards de m³ dans les régions Nord :
 - 10 milliards de m³ (écoulements superficiels)
 - 2 milliards de m³ (ressources souterraines renouvelables)
- 5.2 milliards de m³ dans les régions sahariennes :
 - 0.2 milliards m³ (écoulements superficiels)
 - 5.0 milliards m³ (ressources souterraines fossiles) Potentiel exploitable déterminé par simulation sur modèle de gestion du système aquifère du Sahara septentrional.(ANRH)

I-2-1- Les ressources en eau de surface :

Les écoulements de surface avaient été estimés pendant la période coloniale à 15 milliards de m³. Dans les dernières études menées dans le cadre du Plan National de l'eau par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) qui intègrent des années de sécheresse, les ressources en eau de surface sont évaluées à 12.4 milliards de m³ répartis par bassin hydrographique.

I-2-2 Les ressources en eaux souterraines :**A) Dans le Nord du pays :**

Les eaux souterraines ont été évaluées par les services techniques de l'ANRH dans le cadre du Plan nationale de l'eau à environ 1,9 milliard de m³. Ces ressources qui sont relativement plus faciles à mobiliser, sont aujourd'hui exploitées à plus de 90%; beaucoup de nappes sont même dans un état de surexploitation critique.

B) Dans le Sud du pays :

Le sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraines considérables provenant des nappes du Continental Intercalaire (CI) exploité à 56% et le reste est du Complexe Terminal (CT).

Le renouvellement de ces nappes fossiles ou semi fossiles n'est assuré qu'à hauteur de 800 millions de mètres environ.

Les pourcentages d'exploitation sont indiqués sur le tableau ci-dessous :

Tableau I-1 : Pourcentages d'exploitation des nappes du sud(ADE)

Wilaya	Prélèvements possibles (Hm ³ /an)		
	Continental intercalaire	Complexe Terminal	Totaux
Biskra	24,6	9,3	33,9
El Oued	310,5	713,9	1024,4
Ouargla	507	1446,2	1953,2
Ghardaïa	559,9	-	559,9
Adrar	1180,1	-	1179,3
Tamanrasset	184,8	-	184,8
Totaux	2766,9	2169,4	4936,3

I -3- Situation géographique :

La wilaya de Ouargla se situe au sud Est du pays, La wilaya de Ouargla, large territoire de 163 230 km², se positionne idéalement au centre de la région programme Sud/Est. Elle occupe la frange la plus au centre du Sahara dont elle constitue l'un des plus importants maillons. Elle s'étend entre les coordonnées.

X = 710'000 ; Y = 3'530'000 et

X = 730'000 ; Y = 3'600'000 :

- A l'est, la wilaya d'EL Oued et les frontières Algéro-Tunisienne ;
- Au Nord, par les wilayas de Djelfa, Biskra et El Oued;
- Au Sud, par Illizi et Tamanrasset;
- A l'Est, par la Tunisie;
- A l'Ouest, par Ghardaïa;

Les coordonnées géographiques de la région sont :

- Altitude moyenne 134 m ;
- Latitude 31° 58' Nord ;
- Longitude 5° 20' Est.

La grande cuvette d'Ouargla est marquée par une dépression naturelle importante, elle se situe dans le prolongement du bassin versant du Sahara septentrional limité au nord par l'Atlas saharien, au sud par les plateaux de Tademaït, à l'est par le grand Erg oriental et à l'ouest par le grand Erg occidental.

I -4- Présentation climatique :

La wilaya de Ouargla est caractérisée par un climat saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées, une forte évaporation et par une faiblesse de la vie biologique de l'écosystème. Les températures moyennes mensuelles enregistrées au mois le plus chaud (juillet) sont de 48° C à Touggourt et de 50° C à Hassi Messaoud. Alors que celles du mois le plus froid (janvier) sont de 10,8° C à Touggourt et de 9,7° C à Ouargla. [2]

I -4-1- La température :

La température est un facteur fondamental qui conditionne l'hydroclimatologie de toute la région.

-une période froide s'étalent de novembre à avril, janvier est le mois le plus frais.

-une période chaude s'étalent de mai à octobre, juillet est le mois le plus chaud.

Tableau I-2- Evaluation de la température de l'année 2013.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
T(°C)	29,5	23,2	16,5	11,9	11,1	13,5	17,7	21,3	26,5	30,9	34,1	34

(Source : ONM)

I-4-2- La pluviométrie :

D'une manière générale, la pluviométrie est très faible. On s'aperçoit que la période la plus pluvieuse se situe en mois de décembre et mai.

Tableau I-3- Evaluation de la pluviométrie de l'année 2013.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
P (mm)	0	0	0,7	24,9	0	0,2	0	0	10,8	1,6	0	0

(Source : ONM)

I-4-3- L'humidité :

L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère, elle a des effets sur les altérations chimiques telles que l'oxydation.

Tableau I-4- Variations de l'humidité de l'année 2013.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
H (%)	45,9	50,6	58,7	65,1	63,2	54,1	47,5	40,1	37,2	32,6	28,9	32,6

(Source : ONM)

I-4-4- Le vent:

Les vents sont fréquents, les plus violents se situent au printemps. La direction dominante est Nord-Est, à l'exception des mois d'hivers dont la direction est Sud-Ouest.

Le sirocco présente le vent caractérisant la saison d'été souffle fréquemment dans la région, prenant un sens Sud-Nord et jeter des courants d'air chaud parfois avoisiner des vagues de sables. Il faut aussi parler des vents de sables qui ont leurs saisons de prédilection entre février et avril (durant le printemps).

Tableau I-5- Variations du vent de l'année 2013.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Vent (m/s)	31,9	2,4	2,3	2,5	2,2	2,7	3,35	4,1	4	3,7	3,6	3,12

(Source : ONM)

I-5-Etude géologique :

Le relief de la wilaya est un sous ensemble de composants géographique dont les principaux sont les suivantes:

- Le grand erg oriental: véritable mer de sable ou les dunes pouvant atteindre une hauteur de 200m, il s'étend sur environ les 2/3 du territoire de la wilaya.
- La Hamada : qui est un plateau caillouteux, elle est située en grande partie à l'Ouest de la Willaya, et au sud.
- Les vallées: sont représentées par la vallée fossile d'Oued Mya et vallée de l'Oued Righ, assez prospérés.

- Les plaines: assez réduites, se rencontrent à la limite occidentale de la Wilaya, ces plaines s'étendent du Nord au Sud.
- Les dépressions: sont quant à elles peu nombreuses. Elles se trouvent essentiellement dans la région de l'Oued Righ.[2]

I-6- Géomorphologie :

Cette région a une morphologie homogène, elle se présente comme une dépression (large fossé) orienté Sud / Nord. La variation des côtes est nettement remarquable, Elle descend régulièrement de 90m à Goug, pour atteindre la cote 45 m à Djamaa. Cette région est connue sous le nom du Bas Sahara, à cause de sa basse altitude notamment dans la zone du chott au Nord où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer. Une formation dunaire composée de sables fins qui peuvent atteindre 150 m occupant la plus grande partie de la région ;

- Les terrains de chotts et sebkhas, qui représentent des zones basses de vallées, d'une superficie de plus de 4000 hectares ;
- Les zones correspondant aux dépôts alluviaux destinés à la culture de palmeraies.

I-7- Hydrologie :

Le réseau hydrographique traversant la région est constitué des oueds suivants :

- Au nord-ouest : Oued N'sa présente des crues considérables à partir des fréquences de trois ans. Dont le bassin versant couvre une superficie de 4100 km² et une longueur de 175 km, il reçoit divers effluents dont les plus importants sont : le Ballouh et le Soudou qui arrosent l'oasis de Beriane ;
- Au sud : Oued Mya qui est une création d'une ligne de talweg de Hoggar, traversant en long la cuvette en passant par la vallée de Oued Righ à travers Chegga pour aboutir à Melghir, d'après les études historiques cet oued n'arrive à la cuvette de Ouargla que pour des crues de périodes de retour dépassant les 100 ans ;
- A l'ouest : Oued M'zab et Metlili dont la superficie du bassin est d'environ 5000 km², prend la direction ouest-est sur une distance de 350 km de la région de Botma Rouila à une altitude de 750 m jusqu'à sebkha Safioune d'une altitude de 104 m, le

cheminement des eaux se fait par infiltration vers la cuvette durant les périodes de crues décennales ;

- Au sud, l'oued Mya, créant dans le temps la grande ligne de talweg de la région de Tademaït, traverse en long la cuvette et s'achemine vers la vallée de Oued Righ et passant par Chegga pour aboutir à la zone des chotts (Chott Melghir). [2]

I-8- Hydrogéologie :

Les études géologiques et géophysiques permettent de localiser les aquifères de la région d'étude.

Deux étapes essentielles sont nécessaires pour l'étude hydrogéologique telles que :

- ✓ Définir les différentes nappes aquifères de la région et l'évolution des niveaux piézométriques.
- ✓ Déterminer les paramètres hydrodynamiques des aquifères (transmissivité, perméabilité...).

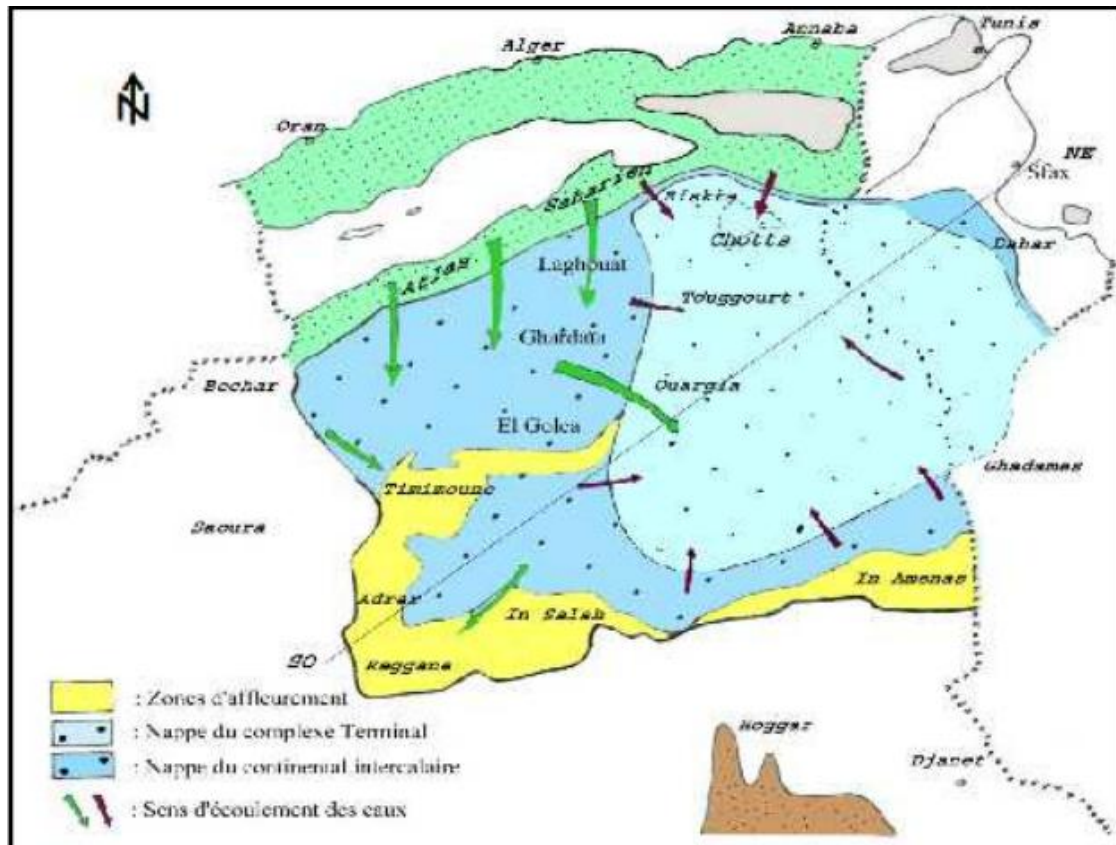


Figure I-1: Carte hydrogéologique du système aquifère CI et CT (ANRH)

Les eaux souterraines représentent la principale ressource hydrique de la région, réparties en trois nappes différentes :

A. La nappe phréatique

Elle est continue dans les niveaux sableux et argilo évaporitiques du Quaternaire. Elle se présente sous forme pelliculaire par rapport à la nappe des sables qui lui succède en profondeur et dont elle est généralement séparée par un niveau semi-perméable du Mio-Pliocène. La nappe phréatique est présentée dans toutes les oasis de la vallée. Elle est contenue dans les sables fin à moyens, d'âge Quaternaire, contenant des cristaux de gypse. Elle s'épaissit du Sud vers le Nord et sa puissance moyenne est d'une vingtaine de mètres.

Elle est caractérisée par des eaux de fortes salinités ; les analyses des eaux de cette nappe montrent qu'elles sont très salées, la conductivité électrique est de l'ordre de 4.91ms/cm à

13.44 ms/cm. La nappe phréatique est gonflée par l'excès de l'eau d'irrigation et des pompages du CI et du CT.

Elle est principalement alimentée l'infiltration des eaux d'excès d'irrigation et des eaux d'assainissement, les eaux des forages dont les tubages sont Détériorés par les faibles précipitations et par les percolations des nappes du complexe terminal. Les pertes sont surtout le fait de l'évaporation.

B .La nappe du complexe terminal (le Pontien CT)

Le Complexe Terminal est un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène (Busson, 1970; Fabre, 1976). Le terme de nappes du Complexe Terminal qui regroupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes, a été retenu car ces nappes font bien partie d'un même ensemble hydraulique.

B.1. La première nappe des sables CT1

Hormis, La nappe phréatique, cette nappe est la moins profonde, sa puissance varie entre 50 à 100 m. Elle est constituée de sable fin à moyen, sable argileux et grès, d'âge Mio -Pliocène. Le faciès sableux varie largement, latéralement. Un niveau d'argile constitue son substratum, et son toit est constitué par des argiles et des évaporites. C'est une nappe captive. Elle était jadis très exploitée avec des débits faibles à moyens, de l'ordre de 20 à 40 l/s. cependant, à cause de la salinité élevée de l'eau, les forages qui la captent sont actuellement moins utilisés.

B.2.La deuxième nappe CT2

Les formations contenant cette nappe sont également d'âge Mio-Pliocène comme la première nappe, elle est formée essentiellement de grès, de gravier et de sable avec la présence de quelques lentilles argileuses. Son épaisseur et de 20 à 36m, elle est très exploitée avec un débit variant entre 25 et 45 l/s. Des argiles à niveaux calcaires et des marnes forment son substratum, alors que des argiles et les argiles sableuses constituent son toit. -Ces deux nappes sont alimentées localement par les rares précipitations et les infiltrations d'eaux de surface, et les percolations des nappes artésiennes sous-jacentes les prélèvements par forages représentent leur seule exhaure. -Ces deux nappes surmontent l'autre ensemble du Complexe

Terminal ; constituant la troisième formation aquifère, formée par les carbonates de l'Eocène inférieur Sénonien supérieur.

B.3. La nappes des calcaires du Sénonien Eocène CT3

Ces deux étages géologiques ont été regroupés parce qu'ils forment un ensemble lithologique et hydrogéologique homogène. Essentiellement carbonaté, il est formé de calcaires, calcaires dolomitiques ou marneux, d'anhydrite et gypse, sa puissance variée entre 200m à Touggourt et 360m à Meghaier. Il n'est pas très exploité. L'artésianisme étant à l'origine plus important au Nord. A la base, le Sénonien lagunaire forme le substratum de cette nappe et au sommet, le toit est surtout argileux.

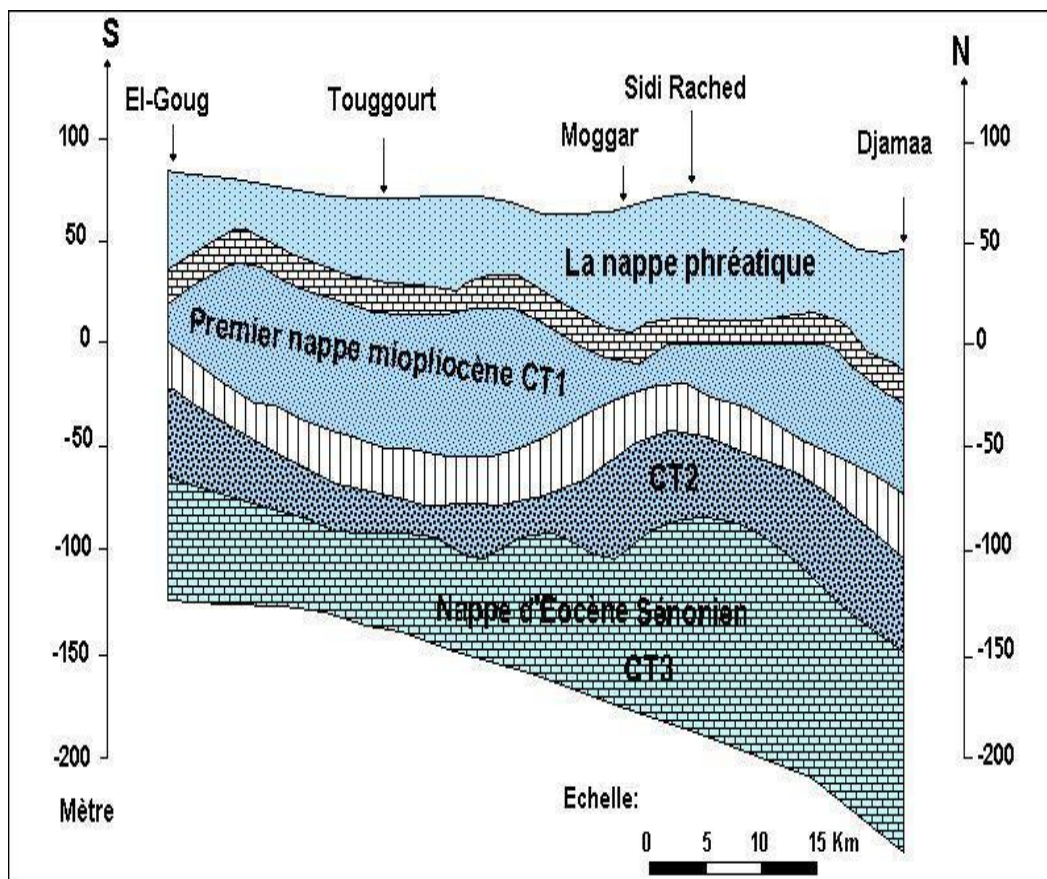


Figure I-2: Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région d'Ouargla. (ANRH)

C. La nappe du continental intercalaire (albienne CI)

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins (l'Algérie, la Tunisie et la Libye). La partie Algérienne du Continental Intercalaire couvre 600000 km². Elle stock un volume d'eau considérable, estimé à 3.5×10^9 milliards m³ environ. Cette nappe est plus connue sous la dénomination nappe Albien. Le terme Continental Intercalaire, par contre désigner l'ensemble des couches détritiques qui se sont déposées au Mésozoïque inférieur au Sahara entre deux cycles marins, c'est le plus puissant aquifère du Sahara (250 -1000 m épaisseur). [2]

I-9- Qualité des eaux :

La connaissance de la qualité des eaux reste importante surtout lors de la prise de décision lorsqu'on doit implanter des forages destinés à alimenter la population

La nature chimique de l'eau évolue continuellement au cours de sa circulation dans le cycle hydrologique. Outre la bonne gestion quantitative des nappes, il convient, suite aux très nombreuses pressions anthropiques, qu'elles soient diffuses (agriculture) ou ponctuelles (rejets d'égouts, fuites de citerne, ...), de vérifier leur qualité présente et d'en prévoir l'évolution à long terme.

La qualité des eaux destinées pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable se pose avec acuité dans l'ensemble des régions de la wilaya de Ouargla, ces eaux proviennent essentiellement des nappes souterraines. Du point de vue quantité, l'eau est disponible et ce, grâce à d'importants aquifères mais sa qualité physico-chimique est le plus souvent médiocre. Cette salinité des eaux, dont une partie est d'origine géologique (primaire) s'accroît continuellement par une mauvaise gestion de la ressource en eau souterraine (salinisation secondaire). [3]

Pour améliorer la qualité des eaux distribuées à la population et réduire leur salinité à une valeur inférieure à 0,5g /l, l'ADE de Ouargla est en passe de réaliser 9 stations de déminéralisation alimentées à partir des forages. Elles débiteront ensemble, quotidiennement une moyenne de 70 500 m³ d'eau douce. [5]

Tableau I-6 : Noms et caractéristiques des stations de Ouargla. [3]

Nom de la station	Eaux brutes (M ³ /j)	Eaux traitées (M ³ /j)	Nombres d'habitants à Desservir	Nombre de forages
Gharbouz	3 000	2 250	10 000	2
Ain El Kheir	9 000	6 750	30 000	5
Hai Bouzid	4 500	3 375	15 000	3
Mekhadma	3 000	2 250	10 000	3
Ifri Gara	10 500	7 850	35 000	4
Zyayna	3 000	2 250	10 000	2
El khafdji	7 500	5 625	25 000	3
Bamendil village	3 000	2 250	10 000	2
El Hadeb	27 000	20 250	90 000	3
TOTAL	70 500	52 875	235 000	26

I-10-Conclusion :

La région d'Ouargla n'a pas dérogé à la règle et c'est pour cette raison que les autorités locales ont utilisé les 26 forages pour alimenter les 9 stations de déminéralisation afin de subvenir aux besoins de 235 000 habitants.

Il y a lieu de souligner que plusieurs familles à la limite de la pauvreté ne peuvent acquérir l'eau potable vendue dans des citernes d'où leur impatience de voir enfin couler dans leurs robinet l'eau douce.

Chapitre II :
Procédés de dessalement
des eaux de mer et eaux
saumâtres

Chapitre II : Procédés de Dessalement des eaux de mer et eaux saumâtres

II-1-Introduction :

L'eau est abondante sur terre, elle représente 1380 millions de km³. L'essentiel toutefois est constitué d'eau de mer (97,2 %) et de glace (2,15 %) inutilisables directement. L'eau douce, facilement disponible (lacs, fleuves, certaines eaux souterraines), ne représente que 0,07 % de la ressource totale soit environ un million de km³. Mais la répartition de cette eau est très inégale. En effet, dix pays se partagent 60 % des réserves d'eau douce et vingt-neuf autres principalement en Afrique et au Moyen-Orient, sont au contraire confrontés à une pénurie chronique d'eau douce. 400 millions de personnes vivent en situation de stress hydrique, estimé entre 1000 et 2000 m³ par habitant et par an. On estime que 2,5 milliards de personnes pourraient souffrir du manque d'eau en 2050 compte-tenu de l'évolution de la démographie et de l'augmentation des consommations d'eau.

Pour faire face à cette pénurie annoncée d'eau, de nouvelles techniques de production d'eau potable devront être mises en place pour satisfaire les besoins de la population croissante. Une des techniques prometteuses pour certains pays est le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres. Les techniques de dessalement de l'eau de mer sont opérationnelles depuis de nombreuses années. Mais leur coût (de 1 à 2 euros / m³) limite souvent leur utilisation aux pays riches. Cependant dans les dernières années, la capacité des usines de dessalement s'est fortement accrue et les coûts de production par m³ ont connu une forte diminution.

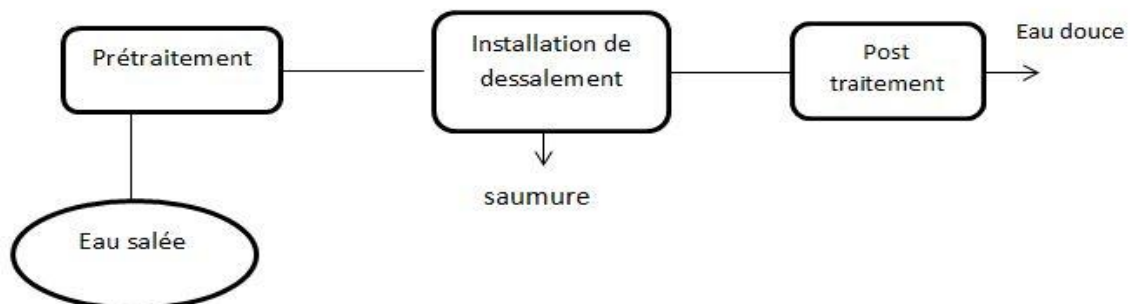


Figure II-1 : schéma du système de dessalement pour tout procédé.

1. Les eaux marines :

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels. La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g.L⁻¹.

La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques, en revanche, les eaux situées près de l'embouchure de fleuves importants ont habituellement une salinité plus faible.

Tableau II -1 : Valeurs moyennes de la minéralisation de l'eau des mers et des océans. [12]

MER OU OCÉAN	SALINITÉ (mg/l)
Mer Baltique	7000
Mer Caspienne	13500
Mer Noire	20000
Mer Adriatique	25000
Océan Pacifique	33600
Océan Indien	33800
Océan Atlantique	36000
Mer Méditerranée	39000
Golfe Arabique	43000
Mer Rouge	43000
Mer Morte	270000

2. Les eaux saumâtres

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le Na Cl . [19]

II-2-Historique du dessalement:

Dés le IV^e siècle, Aristote observe le principe de distillation et les premiers appareils industriels de distillation sont apparus probablement dans la première moitié du XIX^e à bord des navires, les marins ont dessalé l'eau de mer à partir de simples bouilleurs sur leurs bateaux, mais l'utilisation à des fins industrielles est récente. [15]

Les efforts de recherches dans le dessalement initiés par les états unis à partir des années 1950. En 1952, un organisme a été créé sous tutelle du ministre de l'intérieur : « l'office of Saline Water » et ayant pour mission de promouvoir des études économiques concernant le dessalement de l'eau.

II-3- Les principales technologies de dessalement des eaux :

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en trois catégories, selon le principe appliqué :

- Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases : la congélation et la distillation.
- Les procédés utilisant des membranes: l'osmose inverse et l'électrodialyse.
- Les procédés qui agissent sur les liaisons chimiques (échange d'ions et extraction par solvant sélectif).

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement.

Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et/ou à l'importance des investissements qu'ils requièrent.

Toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes :

- une prise d'eau de mer ou souterraine avec une pompe et une filtration grossière,
- un prétraitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte,
- le procédé de dessalement lui-même,
- le post-traitement avec une éventuelle reminéralisation de l'eau produite.

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer ou saumâtres est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre. [13]

II-3-1-Distillation :

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. Il s'agit en fait d'accélérer le cycle naturel de l'eau. En effet l'eau s'évapore naturellement des océans, la vapeur s'accumule dans les nuages puis l'eau douce retombe sur terre par les précipitations. Ce principe de dessalement très simple a été utilisé dès l'Antiquité pour produire de très faibles quantités d'eau douce sur les bateaux.

L'inconvénient majeur des procédés de distillation est leur consommation énergétique importante liée à la chaleur latente de vaporisation de l'eau. En effet pour transformer un kg d'eau liquide en 1 kg d'eau vapeur à la même température il faut environ 2250 kilojoules (si le changement d'état se fait à 100°C). Afin de réduire la consommation d'énergie des procédés industriels, des procédés multiples effets qui permettent de réutiliser l'énergie libérée lors de la condensation ont été mis au point.

a) **Distillation à simple effet :**

Ce procédé est mis en œuvre depuis longtemps sur les navires, où les moteurs Diesel émettent une quantité significative de chaleur récupérable. Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer. La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide. Un éjecteur (ou une pompe) évacue les gaz incondensables. Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième l'eau de mer concentrée ou saumure. [6]

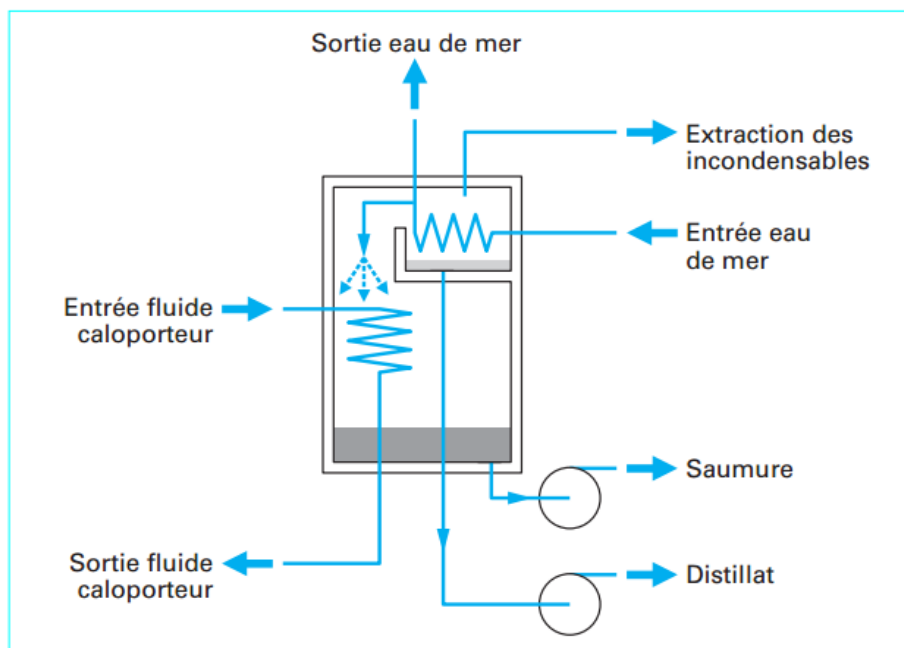


Figure II-2- schéma distillation à simple effet

b) **Le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED) :**

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80°C. L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange, contrairement au cas du procédé précédent, où elle est assurée par détente au sein des étages successifs. La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le 1^{er} effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le 2^{ème} effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le 2^{ème} effet et ainsi de suite. Ainsi seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe.

La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (énergie/m³ d'eau douce produite).

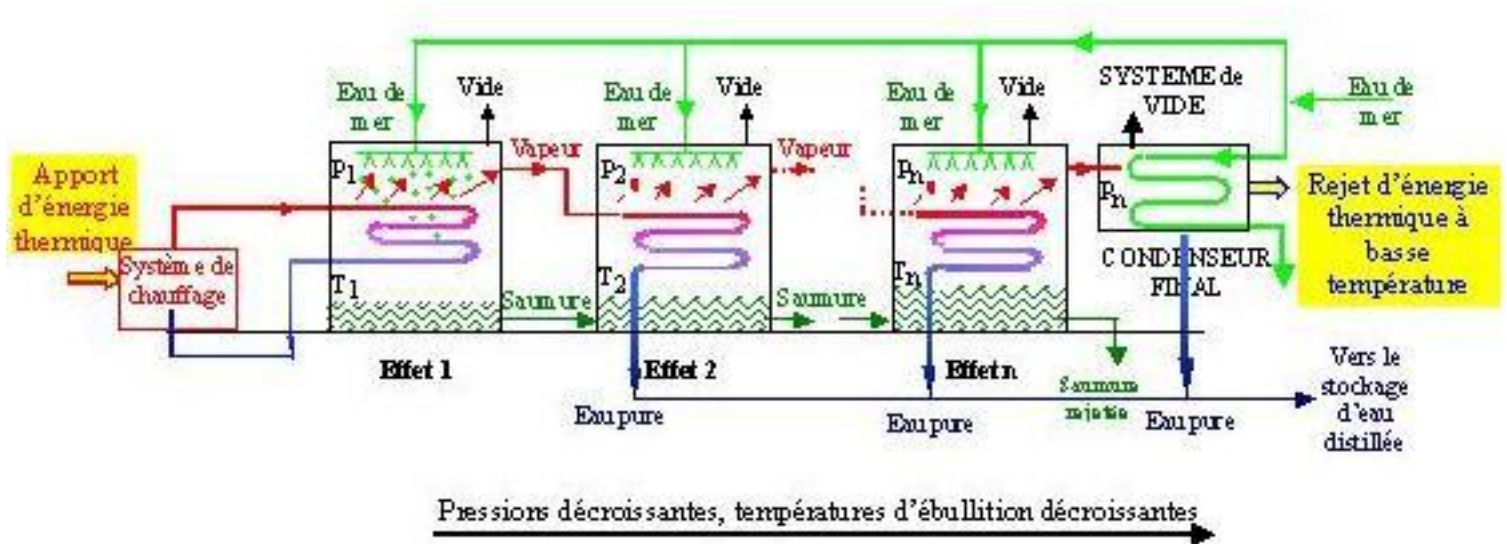


Figure II-3-Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED)

c) Le procédé de distillation à détente étagée (Multi-Stage Flash distillation MSF) :

Ce procédé dit Flash consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage ; lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°C, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des réceptacles en dessous des tubes. L'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Le phénomène de flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.

Le procédé MSF ne permet pas une flexibilité d'exploitation. Aucune variation de production n'est tolérée, c'est pourquoi ce procédé est surtout utilisé pour les très grandes capacités de plusieurs centaines de milliers de m^3 d'eau dessalée par jour.

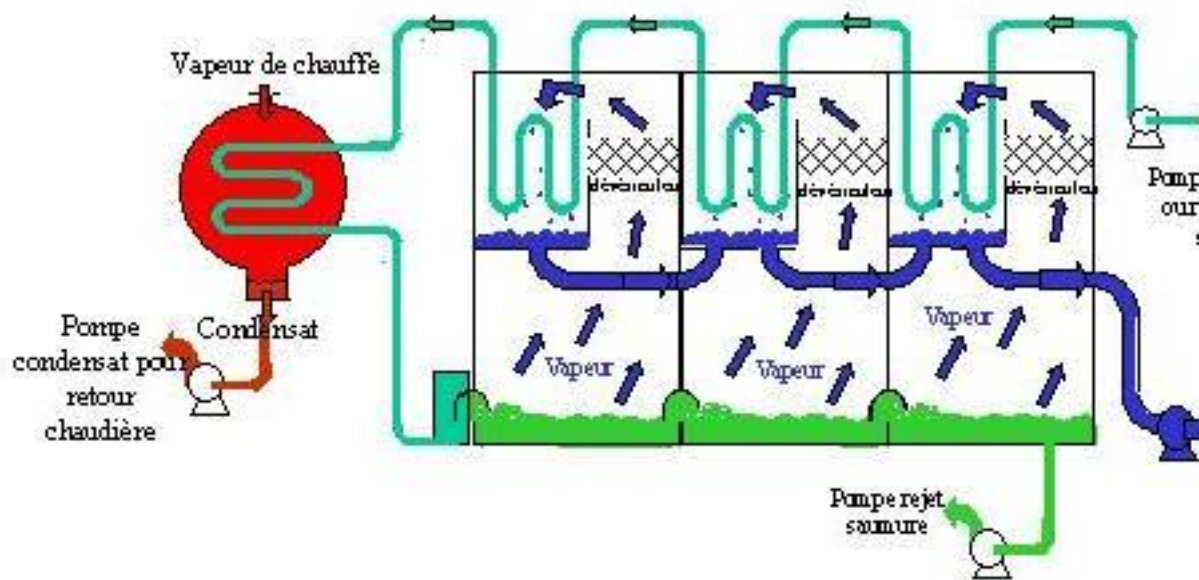


Figure II-4- Principe de fonctionnement d'un système par détonées successives (MSF) à 3 étages. [19]

II-3-2-Congélation :

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

Le dessalement par congélation n'a pas connu un développement industriel important. Il a fait cependant l'objet d'études très actives, aussi bien en laboratoire qu'en stations pilotes entre 1960 et 1970.

Le dessalement par congélation nécessite trois étapes :

- congélation partielle de l'eau de mer ;
- séparation des cristaux de glace pure d'avec la saumure ;
- fusion des cristaux de glace.

Dans un certain sens, congélation et distillation sont des procédés de Dessalement similaires : à partir de la phase liquide salée, on obtient une phase différente (gazeuse ou solide) dépourvue de sels. Un changement de phase inverse fournit de l'eau dessalée.

II-3-3-L'échange d'ions :

Les échangeurs d'ions sont très largement utilisés pour déminéraliser les eaux, en particulier pour préparer les eaux destinées à alimenter les chaudières à haute pression.

Dès que la salinité de l'eau devient élevée, les coûts du procédé de Dessalement par échange d'ions deviennent prohibitifs.

Si la salinité de l'eau brute est élevée, une unité d'osmose inverse ou d'électrodialyse placée en amont permet d'éliminer la plus grosse partie des sels et de diminuer les coûts de manière importante.

La déminéralisation par échange d'ions consiste à remplacer tous les cations contenus dans la solution saline par des ions hydrogène H^+ et tous les anions par des ions hydroxydes OH^-

Les échangeurs d'ions ne servent donc que d'intermédiaires, la déminéralisation est produite en fait par l'acide et la base de régénération. La résine étant successivement épuisée et régénérée, nous nous trouvons donc devant un procédé discontinu dont le prix de revient sera lié en investissement à la capacité des résines utilisées et en exploitation au prix des réactifs de génération et au rendement de l'opération de régénération.

II-3-4-L'électrodialyse :

L'électrodialyse est un procédé à membranes très ancien puisque la première installation date des années 1960. Ce procédé consiste à éliminer les sels dissous dans l'eau saumâtre par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique.

Soit une cellule d'électrolyse dans laquelle on fait circuler une solution saline : les cations vont se diriger vers la cathode et les anions vers l'anode. Si l'on intercale entre les électrodes des membranes perméables respectivement aux anions et aux cations, il y aura concentration et recombinaison des ions dans certains compartiments où la solution s'enrichira en sels

(compartiments de concentration), alors que dans les autres la salinité diminuera (compartiments de déminéralisation).

On peut ainsi obtenir, à partir d'une eau saline, une eau à la salinité désirée (500 ppm dans la plupart des cas).

Les membranes utilisées en électrodialyse sont des membranes échangeuses d'ions qui se présentent sous la forme de feuilles dont l'épaisseur est comprise entre 0,1 et 0,8 mm.

- Du point de vue propriétés on distingue deux types de membranes :

-les membranes échangeuses de cations qui sont perméables uniquement aux cations et dont le groupement fonctionnel est en général un groupement acide sulfonique (SO_3^-) .

- les membranes échangeuses d'anions qui sont perméables uniquement aux anions et dont le groupement fonctionnel est en général un groupement ammonium quaternaire (NR_3^+).

- Du point de vue fabrication, on distingue deux types de membranes :

-les membranes hétérogènes qui sont constituées par des résines échangeuses d'ions mélangées à un liant. Les résines utilisées sont du type acide fort et base forte.

-les membranes homogènes qui sont obtenues par greffage d'un groupement fonctionnel sur un support inerte. Ce greffage peut être soit chimique, soit radiochimique.

⇒ Que les membranes soit homogènes ou hétérogènes, elles doivent, pour être utilisées avec succès en électrodialyse, posséder les qualités principales suivantes :

- très grande sélectivité ionique ;
- faible résistance électrique ;
- bonne résistance.

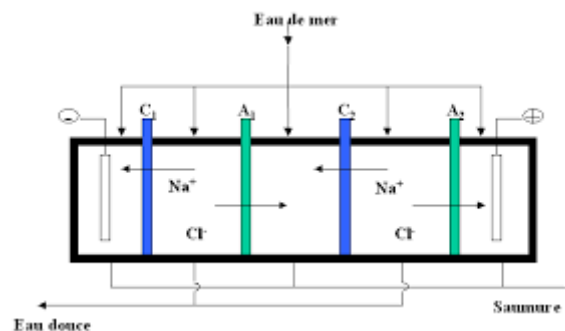


Figure II-5- Principe de fonctionnement du procédé électrodialyse

Un électrodialyseur est constitué par un empilement de membranes alternativement échangeuses d'anions et échangeuses de cations, séparées par des compartiments dans lesquels circulent les solutions salines. Cet empilement est serré entre deux presses, soit à l'aide de tiges filetées et de boulons, soit à l'aide d'un vérin hydraulique. [4]

II-3-5- L'osmose inverse :

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

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

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

On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration.

Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes. Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

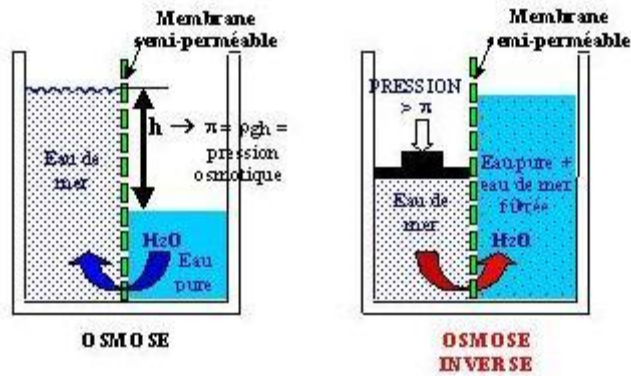


Figure II-6- Principe de l'osmose et de l'osmose inverse.

Une augmentation de la pression au delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique, c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse. [19]

II-4- Choix d'un procédé de dessalement :

Pour le choix d'un tel procédé de dessalement, plusieurs critères techniques et économiques rentrent en jeu. Pour les eaux saumâtres, l'osmose inverse est le procédé généralement retenu, alors que pour les eaux de mer, ce sont d'abord la nature et le coût qui orientent le choix vers une technologie plutôt que pour une autre et en tenant compte la minéralisation de l'eau.

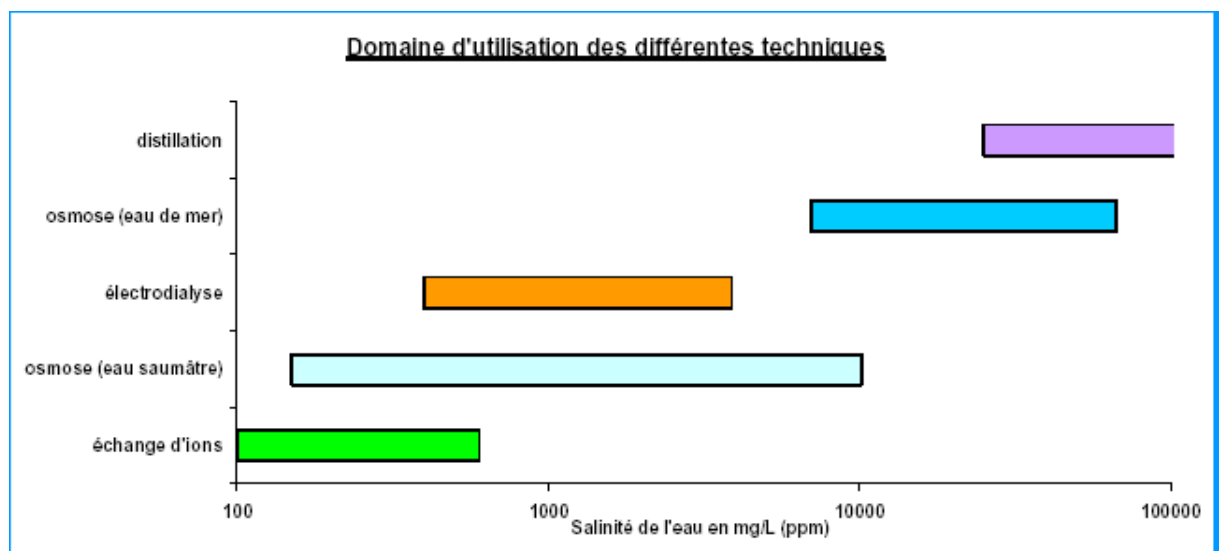


Figure II-7: choix du procédé de dessalement en fonction de la salinité de l'eau à traiter en mg/l.

II-5-Qualité de l'eau obtenue par les différents procédés :

1. Qualité de l'eau obtenue par distillation :

L'eau déminéralisée obtenue par distillation est très pure (de 5 à 30 mg/l). Pour la consommation domestique, cette salinité est même trop faible et il est nécessaire de l'augmenter aux environs de 300 mg/l par rapport de sels minéraux.

Cet apport peut être fait en mélangeant l'eau distillée avec des eaux saumâtres (si elles existent évidemment) ce qui permet :

- de valoriser les eaux saumâtres existantes ;
- de diminuer les couts de dessalement par une augmentation de la production.

Les principaux avantages :

- Des performances et des coûts indépendants de la salinité : cela est intéressant dans les pays du golfe arabique où la salinité peut dépasser 45 g/l ;
- Un prétraitement simple : dégrillage et chloration sont généralement suffisant ;
- Une très faible salinité de l'eau produite (5 à 30 mg/l) voire moins.

2. Qualité de l'eau obtenue par les procédés à membranes :

a. Electrodialyse :

Par électrodialyse, il est difficile du point de vue chimique et coûteux du point de vue économique d'obtenir une eau déminéralisée ayant une salinité inférieure à 300-400 mg/l.

Ce procédé convient donc principalement pour les usages domestiques.

b. Osmose inverse :

Dans le procédé d'osmose inverse, la salinité de l'eau produite dépend principalement de la sélectivité de la membrane. Dans le cas de l'eau de mer, on utilise en général des membranes ayant une sélectivité de l'ordre de 99% ce qui permet d'obtenir une eau aux environs de 400 mg/l à partir d'une eau de mer de 40g/l. Dans le cas des eaux saumâtres la sélectivité des membranes utilisées est plutôt d'environ 90%. On obtient une eau de salinité comprise entre 100 et 500 mg/l lorsque la salinité de l'eau saumâtre varie entre 1 et 5 g/l.

Pour l'osmose inverse, les avantages sont :

- Une faible consommation énergétique environ 3 à 4 kw/m³ pour une eau de mer à 38 g/l ;
- Un coût d'investissement plus faible d'environ 20 % ;
- Une gamme étendue de capacités de quelques litres par jour pour des équipements de survie à des installations de plus de 100.000 m³/j ;
- Une salinité d'eau produite de 300 à 500 mg /l qui convient bien aux usages domestiques. [4]

Tableau II-2 : Principales installations de dessalement d'eau de mer par osmose inverse de grande capacité.

Site	Capacité m ³ /jour	Année de mise en service
Ashkelon	320000	2005
Hamma (Algérie)	200000	2006
Fujairah (Emirats Arabes Unis)	170000	2003
Tuas (Singapour)	136000	2005
Medine/Yambu (Arabie Saoudite)	128000	1995
Kwinana, Perth (Australie)	125000	2006
Carboneras, Almeria (Espagne)	121000	2003
Tampa Bay, Floride (Etats-Unis)	94600	2003

Tableau II-3 : les grandes stations de dessalement par osmose inverse en Algérie. [7]

Stations	Wilaya	Capacité (m ³ /j)	Date de mise en service
Douaouda	Alger	200 000	24 février 2008
Hamma	Alger	200 000	Septembre 2007
El Mactâa	Oran	500 000	Janvier 2015
Djinet	Boumerdes	100 000	2012
Honaine	Tlemcen	200 000	Avril 2008
Tenes	Chlef	200 000	17 septembre 2008
Mostaganem	Mostaganem	200 000	22 aout 2011
Beni Saf	Ain Temouchent	200 000	2010
Chatt El Hillal	Ain temouchent	200 000	Début d'exploitation 2010
Fouka	Tipaza	120 000	2011
Kahrama	Oran	96 000	2006

II-6-Conclusion :

Parmi les différents procédés disponibles, l'osmose inverse est pratiquement généralisée pour le dessalement des eaux saumâtres. Dans le cas des eaux de mer, dont la salinité est comprise entre 35 et 50 g/l, l'osmose inverse, qui, vers les années 1980, était surtout utilisée pour les installations de faibles capacités, concurrence actuellement les procédés thermiques pour les capacités importantes.

L'osmose inverse se place aujourd'hui en rivale incontournable de la distillation.

Il faut reconnaître que par rapport à la distillation, la technique d'osmose inverse présente de nombreux avantages : faible consommation d'énergie, faible cout d'investissements et une grande flexibilité de capacité de production, allant de quelques litres/jour à des milliers de m³/jour.

Nous allons donc retenir ce procédé pour le dimensionnement de l'usine de dessalement qui sera installée à El hadeb.

**Chapitre III :
démminéralisation des eaux
saumâtres par osmose
inverse**

Chapitre III : Déminéralisation des eaux saumâtres par osmose inverse

III-1-Introduction :

L'osmose inverse est l'inverse d'un phénomène naturel mis en évidence par Antoine Nollet en 1748:l'osmose.

L'osmose c'est le transfert d'une solution diluée vers une solution concentrée à travers une membrane semi-perméable.

L'osmose inverse c'est donc le transfert inverse de l'osmose, qui est obtenu en exerçant une pression sur la solution concentrée supérieur à la pression osmotique.

Pour dessaler l'eau de mer en grande quantité des membranes ont été créées. Les premières d'entre elles étaient en nitrate de cellulose, elles ont été commercialisées dans les années 30. Mais celles-ci n'étaient pas assez résistantes à la température, au pH, aux agents oxydants et aux attaques bactériennes. De nouvelles membranes ont alors été créées en 1980. Elles étaient cette fois-ci faites de polymères non cellulosiques. Leur résistance physique et chimique a ainsi été améliorée, ainsi que leur imperméabilité aux plus grosses molécules, afin que seule la molécule d'eau (H₂O) puisse passer.

Le dessalement par osmose inverse nécessite d'abord un pré-traitement très poussé de l'eau de mer pour éviter le dépôt de matières en suspension sur les membranes qui conduirait très rapidement à une diminution des débits produits.

Il est nécessaire de retenir toutes les particules de dimension supérieure à 10 à 50 µm selon le type de module d'osmose inverse. Ceci est réalisé à l'aide d'une préfiltration grossière puis d'une filtration sur sable pour éliminer les matières en suspension les plus grosses. Puis un traitement biocide et une acidification sont nécessaires pour éviter le développement de microorganismes sur la membrane et éviter la précipitation de carbonates. Enfin une filtration sur cartouches permet de retenir les particules de taille de l'ordre de quelques dizaines de µm qui n'ont pas été retenues par le filtre à sable.

La pompe haute pression permet ensuite d'injecter l'eau dans le module d'osmose inverse dans lequel se trouvent les membranes.

De plus, un deuxième phénomène intervient lors de l'osmose inverse, il s'agit de la polarisation de concentration de la membrane. En effet, au cours du temps, la concentration de la solution salée augmente puisque la majorité des molécules sont retenues d'un seul côté de la membrane. De ce fait, la pression osmotique augmente également près de la couche limite, avec des risques de précipitation des composés à faible produit de solubilité. Pour un même rendement, la pression à appliquer est donc plus élevée. Pour éviter ce phénomène on balaye la membrane du côté de la solution salée par un flux d'eau continu. Toute l'eau n'est pas filtrée, une partie sert à nettoyer la membrane. Ce procédé est donc semblable à une filtration tangentielle. L'eau non filtrée est appelée rétentat tandis que l'eau qui a traversé la membrane est appelée perméat.

Afin de limiter la consommation d'énergie du procédé, on peut placer sur le circuit du rétentat une turbine qui permet de récupérer une partie de l'énergie contenue dans ce fluide sous haute pression.

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

III -2-Pression osmotique :

La pression osmotique se définit comme la pression minimum qu'il faut exercer pour empêcher le passage d'un solvant d'une solution moins concentrée à une solution plus concentrée au travers d'une membrane semi-perméable

En première approximation, la pression osmotique peut être calculée en assimilant le comportement des molécules du soluté à celles de molécules gazeuses. Dans le cas d'une solution diluée, on peut appliquer la loi des gaz parfaits :

$$P V = n.R.T$$

Π : pression osmotique.

V : volume de la solution.

n : nombre de mole de soluté.

R : constante des gaz parfaits.

T : température absolue.

La loi de Van't Hoff exprime que la pression osmotique exercée par le soluté est égale à la pression que ce corps aurait exercée dans l'état gazeux parfait dans le même volume V et à la même température T. si le soluté est dissocié en i ions la pression osmotique sera i fois supérieures. [17]

La pression osmotique d'une solution est directement proportionnelle à la concentration en soluté :

$$\Pi=iC.R.T$$

Π : pression osmotique en bar ;

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

C : concentration molaire en mol/l ;

R : constante des gaz parfait (0,082 l.bar/mol.K) ;

T : température absolue en K.

Dans le cas d'une solution saline, la pression osmotique peut être, en première approximation estimée à 0,7 bar par g/l de salinité :

$$\Pi=0,7C$$

Π : pression osmotique en bar ;

C : concentration en sel en g/l.

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

Les principaux constituants d'une installation d'osmose inverse sont les suivants :

- la membrane ;
- le module ;
- la pompe haute pression ;
- éventuellement un système de récupération d'énergie ;
- la poste de prétraitement.

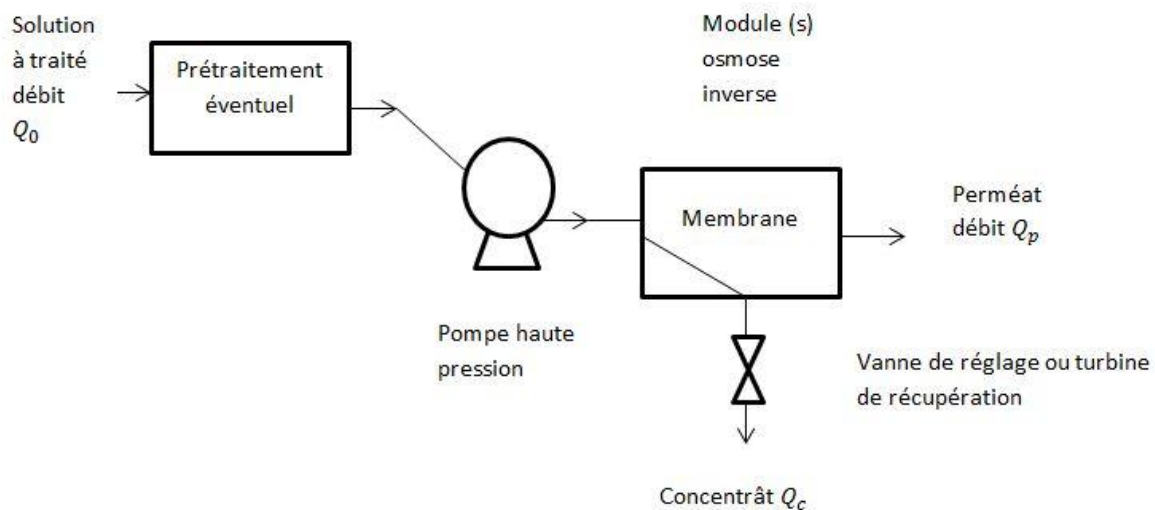


Figure III-1: schéma général d'une unité d'osmose inverse.

L'écoulement du fluide sur la membrane est continu et tangentiel. La solution à traiter (débit Q_0) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes :

- une partie qui passe à travers la membrane ou perméat (débit Q_p) ;
- une partie qui ne passe pas à travers la membrane appelée concentrât ou retentât (débit Q_c) et qui contient les ions, molécules ou particules retenues par la membrane. [4]

L'objectif de l'écoulement tangentiel est d'éviter, autant que possible, l'accumulation continue sur la membrane des espèces (particules, molécules, ions) retenues par cette dernière.

III -4- Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse :

III -4-1- Taux de conversion :

Le taux de conversion (Y) est, par définition, la fraction du débit de liquide qui traverse la membrane :

$$Y = \frac{Q_p}{Q_0}$$

III -4-2- Sélectivité ou taux de rejet :

La sélectivité d'une membrane est en général définie par le taux de rétention ou le taux de rejet de l'espèce (sel, macromolécule, particule) que la membrane est censée retenir :

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

C_0 : Concentration de l'espèce à retenir dans la solution ;

C_p : Concentration de la même espèce dans le perméat.

Le soluté de référence est souvent le chlorure de sodium (NaCl), compte tenu du fait que la déminéralisation des eaux est l'application la plus importante de l'osmose inverse. On trouve ainsi couramment des membranes qui ont été développées soit pour le dessalement de l'eau de mer et qui ont un taux de rejet au NaCl de 99% environ, soit pour le dessalement des eaux saumâtres et qui ont un taux de rejet au NaCl de 96% et ceci pour des conditions opératoires déterminées (pression, température, taux de conversion...).

III -4-3- Débit spécifique ou densité du flux volumique :

Pour une sélectivité donnée, le débit par unité de surface (densité de flux volumique) doit être le plus élevé possible de manière à minimiser la surface de membrane à mettre en œuvre et par là même l'investissement.

Le débit spécifique s'exprime le plus souvent en $l.h^{-1}.m^{-2}$. La conversion en unités SI ($m^3.m^{-2}.s^{-1}$ ou $m.s^{-1}$). [13]

III -5-Modules d'osmose inverse :

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

-modules tubulaires ;

-modules fibres creuses ;

-modules plans ;

-modules spirales.

Pour le choix d'un tel type de module, plusieurs critères sont à envisager :

- Régime d'écoulement permettant de minimiser les phénomènes de polarisation (écoulement laminaire ou turbulent) ;
- Compacité qui est exprimée par le rapport de la surface filtrante au volume de l'appareil ;
- Facilité de démontage et de remplacement des membranes défectueuses ;
- Volume mort de l'appareil (exprimé en l/m^2) ;
- Adaptation au produit à traiter (nécessité ou non de pré filtration).

III -5-1- Module tubulaire :

Le module tubulaire est basé sur une technologie simple, constitué de tubes métalliques ou plastiques poreux sur lesquels est fixée la membrane semi perméable, le diamètre du tube résulte d'un compromis entre la consommation énergétique (qui augmente avec le diamètre) et le coût de fabrication (qui diminue avec le diamètre).

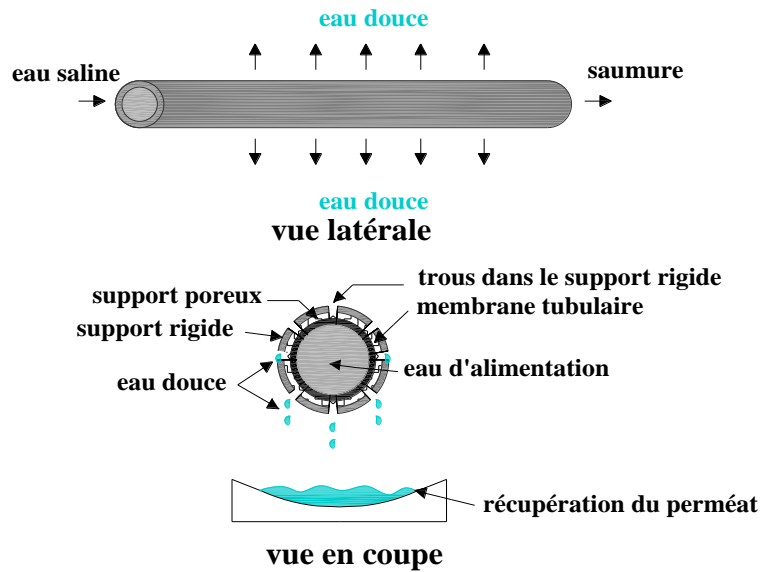


Figure III-2 : Schéma de principe d'un module tubulaire.

III -5-2- Module à fibres creuses :

Ce module rassemble un ensemble de fibres creuses de diamètre inférieur au micromètre en un faisceau, mais à la différence des modules tubulaires qui sont constitués d'une membrane et d'un support inerte, les fibres creuses jouent à la fois le rôle de membrane et de support.

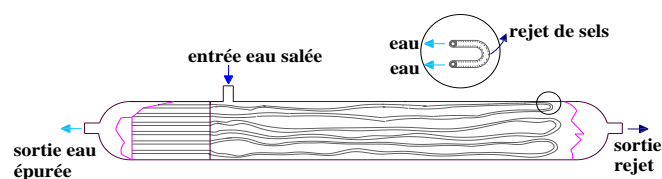


Figure III-3 : Schéma de principe d'un module à fibres creuses.

III -5-3- Module plan:

Ce type de module est le plus simple : les membranes sont empilées en mille feuilles séparées par cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides, et les plus anciens de technologie calquée directement sur celle des filtres presses, il peut se présenter soit sous forme de plaques unitaires soit sous forme de cartouches; un des paramètres le plus important est la distance entre les membranes.

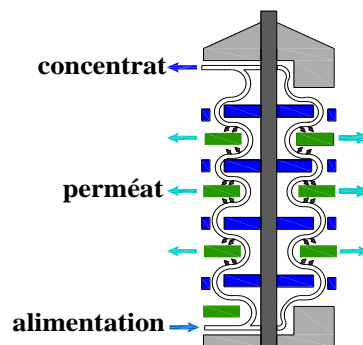


Figure III-4: Schéma de principe d'un module plan

III -5-4- Module spiralé :

Une membrane plane est enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux qui recueille le filtrat. On obtient ainsi un cylindre multi couches où le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux. [15]

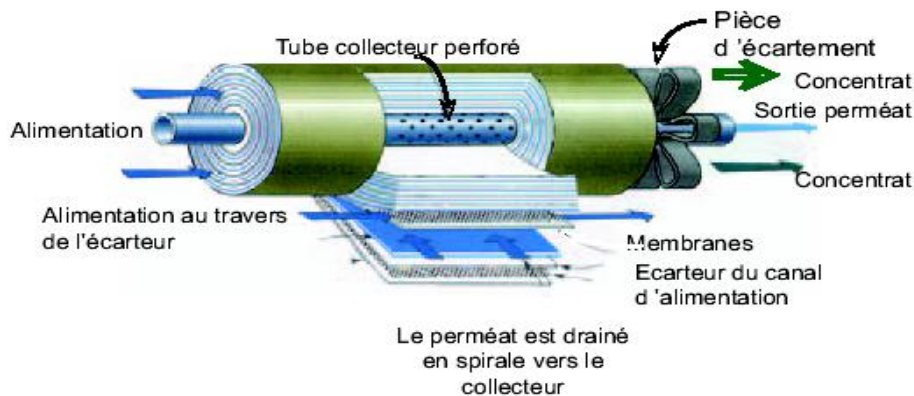


Figure III-5: Schéma d'un module spiralé

La comparaison des avantages et inconvénients des différents modules sont récapitulée dans le tableau suivant :

Tableau- III-1:Avantages et inconvénients des différents types de modules. [4]

Type de module	Avantages	Inconvénients
Tubulaire	<p>Prétraitement simplifié : tolérer des fluides chargés de MES ayant une dimension inférieure à 1/10 le diamètre du tube,</p> <p>-Facilité de nettoyage,</p> <p>-Technologie simple : changement facile de membrane défectueuse.</p>	<p>-Consommation d'énergie élevée afin de diminuer les risques de dépôts par phénomènes de polarisation de concentration,</p> <p>-Faible compacité : la surface d'échange par unité de volume est la plus faible des systèmes existants < à 300 m²/m³,</p> <p>-Volume mort élevé.</p> <p>-cout élevé</p>
Fibres creuses	<p>-Compacité élevée : ont la surface d'échange la plus élevée de tous les systèmes existants,</p> <p>-faible volume mort.</p> <p>-Faible consommation énergétique résultant d'une faible vitesse et d'un régime laminaire,</p> <p>-Possibilité de nettoyage à contre courant.</p>	<p>-Sensibilité au colmatage à cause du faible diamètre des fibres,</p> <p>-Seulement en parallèle contrairement aux autres types de modules,</p> <p>-Basse pression obligatoire.</p>
Plan	<p>-Système modulaire aisément modifié par l'utilisateur (augmentation ou diminution du nombre d'élément),</p> <p>-Visualisation du perméat produit par chaque élément : permettant de détecter la détérioration d'une membrane,</p> <p>-Prétraitement simplifié.</p>	<p>Faible ratio surface membrane /volume d'encombrement (100-400 m²/m³),</p> <p>-Coût d'immobilisation important,</p> <p>-Difficultés de remplacer les membranes.</p>

<p>Spirale</p>	<p>Ratio surface membrane/volume d'encombrement important (300-1000 m²/m³),</p> <p>-Coût d'investissement faible,</p> <p>-Prétraitement simplifié par rapport aux fibres creuses.</p> <p>-faible volume mort.</p>	<p>Risque élevé de colmatage à cause de la faible distance entre membrane,</p> <p>-Difficulté de nettoyage</p>
-----------------------	---	--

III -6-membranes d'osmose inverse : [8]

L'osmose inverse n'a pu se développer que grâce à la découverte vers 1960, par Loeb et Sourirajin d'un nouveau type de membrane à structure anisotrope ou asymétrique. Une telle membrane, examinée en section transversale au microscope électronique, est constituée de deux couches superposées :

- une sous-couche de 100 à 200 µm d'épaisseur et de texture relativement poreuse ;
- une peau de très fine épaisseur (de 0,1 à 1,5 µm).

La structure de matériaux permet de distinguer deux types de membranes :

- Isotropes, où les propriétés structurelles sont constantes sur toute l'épaisseur de la cartouche ;
- Anisotropes, où les propriétés structurelles varient sur l'épaisseur de la cartouche, de la surface vers l'intérieur de la membrane.

III -6-1- Membranes organiques :

Fabriquées à partir de polymères organiques tels que l'acétate de cellulose, de polyamides, poly sulfones...

- **Membranes en acétate de cellulose :**

Constituées principalement de cellulose en remplaçant les groupements hydroxyyles par des groupements acétyle dont il permet d'obtenir soit le diacétate soit le triacétate de cellulose, on note que le degré de substitution d'un polymère d'acétate de cellulose est supérieur à 2,75 ce qui équivaut à un pourcentage d'acétyle de 42,3 %.

C'est le plus ancien des polymères mais il est toujours utilisé parce qu'il présente certains avantages.

- **Membrane en polyamides :**

Les formules chimiques des membranes ont évolué avec le temps : à l'origine en acétate de cellulose, elles sont aujourd'hui en majorité en polyamide vu les inconvénients de l'acétate de cellulose.

- **Membrane en poly sulfone :**

Caractérisées par un groupement $-SO_2-$ relativement stable relié à deux noyaux benzéniques.

- **Membrane en matériaux acryliques :**

-poly (acide acrylique),

-poly acrylonitrile (pan).

- **Membranes en matériaux fluorés :**

-poly (fluorure de vénylidéne) ou PVDF,

-poly (tétrafluoroéthylène) ou PTFE.

Une comparaison entre les caractéristiques des différents types de membranes est donnée dans le tableau III.2

Tableau III -2 : Avantages et inconvénients des membranes organiques. [4]

Membrane organique	Avantages	Inconvénients
En acétate de cellulose	<ul style="list-style-type: none"> -Perméabilité très élevée, -Mise en œuvre aisée, -Le matériau de base (cellulose) est répandu, - Colmatage moins élevé 	<ul style="list-style-type: none"> -Sensibilité à la température, -Sensibilité au PH, -Sensibilité au chlore, -Sensibilité aux microorganismes, -Sensibilité au colmatage.
En polyamides	<ul style="list-style-type: none"> -Bonne stabilité chimique et thermique, -Meilleure résistance mécanique. 	<ul style="list-style-type: none"> -Très grande sensibilité aux oxydants, - Faible perméabilité, -Problèmes d'adsorption
En poly sulfone	<ul style="list-style-type: none"> -Bonne stabilité thermique jusqu'à 75° C, -Bonne tenue au PH variant de 1 à 13, -Bonne résistance au chlore. 	<ul style="list-style-type: none"> -Sensibilité au colmatage, aucune membrane de ce type ne supporte des pressions à 15 à 20 bar, -Problèmes d'adsorption.
En matériaux acryliques	<ul style="list-style-type: none"> -Bonne stabilité thermique, -Bonne stabilité chimique, -Possibilité de stockage à sec. 	<ul style="list-style-type: none"> -Résistance mécanique limitée, -Difficulté d'obtenir de faibles diamètres
En matériaux fluorés	<ul style="list-style-type: none"> -Très bonne résistance thermique, -Très bonne résistance chimique. 	<ul style="list-style-type: none"> -Faible perméabilité due au caractère hydrophobe de la membrane, -Utilisable seulement en microfiltration

III -6-2- Membranes minérales :

- a. Membranes à support carbone ;
- b. Membranes dynamiques ;
- c. Membranes en alumine.

Tableau III -3 : Avantages et inconvénients des membranes minérales.

Membrane minérale	Avantages	Inconvénients
A support carbone	-pH compris entre 0 à 14, -Températures pouvant atteindre 300°C, -Pressions allant jusqu'à 2 MPa.	-Prix élevé, -Volume mort important, dû à la configuration tubulaire : 1,5 l/m ² .
Dynamiques	-Investissement faible pour la fabrication, -Bonne tenue en température, au PH et en milieu oxydant.	-Performances (perméabilité et sélectivité) médiocres en osmose inverse. -Mise en œuvre nécessitant un savoir faire important
En alumine	-Bonne tenue en température élevée jusqu'à 300°C, -Bonne tenue en milieu acide jusqu'à pH=1, -Bonne tenue en pression.	-Sensibilité au milieu basique, ce qui pose de problèmes lors du nettoyage à la soude, -Prix élevé.

III -6-3- Membranes composites :

Apparues il y a dix ans, elles sont caractérisées par une structure asymétrique dont la peau est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique. Elles peuvent être organiques (superposition de polymères organiques différents), organo- minérales ou minérales (association de carbone ou d'alumine comme support et de métaux tels le zircon, l'alumine et le titane)

- **Avantage :**

- Perméabilité et sélectivité élevées ;
- Stables à des valeurs de pH de 2 à 11 ;
- Bonne tenue à des températures de 40° à 60°C suivant la pression.

- **Inconvénients :**

- Mauvaise tenue au chlore.

III-6-4-La durée de vie des membranes :

Il est très difficile de déterminer exactement la durée de vie des membranes d'osmose inverse. En effet la durée de vie dépend de la nature de la membrane mais aussi des conditions d'utilisation :

- pression de fonctionnement ;
- température de l'eau ;
- pH ;
- qualité du prétraitement.

III-7-Conditions de fonctionnement :

Pour qu'un procédé d'osmose inverse fonctionne correctement, il est évidemment nécessaire de disposer d'une bonne membrane et d'un module adapté. Mais ceci n'est pas suffisant. La mise en œuvre de la technologie disponible, le choix des conditions de fonctionnement (pression, vitesse, température) sont d'une importance capitale si l'on veut maintenir constante les performances du système le plus longtemps possible, à savoir : perméabilité au niveau le plus élevé et sélectivité à la valeur désirée.

III-7-1 choix du type d'installation :

Le schéma d'une installation d'osmose inverse comporte les éléments suivants :

- une pompe de mise en pression (40 à 80 bar) soit volumétrique, soit centrifuge ;
- le ou les modules d'osmose inverse ;
- une vanne de détente qui peut être remplacée dans certains cas par une turbine de récupération d'énergie ;
- une ou plusieurs cuves de stockage ainsi que tous les appareils de mesure nécessaires (pression, débits, température, etc).

Le fonctionnement d'une telle installation peut se faire selon divers procédés :

- procédé discontinu ou batch ;
- procédé continu à recyclage ;
- procédé continu.

Dans le cas du dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres, seul le procédé continu est utilisé, les modules étant montés en série –rejet ou en série-production.

- Un système di-étagé en série rejet, est composé principalement par un ensemble de trains dont le concentrât de chaque train alimente le train suivant et ainsi de suite, c'est-à-dire que l'alimentation de chaque train a des caractéristiques identiques aux celles du concentrât du train précédent (chaque train dans ce cas est appelé étage). Les perméats de l'ensemble des étages sont collectés pour donner à la fin, le perméat total du système.
- Un système membranaire di-étagé en série production, est formé par un ensemble de trains dont la production de chaque étage alimente le train suivant et ainsi de suite, de sorte que l'alimentation de chaque train a des caractéristiques identiques aux celles du perméat du train précédent (le train dans ce cas est appelé pass). Les concentrâts de l'ensemble de trains sont collectés pour donner à la fin, le concentrât total du système, qui sera relié à un système de récupération de l'énergie.

III -7-2-Choix de la pression de fonctionnement :

Le choix de la pression de fonctionnement est lié à des considérations d'abord technique ensuite économique.

III -7-2-1.considération techniques :

La pression de fonctionnement doit évidemment être supérieure à la pression osmotique en tenant compte du taux de conversion.

La sélectivité d'une membrane d'osmose inverse augmentant avec la pression on pourra dans certains cas être amenée à choisir la pression en fonction de la sélectivité souhaité pour la membrane.

Pour une vitesse de circulation donnée, il existe une pression limite au-delà de laquelle le flux de perméat n'augmente plus par suite du phénomène de polarisation de concentration. Il est donc impératif de connaître cette valeur limite, de manière à se situer nettement au-dessous.

Lorsque la pression est trop élevée se posent des problèmes de tenue mécanique des membranes (compactage), ainsi que des modules. Actuellement la pression maximale se situe environs de 70-80 bar.

III -7-2-2.considérations économiques :

Comme pour tout procédé de séparation, le choix de la pression de fonctionnement doit faire l'objet d'une optimisation entre le cout de la consommation énergétique et le cout lié à la surface de membranes. En effet, lorsque la pression augmente, la consommation d'énergie devient plus importante. En revanche, pour une production donnée, la surface de membranes nécessaire devient plus faible.

III 7-3 choix de la température :

Le choix de la température de fonctionnement d'une unité d'osmose inverse est déterminé en fonction des considérations suivantes :

- pour une pression donnée, le compactage augmente avec la température par d'autant plus important que la température est élevée ;
- le débit d'eau à travers la membrane augmente avec la température par suite de la diminution de la viscosité. Cette augmentation est d'environ 3% par degré Celsius.

Il en résulte que l'on peut :

- soit augmenter la température en récupérant éventuellement des calories disponibles (des couplages avec des installations à multiples effets sont actuellement envisagés) ;
- soit diminuer la pression de fonctionnement si la température est trop élevée.

III -7-4 Choix du taux de conversion :

Le taux de conversion Y est le rapport entre la quantité d'eau douce produite et la quantité d'eau de mer ou d'eau saumâtre entrant dans l'installation :

$$Y = \frac{\text{quantité d'eau douce produite}}{\text{quantité d'eau de mer nécessaire}} * 100$$

Le choix de la valeur de ce paramètre résulte d'un compromis entre des considérations économiques et des considérations techniques.

-du point de vue économique, on a en effet intérêt à adopter un taux de conversion le plus élevée possible, de manière à diminuer la quantité d'eau brute entrant dans l'installation, d'où des investissements plus faibles (groupes électropompes, filtres...) et une consommation d'énergie réduite ;

-du point de vue technique, un taux de conversion élevé va se traduire par une augmentation importante de la salinité de la saumure et par la même de sa pression osmotique. Cela va entraîner une diminution de la pression efficace et donc du débit de perméat ainsi qu'une augmentation de la salinité de l'eau produite d'où des risques de précipitation de sels peu solubles.

Dans le cas des eaux saumâtres, où l'on cherche en général à récupérer le maximum d'eau, le taux de conversion est limité uniquement par la solubilité des sels. L'utilisation de produits antitartre ou l'élimination préalable des sels susceptibles de précipiter permet d'augmenter le taux de conversion jusqu'à des valeurs qui peuvent atteindre 90%. [13]

Tableau III-4 : résume les taux de conversion actuellement utilisés. [4]

	Taux de conversion Y en %	
	Valeurs moyennes	Valeurs limites
Eau de mer (30 à 50 g/l)	35 à 45	10 à 60
Eau saumâtre (1 à 10 g/l)	65 à 85	50 à 90

III -8-Consommation d'énergie :

Le procédé d'osmose inverse ne faisant pas intervenir de changement de phase, doit présenter une consommation d'énergie plus faible que d'autres procédés de séparation tels que la distillation par exemple. D'autre part, ce procédé peut fonctionner dans des conditions très proches de la réversibilité.

En fait, la consommation d'énergie est toujours supérieure au minimum théorique et cela pour plusieurs raisons :

- si l'on veut que le flux d'eau à travers la membrane ait une valeur acceptable, il est nécessaire que la pression de fonctionnement soit nettement supérieure aux conditions de réversibilité ;
- pour minimiser les phénomènes de polarisation, les vitesses de passage dans les modules doivent être suffisamment élevées ;
- dans le cas où aucun système de récupération d'énergie n'est prévu, le circuit de concentration est détenu à travers une vanne, d'où perte d'énergie.

III -8-1 Energie consommé en osmose inverse en l'absence de système de récupération :

Les pompes hautes pression d'osmose inverse sont dimensionnées pour tenir compte de l'augmentation des pertes de charges dues en particulier au colmatage des membranes. Le réglage de la pression et du débit se fait souvent au moyen d'une vanne de réglage placée au refoulement du groupe électropompe. L'utilisation d'un groupe électropompe équipé d'un moteur avec variateur de vitesse permet une réduction de la consommation d'énergie.

Tableau III-5 : Avantages et inconvénients des différents types de pompes utilisées en osmose inverse.[4]

	Avantages	Inconvénients
Pompes volumétriques -à pistons -rotatives	-rendement élevé -investissement faible	-limitées en débit -pulsations -entretien couteux
Pompes centrifuges -multi-étagées 1500 à 3000 tr/min	-gamme étendue -pas de pulsations	-valeurs élevée du NPSH -fabrication complexe
-mono-étagées à grande vitesse 10000 à 20000 tr/min	-compacité -investissement faible	-mauvais rendement -bruit, vibrations

III -8-2 Récupération d'énergie :

Dans le cas où le cout de l'énergie est peu élevé, le circuit de concentration est détendu à travers une vanne, ce qui représente une perte d'énergie. On peut aussi envisager de récupérer l'énergie contenue dans le fluide haute pression soit au moyen d'une turbine soit au moyen d'un système à pistons.

La décision d'adopter un système de récupération d'énergie doit être prise en comparant le cout des annuités financières dues à cet investissement supplémentaire et le cout de l'énergie récupérée. Elle dépend :

- de la taille de l'installation ;
- du cout de l'énergie ;
- de la pression de fonctionnement ;
- du taux de conversion.

III -8-3 Différents systèmes de récupération d'énergie :

Du point de vue technologique trois solutions sont actuellement disponibles :

III -8-3-1 Les turbopompes intégrées :

Le principe de ces machines est de récupérer l'énergie de la saumure dans une turbine hydraulique montée sur le même arbre que la pompe haute pression.

III -8-3-2 Les turbines Pelton :

Les turbines Pelton sont utilisées depuis très longtemps pour la production d'énergie électrique sur les sites de montagne caractérisés par de faibles débits et de grands dénivelés. Leurs caractéristiques sont relativement bien adaptées aux conditions de fonctionnement des unités de dessalement d'eau de mer par osmose inverse.

Dans la turbine Pelton, toute l'énergie potentielle est transformée en énergie cinétique. La vitesse de l'eau à la sortie de la buse ne dépend que de la pression.

III -8-3-3 Les système <échangeurs de pression> :

De façon schématique, ces systèmes peuvent être considérés comme une pompe à piston qui utilise le rejet de saumure (qui est aux environs de 60-70 bar dans le cas de l'eau de mer) pour « aider » le déplacement du piston. Cette technologie, que l'on peut appeler de 3ème génération, présente l'avantage d'avoir un rendement plus élevé ($\geq 95\%$) et indépendant des variations de débits. Quelques inconvénients doivent être signalés :

- complexité de la technologie ;
- débits relativement peu élevés actuellement ($\leq 500 \text{ m}^3/\text{h}$) ce qui nécessite pour de grosses unités de dessalement, un nombre élevé de machines ;
- fuites au niveau des pistons entraînant un passage de saumure dans l'eau de mer d'alimentation, pouvant atteindre 3%. [4]

III -9-Prétraitement de l'eau avant osmose inverse :

Les objectifs du prétraitement sont les suivants :

- éviter le colmatage des modules soit par les matières en suspension, soit par les micro-organismes, soit par les dépôts de sels ;

-donner l'eau à traiter des caractéristiques qui soient compatibles avec la nature des membranes : teneur en chlore, pH, température.

Il n'existe pas de prétraitement standard. Les principaux facteurs qui interviennent dans la définition d'un prétraitement sont :

-les caractéristiques physicochimiques de l'eau à traiter :MES (matières en suspension), turbidité, COT (carbone organique total), hydrocarbures, algues, composition chimique, pH ;

-les conditions de fonctionnement des membranes : taux de conversion, pression ;

-les types de membranes et de modules utilisés : membranes en acétate de cellulose ou en polyamide, modules spirales ou fibres creuses.

Les principaux postes d'un prétraitement sont les suivants :

III -9-1 Chloration :

La chloration a pour objectif l'inactivation des micro-organismes (bactéries principalement) mais aussi micro-algues, champignons, qui, outre le fait que certains peuvent être pathogènes, sont à l'origine d'un colmatage important des membranes appelé biofouling :

- Soit directement par le développement d'une biomasse ;
- Soit indirectement par les métabolites produits par les micro-organismes (polsaccharides par exemple).

III -9-2 Clarification de l'eau brute :

L'osmose inverse pouvant être considérée comme un procédé de filtration à l'échelle de quelques dixième de nanomètres, toutes les matières en suspension, et en particulier les matières organiques, ont tendance, sous l'action de la pression, à se déposer sur les membranes, ce qui a pour conséquence une diminution des débits.

Les objectifs visés pour la clarification de l'eau brute dans le cas de modules spirales et de membranes polyamide sont :

-turbidité : $\leq 0,1$ NTU ;

-matière organique : COT < 3 mg/l ;

-métaux : Fe < 100 mg/l Al < 50 mg/l ;

-SDI₁₅ < 3.

Deux approches sont possibles pour la clarification de l'eau.

- Procédés classique : coagulation, floculation, décantation, filtration.
- Procédés membranaires : ultrafiltration, microfiltration ou même nanofiltration.

III -9-3 Prévention de l'entartrage :

La méthode la plus utilisée pour éviter les dépôts de tartre ($CaCO_3$, $CaSO_4$, $2H_2O$...) dans les modules d'osmose inverse consiste à injecter dans l'eau brute des inhibiteurs d'entartrage ou antitartres. Les produits les plus utilisés sont :

-les polyphosphates : ces produits sont efficaces et bon marché, mais ils peuvent éventuellement former des dépôts d'orthophosphates par suite de phénomènes d'hydrolyse.

D'autre part, ils peuvent poser des problèmes environnementaux, compte tenu de la réglementation de plus en plus restrictive sur les rejets de phosphates ;

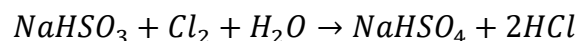
-les polymères carboxyliques : efficaces sur la plupart des tartres, ces produits ne posent pas de problèmes pour les rejets. Ils présentent l'inconvénient d'être chers.

III -9-4 Déchloration :

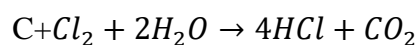
Compte tenu de la grande sensibilité des membranes d'osmose inverse en polyamide, membranes les plus utilisées actuellement, il est indispensable d'assurer une déchloration de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre avant son entrée dans les modules.

Cette déchloration est effectuée :

- Soit par ajouts de réactifs chimiques : bisulfite de sodium le plus souvent car elle est efficace et d'un coût relativement faible.



- Soit par passage sur charbon actif.



III -9-5 Filtration de sécurité sur cartouches :

Dans tous les cas, une installation d'osmose inverse doit être protégée par une filtration de sécurité sur cartouches aux environs de 5µm.

III -10 -Moyens d'élimination des dépôts : nettoyage chimique :

Même avec un prétraitement bien conçu et des conditions opératoires convenablement choisies, on constate dans la plupart des cas un colmatage progressif des membranes au cours du temps. Le nettoyage chimique est presque toujours nécessaire si l'on veut que l'installation fonctionne suivant ses performances nominales.

III -10-1 Fréquence de nettoyage :

La fréquence de nettoyage dépend de la qualité des eaux prétraitées. Elle est en général comprise entre une fois par mois et une fois par an. Cette opération nécessite l'arrêt de l'installation pendant 1 à 2 jours selon le nombre de réactifs utilisés.

La décision d'effectuer un nettoyage chimique d'un module d'osmose inverse peut être liée :

-soit à une valeur de la perte de charge que l'on s'impose comme maximum à ne pas dépasser ;

-soit à une valeur du débit de perméat lorsque la diminution atteint 20 à 25 % par rapport au débit nominal ;

-soit à un programme de nettoyage systématique prédéterminé. Ceci est utilisé lorsque l'on a une installation importante qui comporte un nombre élevé de modules. On peut ainsi avoir une partie des modules en nettoyage tandis que le reste assure la production.

III -10-2 Solution de nettoyage :

Le choix des solutions de nettoyage dépend de la nature des dépôts qui sont à l'origine du colmatage et d'autre part de la nature des membranes ; il faut en effet dissoudre les dépôts sans détériorer ces dernières. On comprend dans ces conditions que chaque fournisseur de membranes préconise pour chaque cas une solution de nettoyage en fonction de la nature de sa membrane et de la nature du dépôt.

Les solutions suivantes sont en générale utilisée :

Type de solution de nettoyage	Type de dépôts
Solutions acides (acide citrique, acide chlorhydrique)	Dépôts carbonatés, Hydroxydes
Solutions basiques (soude caustique)	Dépôts organiques
Solutions de détergents (avec ou sans enzymes)	Dépôts organiques, protéines
Solutions oxydantes (chlore)	Dépôts biologiques

III -11- Post-traitement :

III -11-1 Correction de l'agressivité de l'eau :

L'eau produite par osmose inverse est agressive, c'est-à-dire que son pH est inférieur au pH de saturation ou que son indice de Langelier est négatif : l'eau sous-saturée en $CaCO_3$ dissout le calcaire sous l'action du CO_2 agressif.

Le CO_2 peut être éliminé soit par dégazage, soit par neutralisation avec NaOH ou $Ca(OH)_2$. Le plus souvent on utilise un dégazeur en premier et un ajout de soude en phase finale.

III -11-2 Correction de la corrosivité :

L'agressivité, phénomène chimique de dissolution du calcaire n'est qu'un cas particulier de la corrosivité, phénomène électrochimique d'attaque du métal. Le réglage du pH d'équilibre est une condition nécessaire mais non suffisante pour éviter les corrosions. Dans l'ensemble, les cas de corrosion les plus courants sont dûs à :

- un pH inférieur au pHs du fait de la présence du CO_2 agressif ;
- une sursaturation en oxygène dissous ;
- une présence excessive en sels minéraux (chlorures, sulfates) ;
- la présence de bactéries oxydant le fer et/ou réduisant les sulfates ;
- une insuffisance de TAC et/ou de TC a pour former la couche protectrice...

III -11-3 Désinfection finale :

Bien que les membranes d'osmose inverse retiennent tous les micro-organismes (bactéries, virus) il est nécessaire d'assurer un résiduel de désinfectant pour éviter toute contamination et développement biologique.

Dans la plupart des cas, on utilise soit le chlore gazeux, soit l'hypochlorite de sodium.

III -11-4 Le problème du bore :

Le problème du bore en osmose inverse est apparu récemment avec le développement d'usines de dessalement de capacité de plus en plus élevée.

L'eau de mer contient naturellement 4 à 6 mg/l de bore. Il en est de même pour les saumâtres, principalement dans les régions volcaniques. On en trouve aussi dans les eaux usées domestiques (de 1 à 5 mg/l) par suite d'apports anthropiques, le bore étant utilisé dans les lessives comme agent de blanchiment.

Ce bore se trouve dans l'eau sous forme d'acide borique, acide faible.

Au pH de fonctionnement de l'osmose inverse (pH 6-7), le bore est sous forme moléculaire (H_3BO_3) et donc n'est pas retenu par les membranes classiques d'osmose inverse).

Des teneurs élevées en bore dans l'eau potable sont susceptibles de provoquer des problèmes de santé :

- problèmes de développement du fœtus ;
- diminution de la fertilité...

III -12-Conclusion :

Vu la simplicité et les avantages du procédé d'osmose inverse (Une faible consommation énergétique, Un coût d'investissement plus faible) par rapport aux autres procédés, il est utilisée pour le cas des eaux saumâtres de notre station. Une chaine de refroidissement et prétraitement a dimensionné ensuite, on dimensionne la ligne de déminéralisation.

**Chapitre IV:
Dimensionnement des
ouvrages de la station de
déminéralisation**

Chapitre IV : Dimensionnement des ouvrages de la station de déminéralisation

IV-1-Introduction :

Les exigences des usagers étant très diverses et leurs localisations très dispersées, l'usage courant consiste à alimenter les agglomérations avec une eau de bonne qualité.

Le but de ce projet est de dimensionner une station de déminéralisation des eaux saumâtres de trois forages albiens, en utilisant le procédé d'osmose inverse en vue d'alimenter en eau potable la ville de El hadeb. Cette station est destinée à traiter un débit d'eau brute de 27000 m³/j, pour couvrir les besoins d'une population de 90000 habitants. [5]

IV-2-Caractéristiques des eaux souterraines :

Les eaux souterraines, enfouies dans le sol, sont habituellement à l'abri des sources de pollution. Puisque les caractéristiques de ces eaux varient très peu dans le temps, les usines de purification n'ont pas à résoudre les problèmes dus aux variations brusques et importantes de la qualité de l'eau brute. Les principales caractéristiques des eaux souterraines sont présentées ci-dessous :

- a) Turbidité faible. Les eaux bénéficient d'une filtration naturelle dans le sol.
- b) Contamination bactérienne faible. Le très long séjour dans le sol, la filtration naturelle et l'absence de matières organiques ne favorisent pas la croissance des bactéries.
- c) Température constante. Les eaux souterraines sont à l'abri du rayonnement solaire et de l'atmosphère.
- d) Indice de couleur faible. Les eaux souterraines ne sont pas en contact avec les substances végétales, sources de couleur.
- e) Débit constant. Contrairement à celles des eaux de rivière, la qualité et la quantité des eaux souterraines demeurent constantes durant toute l'année.
- f) Dureté souvent élevée. Les eaux peuvent être en contact avec des formations rocheuses contenant des métaux bivalents (Mg^{2+} , Ca^{2+} , etc.) responsable de la dureté.
- g) Concentration élevée de fer et de manganèse. Ces métaux, souvent présents dans le sol, sont facilement dissous lorsque l'eau ne contient pas d'oxygène dissous.
- h) Concentration élevée des sels minéraux.

IV-3-Prétraitement :

On entend par prétraitement, l'ensemble des opérations de correction effectuées à l'eau brute. En fonction des caractéristiques de l'eau brute, des paramètres de fonctionnement des modules des procédés membranaires, des caractéristiques requises pour l'eau traitée et afin d'obtenir un fonctionnement optimum et fiable de l'installation, l'eau alimentant les modules doit satisfaire certains critères de qualité.

Les principaux paramètres physiques à contrôler sont le SDI (pouvoir colmatant), le pH, la température et la prolifération bactérienne. Si l'on veut éviter des dépôts de matières en suspension sur les membranes, il est souhaitable d'effectuer une filtration convenable du liquide à traiter. Dans certains cas la filtration peut ne pas être suffisante, d'où la nécessité d'une coagulation-floculation. [10]

Tableau IV-1 : Teneur limite pour divers paramètres selon OMS.

Paramètres	teneur limite
composés phénolés	0,001 mg/l de phénol
Nitrates	50 mg/l NO ₃
Cuivre	0,005 mg/l Cu
Fer	0,1 mg/l Fe
Manganèse	0,05 mg/l Mn
Zinc	5 mg /l Zn
Sulfate	250 mg/l SO ₄
Hydrogène sulfuré	0,05 mg/l H ₂ S
Chlorure	250 mg/l
Couleur	15 UCV
pH	6,5<pH<8,5
Conductivité	2800 �S/cm
TDS	500mg/l

Avant de commencer la déminéralisation des eaux saumâtres, un prétraitement est nécessaire pour un bon fonctionnement de la station

Les étapes de prétraitement sont :

- Refroidissement ;
- Filtration sur sable ;
- Micro filtration ;
- Désinfection.

IV-3-1-Refroidisseur :

L'objectif de cet ouvrage est de refroidir l'eau grâce à une ventilation forcée. En effet la température moyenne des eaux sortantes des 3 forages Albiens est de 55°C, donc un refroidissement est indispensable si l'on veut protéger les membranes qui sont très sensibles à la température.

L'eau doit être refroidie à une température de 30 °C sur une tour de refroidissement à ventilation forcée, mettant en jeu le transfert de chaleur par évaporation. L'échange s'effectue par l'intermédiaire de surface assurant un éclatement de l'eau en fines gouttelettes. L'air atmosphérique, au contact de l'eau s'échauffe et passe de l'humidité ambiante à une humidité proche de la saturation en évaporant une partie de l'eau à refroidir. [3]

Dimension du refroidisseur :

- Débit entrant : 1125 m³/h
- T° de l'eau : 55°C
- T° de l'eau refroidie : 30 °C
- Perte par évaporation : 4,1%
- Type de ventilateur : axial
- Nombre de cellules : 02
- Longueur par cellule : 06m
- Largeur par cellule : 06m
- Niveau d'eau à l'entrée : 4,95m
- Nombre de ventilateurs par cellule : 01
- Diamètre du ventilateur : 4,27m

- Vitesse de rotation du moteur : 1485 tr/min
- Vitesse de rotation du ventilateur : 266,89 tr/min

IV-3-2-Filtration :

C'est un procédé de séparation qui utilise le passage d'un mélange solide/liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui retient les particules solides et laisse passer le liquide (filtrat). Il existe plusieurs types de filtres :

- Des filtres à sable rapides ;
- Des filtres à sable lents ;
- Des filtres sous pression ;
- Des filtres à terre diatomée.

Pour le cas d'une installation d'osmose inverse on utilise le filtre à sable rapide, qui est le type de filtre le plus utilisé dans le traitement des eaux destinées à la consommation.

IV-3-2-1-Filtres à sable rapide :

Dans la filtration rapide le matériau filtrant est maintenu en place par gravité et l'écoulement de l'eau à lieu de haut en bas. Lorsque le milieu filtrant est encrassé on lave le filtre en inversant le sens de l'écoulement de l'eau, le milieu filtrant est alors en expansion, et les particules d'impureté, beaucoup moins denses que les grains de sable, sont décollées et évacuées vers l'égout à l'aide des goulottes de lavage.

a. Description d'un filtre à sable :

Les principaux éléments d'un filtre à sable rapide sont : le fond de filtre, le gravier de support et le milieu filtrant.

- **Le fond de filtre :**

Le fond de filtre est la structure qui sépare le milieu filtrant de l'eau filtrée. Il doit donc être suffisamment solide pour supporter le milieu filtrant, il permet en outre :

- De collecter et d'évacuer les eaux filtrées ;
- De distribuer uniformément l'eau de lavage.

- **Gravier de support :**

Le gravier de support situé immédiatement au-dessus du fond de filtre, permet :

- De retenir le sable du milieu filtrant ;
- D'améliorer la répartition de l'eau de lavage dans le filtre.

L'épaisseur et les caractéristiques granulométriques de la couche de gravier de support dépendent des caractéristiques du fond de filtre et de celles du milieu filtrant.

- **Milieu filtrant :** les matériaux filtrants les plus utilisés sont les sables et l'antracite.

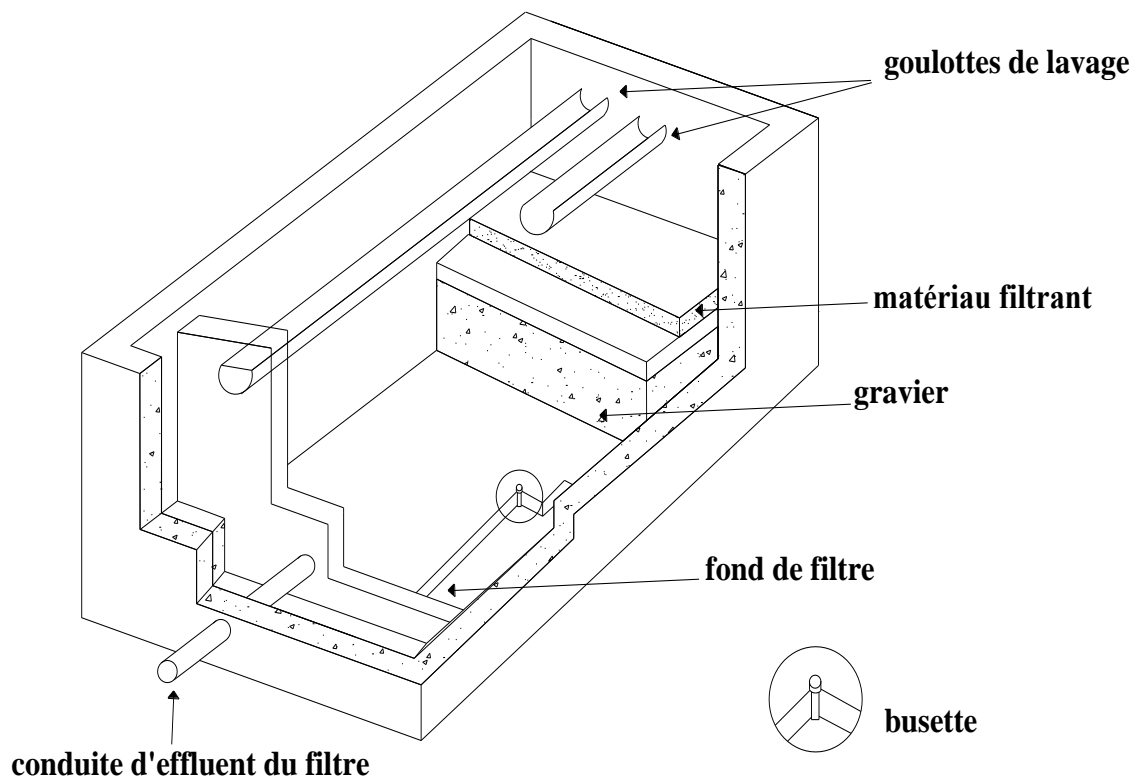


Figure IV-1 - Filtre à sable.

b. Lavage des filtres :

L'encrassement progressif des filtres entraîne une augmentation de la perte de charge. La durée des cycles de filtration est déterminée par la perte de charge admissible sur le filtre.

De même la vitesse de filtration est liée à la granulométrie et la perte de charge admise, conduisant à des cycles plus ou moins longs entre lavages. [10]

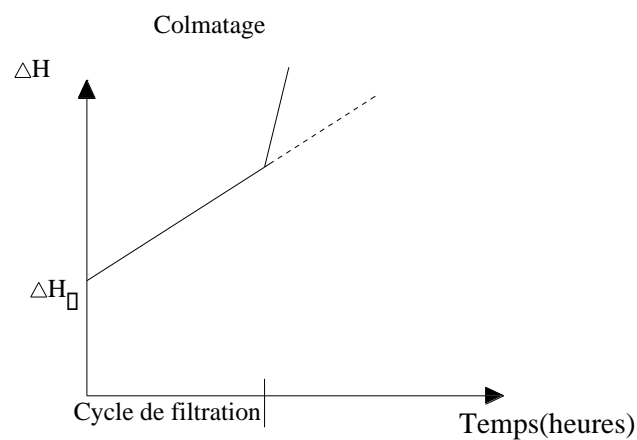


Figure IV -2- Perte de charge dans le milieu filtrant

Sans lavage adéquat, les passages préférentiels qui en découlent conduisent à la dégradation de la qualité du filtrat et au raccourcissement de la durée du cycle.

La meilleure façon d'y parvenir est de procéder à un lavage à contre-courant, par :

- Injection de l'air pour décoller les particules qui colmatent les pores du filtre ;
- Injection de l'eau et de l'air si les particules sont décollées ;
- Injection de l'eau de lavage, avec une vitesse de 38 m/h ou plus pour permettre de chasser convenablement les impuretés vers les goulottes et de reclasser le milieu filtrant.

IV-3-2-2-Calcul du filtre à sable :Données :

- Débit d'eau à traiter : 27000 m³/j
- Porosité du sable : $\varepsilon = 0,45$
- Diamètre des particules du sable : $\varnothing=0,9$ mm
- La vitesse de passage de l'eau à travers le filtre est de de 5 à 10 m/h ;
- Viscosité dynamique du fluide : $\eta = 1,026.10^{-3}$ kg/m.s
- Hauteur totale du lit filtrant (hauteur standard h=1,5 m)

Pour un bon rendement de filtration, on prévoit généralement de point de vue hauteur 2/3 de sable et 1/3 de gravier.

Choix de la vitesse :

La vitesse de passage doit être choisie de façon à ce que la perte de charge dans le filtre soit faible (<1 m).

IV-3-2-3-Calcul de la perte de charge :

Le modèle poreux de Kozeny Carmen permet de calculer la perte de charge à travers un lit de particules de porosité ε et d'un diamètre d_p , par la formule suivante : **[10]**

$$\Delta h = \frac{k.v.U.(1-\varepsilon)^2}{g.d_p^2.\varepsilon^3}$$

Δh : perte de charge à travers le milieu filtrant ;

k : constante de Kozeny Carmen (k=200) ;

η : viscosité dynamique de l'eau, elle est de $1,026.10^{-3}$ Kg/m.s ;

vitesse de passage de l'eau choisie (9m/h) ;

Avec : ν = viscosité cinématique de l'eau, $\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{1,026.10^{-3}}{10^3} = 1,026. 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

$$\Delta h = \frac{k.\nu.U.(1-\varepsilon)^2}{g.d_p^2.\varepsilon^3} = \frac{200.1,026.10^{-6}.9.(1-0,45)^2}{3600.9,81.(0,9.10^{-3})^2.0,45^3} = 0,21 \text{ m.}$$

$$\Delta h = 0,21 \text{ m} < 1 \text{ m (acceptable)}$$

IV-3-2-4-Calcul de la surface filtrante : Ω

$$\Omega = \frac{Q_T}{U} = \frac{27000}{9}$$

$$\Omega = 125 \text{ m}^2$$

On prend $n=6$ filtres, d'où la surface d'un filtre sera égale à :

$$S = \frac{\Omega}{n} = \frac{125}{6}$$

$$S = 20,83 \text{ m}^2$$

$$\text{On a } S = \frac{\Pi.D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4.S}{\Pi}}$$

$$\text{D'où } D = \sqrt{\frac{4.20,83}{3,14}} = 5,15 \approx 5 \text{ m}$$

$$D = 5 \text{ m}$$

IV-3-3-Microfiltration :

L'étape de microfiltration est nécessaire dans le but d'éliminer les particules de plus en plus fines jusqu'à 0,5 microns. Les filtres à cartouches sont appliqués pour la purification de l'eau le prétraitement pour les procédés à membranes.

Calcul des filtres à cartouches :

Ces filtres travaillent sous pression, il existe deux types de microfiltres ou filtres à cartouches :

- Cartouches consommables ;
- Cartouches régénérables (nettoyables).

Le filtre à cartouches choisi pour cette installation est de type consommable avec les caractéristiques suivantes :

- Diamètre : $D = 0,925$ m ;
- Surface effective de filtration : $S = 0,671$ m² ;
- Vitesse effective de filtration : $V = 230,56$ m³/j.m² ;
- Perte de charge: $\Delta P = 0,204$ bars.

Le débit par cartouche est :

$$Q_c = S.V = 0,671. 230,56$$

$$Q_c = 154,7 \text{ m}^3/\text{j}$$

Sachant que le débit à traiter est de 27 000 m³/j d'eau, donc le nombre de cartouches placées :

$$N_c = \frac{27000}{154,7} = 174,5, \text{ on prend } N_c = 175.$$

Le nombre de cartouches par filtre est :

$$N = \frac{N_c}{N_f}$$

- N_c : nombre de cartouche totale.

- N_f : nombre de filtre (8filtres).

$$N = \frac{175}{8} = 21,8$$

On prend : **N=22 cartouches par filtre.**

La perte de charge par filtre est :

$$\Delta P = 22 \cdot 0,204 = 4,48 \text{ bars.}$$

$$\Delta P = 4,48 \text{ bars.}$$

IV-3-4-La désinfection :

Cette étape a pour but de neutraliser tous les virus et bactéries pathogènes. Elle n'est efficace que si l'eau a été préalablement bien traitée. Bien que les eaux souterraines soient souvent naturellement exemptes de microorganismes, la désinfection prévient le risque d'une contamination par infiltration dans la ressource et dans le réseau.

Elle peut être effectuée :

- par des procédés chimiques : oxydation chimique avec des agents chlorés (chlore gazeux, eau de Javel, bioxyde de chlore) et ozone, ou rayonnements ultraviolets,
- par des procédés physiques comme la filtration sur membranes. [4]

IV-4 Dimensionnement des lignes d'osmose inverse :

Les perméateurs B9 sont utilisés, car ils présentent une stabilité chimique et biologique satisfaisante.

Ces perméateurs ont un débit de production Q_{wi} établi sous les conditions standards de fonctionnement préconisées par le constructeur Dupont. [9]

Les conditions du B9 :

- Débit spécifique d'alimentation :

$$Q_{w0} = 17000 \text{ GPD} = 11,81 \text{ GPM} = 64,35 \text{ m}^3/\text{j}.$$

Avec :

$$\text{GPD} : \text{gallon par jour et } 1 \text{ m}^3/\text{j} = 264,2 \text{ GPD}$$

GPM : gallon par minute ;

- Diamètre : 8 inchs=20,32 cm, avec 1 inch=2,54cm ;
- Concentration de l'eau d'alimentation en NaCl : $C_{F0} = 1500 \text{ ppm}$;
- Pression de fonctionnement : $P_F = 400 \text{ psi} = 27,2 \text{ atm}$

Avec : 1 psi = 0,068 atm, 1 atm = 10^5 Pa ;

- Température d'alimentation : $T = 25^\circ \text{C}$;
- Taux de conversion : $Y = 75\%$;
- Taux de passage de sels : $SP_0 < 10\%$.

IV-4-1- Facteurs influençant le dimensionnement :

Pour concevoir une installation avec un perméateur B9, les conditions de fonctionnement sont différentes des conditions standards, de ce fait quelques corrections s'imposent.

Le débit initial de production est donné par la relation suivante :

$$Q_{wi0} = K_{wi0} (\Delta P_0 - \Delta \Pi_0)$$

Avec :

Q_{wi0} : Débit initial à travers la membrane ;

K_{wi0} : Perméabilité initiale de la membrane ;

ΔP_0 : Différence de pression à travers la membrane ;

$\Delta \Pi_0$: Différence de pression osmotique.

$$\Delta P = P_{FR} - P_p$$

$$P_{FR} = \frac{P_F + P_R}{2} = P_{F\text{ abs}} - \frac{\Delta P_{FR}}{2}$$

Où :

$P_{F\text{ abs}}$: Pression absolue de l'alimentation (psi) ;

P_p : Pression de l'eau produite (psi) ;

P_{FR} : Pression moyenne de l'eau dans le module (psi) ;

ΔP_{FR} : Perte de charge à travers le module ;

$$\Delta P_{FR} = P_{F\text{ abs}} - P_R$$

Avec :

P_R : pression du rejet (psi).

Connaissant le débit initial Q_{wi0} , il est possible de calculer la perméabilité de la membrane dans des conditions différentes des conditions standards, par la relation suivante :

$$K_{w0} = \frac{Q_{wi}}{\Delta P - \Delta \Pi}$$

On pose :

$$K'_{w0} = \frac{1}{\Delta P - \Delta \Pi}$$

K'_{w0} : facteur de pression aux conditions standards (psi).

La pression osmotique Π peut être calculée à partir des deux équations suivantes :

$$\Pi = 1,12 (T + 273) \sum m_i \text{ (psi)}$$

$$\Pi = \frac{0,0385.C.(T + 273)}{1000 - \frac{C}{1000}}$$

Où : T : température en ( C) ;

m_i : molalité du soluté i en (moles/1000 gr de H₂O) ;

C : concentration en (ppm NaCl) ;

$\Delta\Pi$: La différence de pression osmotique entre les solutions concentrées et diluées de part et d'autre de la membrane, elle est prise égale à la pression osmotique moyenne.

$$\Delta\Pi = \Pi_{FR} = \frac{0,0385.C_{FR}.(T + 273)}{1000 - \frac{C_{FR}}{1000}}$$

Avec :
$$C_{FR} = \frac{C_F + C_R}{2}$$

Et :
$$C_R = \frac{C_F - YC_P}{1 - Y}$$

Où :

C_F : Concentration en sels dans l'eau d'alimentation (ppm NaCl) ;

C_R : Concentration en sels dans l'eau de rejet en (ppm NaCl) ;

Y : Taux de conversion ;

C_p : Concentration en sels dans l'eau produite ;

Si on estime que dans la production $C_p \approx 0$ (SP < 10%).

$$\Rightarrow C_R = \frac{C_F}{1 - Y}$$

• Pour le module B9, aux conditions standards :

$P_F = 400$ psi ;

$$\Delta P_{FR0} = 6 \text{ psi.} \Rightarrow \frac{\Delta P_{FR0}}{2} = 3 \text{ psi.}$$

$$\Delta P_0 = P_{F0} - \frac{\Delta P_{FR0}}{2} = 400 - 3 = 397 \text{ psi.}$$

- Concentration en sels du rejet :

$$C_{R0} = \frac{C_{F0}}{1 - Y_0} = \frac{1500}{1 - 0,75}$$

$C_{R0} = 6000$ ppm NaCl
--

- Concentration moyenne entre l'alimentation et le rejet :

$$C_{FR0} = \frac{C_{F0} + C_{R0}}{2} = \frac{1500 + 6000}{2}$$

C_{FR0}=3750 ppm Nacl

$$\Delta\Pi_0 = \Pi_{FR} = \frac{0,0385 \cdot C_{FR0} \cdot (T + 273)}{1000 - \frac{C_{FR0}}{1000}} = \frac{0,0385 \cdot 3750 \cdot (25 + 273)}{1000 - \frac{3750}{1000}}$$

ΔΠ₀=43,19 psi

$$K'_{w0} = \frac{1}{\Delta P_0 - \Delta\Pi_0} = \frac{1}{397 - 43,19}$$

K'_{w0}=0,00283 psi⁻¹

En utilisant K'_{w0} = 0,00283 psi⁻¹, on peut calculer le facteur de correction de la production des modules, donné par la formule :

$$PCF = K'_{w0} (\Delta P - \Delta\Pi) = K'_{w0} (\Delta P - \Pi_{FR})$$

Tel que :

$$\Delta P = P_F - \frac{\Delta P_{FR}}{2}$$

$$PCF = K'_{w0} \left(P_F - \frac{\Delta P_{FR}}{2} - \Pi_{FR} \right)$$

PCF : facteur de correction de la production pour obtenir une productivité du perméateur aux conditions de travail. Un autre facteur est pris en considération, c'est le coefficient de correction du flux de rétention de la membrane : MFRC, qui varie linéairement avec la pression pour une durée de vie donnée. (tableau n°1, annexe)

Et enfin le facteur correctif du débit de production est dû à l'effet de la température sur la productivité du perméateur (TCF), défini comme suit :

$$\text{TCF} = \frac{Q_w(T)}{Q_w(25^\circ\text{C})} = 1,03^{(T-25)}$$

Où :

TCF : facteur de correction dû à la température;

$Q_w(T)$: débit de l'eau à la température ambiante ;

$Q_w(25)$: débit de l'eau à 25°C.

D'où le débit corrigé :

$Q_p = \text{PCF} \cdot \text{TCF} \cdot \text{MFRC} \cdot Q_{wi0}$

IV-4-2-Emplacement des perméateurs B9 dans l'installation :

Dans le cas des eaux saumâtres et pour augmenter le taux de conversion, on utilise la configuration série-rejet, c'est-à-dire le rejet du 1^{er} étage alimente les modules du second étage.

La pression d'alimentation du 2^{ème} étage est plus faible, du fait de la perte de charge à travers les perméateurs et les interconnexions (P_{BAL}).

Pour cette raison, le débit minimum du rejet et la conversion voulue sont obtenus de telle :

$$P_{F2} = P_{F1} - \Delta P_{FR1} - P_{BAL}$$

$\Delta P_{BAL} = 35$ psi/module: perte de pression due aux raccords hydrauliques.

IV-4-3- Caractéristiques de l'eau brute d'EL hadeb:

Pour le dimensionnement de l'unité de déminéralisation, nous avons calculé les molalités des différents ions dissous à partir de leurs concentrations moyennes dans les trois forages.

La molalité est déterminée par la relation suivante :

$$m_i = \frac{C_i \cdot 10^3}{M_i \cdot (10^6 - TDS)}$$

Avec :

C_i : Concentration de l'ion i (mg/l) ;

M_i : Masse molaire de l'ion i (g) ;

TDS : Total des sels dissous (mg/l), $TDS = \sum C_i$.

Les résultats sont récapitulés sur le tableau IV-2:

Tableau IV-2 : résultats des analyses de l'eau des 3 forages. [3]

Elément chimique	Concentration moyenne des ions (ppm)	Molalité m_i en mole/1000 gr d'eau.10⁻³
Ca ²⁺	178	4,46
Mg ²⁺	97	4
Na ⁺	150	6,53
K ⁺	35	0,9
Cl ⁻	399	11,42
SO ₄ ²⁻	480	5
CO ₃ ⁻	5	0,08
HCO ₃ ⁻	162	2,66
Total	Salinit�=1506	$\sum m_i=35,05$

- Calcul de la concentration de l'eau d'alimentation en ppm NaCl :

$$\Pi = 1,12 (T + 273) \sum m_i \text{ en (psi)} \quad (\text{I})$$

$$\Pi = \frac{0,0385 \cdot C_F \cdot (T + 273)}{1000 - \frac{C_F}{1000}} \quad (\text{II})$$

En égalisant (I) et (II), on peut calculer C_F :

$$C_F = \frac{1,12 \cdot m_T \cdot 10^6}{38,5 + 1,12 \cdot m_T}$$

D'où :

$$C_F = \frac{1,12 \cdot 35,05 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6}{38,5 + 1,12 \cdot 35,05 \cdot 10^{-3}}$$

$C_F = 1018,6 \text{ ppm NaCl}$

IV-4-4- Calcul du nombre de perméateurs :

Un taux de conversion de 75 % pour une concentration de l'eau d'alimentation de 1018,6 ppm NaCl, à une température de 30°C. La perte de charge moyenne $\Delta P_{FR} = 6 \text{ psi}$.

$\frac{\Delta P_{FR}}{2} = 3 \text{ psi}$ par module ou perméateur. Nous admettons 2 étages, chaque étage fonctionne

avec un taux de conversion de 50 %.

- **Etage 1 :**

-Pression d'alimentation :

$$P_{F1} = 400 \text{ psi}$$

-Concentration de l'eau d'alimentation : avec $Y_1 = 50\%$

$C_{F1} = 1018,6 \text{ ppm NaCl}$
--

- Concentration en sels du rejet :

$$C_{R1} = \frac{C_{F1}}{1 - Y_1} = \frac{C_{F1}}{1 - 0,5}$$

$$C_{R1} = 2037,2 \text{ ppm NaCl}$$

- Concentration moyenne entre l'alimentation et le rejet :

$$C_{FR1} = \frac{C_{F1} + C_{R1}}{2} = \frac{C_{F1} + C_{R1}}{2}$$

$$C_{FR1} = 1527,9 \text{ ppm NaCl}$$

- Pression osmotique de l'alimentation :

$$\Pi_{F1} = 8,308 \cdot 0,9 \cdot (T + 273) \cdot \sum m_{i1}$$

$$\Pi_{F1} = 8,308 \cdot 0,9 \cdot (30 + 273) \cdot 35,05 \cdot 10^{-3}$$

$$\Pi_{F1} = 79,41 \text{ kpa}$$

- Pression osmotique de production :

$$\Pi_{p1} = 0,01 \cdot \Pi_{F1} = 0,01 \cdot 79,41$$

$$\Pi_{p1} = 0,794 \text{ kpa}$$

- Pression osmotique moyenne entre l'alimentation et le rejet :

$$\Pi_{FR1} = \frac{0,0385 \cdot C_{FR1} \cdot (T + 273)}{1000 - \frac{C_{FR1}}{1000}} = \frac{0,0385 \cdot 1527,9 \cdot (30 + 273)}{1000 - \frac{1527,9}{1000}}$$

$$\Pi_{FR1} = 17,85 \text{ psi}$$

- **Facteur de correction de la production :**

$$PCF_1 = K'_{wi0} \left(P_{F1} - \frac{\Delta P_{FR0}}{2} - \Pi_{FR1} \right) = 0,00283(400 - 3 - 17,85)$$

$$PCF_1 = 1,07$$

- **Facteur de correction du flux de rétention de la membrane :**

MFRC₁ = 0,73   400 psi, 30 C et 3 ans de vie de la membrane, (tableau n 1, annexe).

- **Facteur de correction de la température :**

$$TCF = 1,03^{(T-25)} = 1,03^{(30-25)}$$

$$TCF = 1,16$$

- **Débit de production :**

$$Q_{P1} = PCF_1 \cdot TCF \cdot MFRC_1 \cdot Q_{wi0}$$

$$= 1,07 \cdot 1,16 \cdot 0,73 \cdot 11,81$$

$$Q_{P1} = 10,70 \text{ GPM}$$

- **Débit d'alimentation :**

$$Q_{F1} = \frac{Q_{P1}}{Y_1} = \frac{10,70}{0,5}$$

$$Q_{F1} = 21,4 \text{ GPM}$$

- **Débit de rejet :**

$$Q_{R1} = Q_{F1} - Q_{P1} = 21,4 - 10,7$$

$$Q_{R1} = 10,7 \text{ GPM}$$

- Débit moyen entre l'alimentation et le rejet :

$$Q_{FR1} = \frac{Q_{F1} + Q_{R1}}{2} = \frac{21,4 + 10,7}{2}$$

$$Q_{FR1} = 16,05 \text{ GPM}$$

- Facteur de correction du passage de sels :

$$SPCF_1 = \frac{C_{F0} \cdot C_{FR1}}{PCF_1 \cdot C_{F1} \cdot C_{FR0}} = \frac{1500 \cdot 1527,6}{1,07 \cdot 1018 \cdot 6.3750}$$

$$SPCF_1 = 0,56$$

- Taux de passage de sels :

$$SP_1 = SP_0 \cdot SPCF_1 = 0,1 \cdot 0,56$$

$$SP_1 = 0,056 = 5,6 \%$$

- Les solides totaux dissous de la production :

$$TDSP_1 = SP_1 \cdot TDS_0 = 0,056 \cdot 1506$$

$$TDSP_1 = 84,34 \text{ mg/l}$$

- Les solides totaux dissous du rejet :

$$TDSR_1 = (1 - SP_1) \cdot TDS_0 = (1 - 0,056) \cdot 1506$$

$$TDSR_1 = 1421,66 \text{ mg/l}$$

- Perte de charge à travers le perméateur :

La valeur de la perte de charge ΔP_{FR1} est lue sur la (figure n°1, annexe) par la projection de la valeur de $Q_{FR1} = 16,05 \text{ GPM}$.

$$\Delta P_{FR1} = 10,6 \text{ psi}$$

- **Etage 2 :**

- **Concentration de l'eau d'alimentation : avec $Y_2=50\%$**

$$C_{F2}=C_{R1}= 2037,2 \text{ ppm NaCl}$$

- **Pression d'alimentation :**

$$P_{F2}= P_{F1}- \Delta P_{FR1}- P_{BAL}= 400- 10,6 - 35$$

$$P_{F2}= 354,4 \text{ psi}$$

- **Concentration en sels du rejet :**

$$C_{R2} = \frac{C_{F2}}{1 - Y_2} = \frac{2037,2}{1 - 0,5}$$

$$C_{R2}= 4074,4 \text{ ppm NaCl}$$

- **Concentration moyenne entre l'alimentation et le rejet :**

$$C_{FR2} = \frac{C_{F2} + C_{R2}}{2} = \frac{2037,2 + 4074,4}{2}$$

$$C_{FR2}= 3055,8 \text{ ppm NaCl}$$

- **Pression osmotique de l'alimentation :**

$$\Pi_{F2}=8,308.0,9. (T+273). \Sigma m_{i2}$$

Tel que : $\Sigma m_{i2}= SP_1. \Sigma m_{i1}=0,056. 35,05.10^{-3}= 0,00196 \text{ mole/1000 gr d'eau.}$

$$\Pi_{F2}=8,308.0,9. (30+273). 0,00196$$

$$\Pi_{F2}=4,44 \text{ kpa}$$

- **Pression osmotique de production :**

$$\Pi_{p2}=0,01. \Pi_{F2}=0,01. 4,44$$

$$\Pi_{p2}= 0,0444 \text{ kpa}$$

- **Pression osmotique moyenne entre l'alimentation et le rejet :**

$$\Pi_{FR2} = \frac{0,0385.C_{FR2} \cdot (T + 273)}{1000 - \frac{C_{FR2}}{1000}} = \frac{0,0385.3055,8 \cdot (30 + 273)}{1000 - \frac{3055,8}{1000}}$$

$$\Pi_{FR2}=35,76 \text{ psi}$$

- **Facteur de correction de la production :**

$$PCF_2 = K'_{wi0} \left(P_{F2} - \frac{\Delta P_{FR1}}{2} - \Pi_{FR2} \right) = 0,00283 \left(354,4 - \frac{10,6}{2} - 35,76 \right)$$

$$PCF_2= 0,89$$

- **Facteur de correction du flux de rétention de la membrane :**

MFRC₂= 0,755 à 354,4 psi, 30°C et 3 ans de vie de la membrane, (tableau n°1, annexe).

- **Débit de production :**

$$Q_{P2} = PCF_2 \cdot TCF \cdot MFRC_2 \cdot Q_{wi0}$$

$$= 0,89 \cdot 1,16 \cdot 0,755 \cdot 11,81$$

$$Q_{P2}= 9,2 \text{ GPM}$$

- Débit d'alimentation :

$$Q_{F2} = \frac{Q_{P2}}{Y_2} = \frac{9,2}{0,5}$$

$$Q_{F2} = 18,4 \text{ GPM}$$

- Débit de rejet :

$$Q_{R2} = Q_{F2} - Q_{P2} = 18,4 - 9,2$$

$$Q_{R2} = 9,2 \text{ GPM}$$

- Débit moyen entre l'alimentation et le rejet :

$$Q_{FR2} = \frac{Q_{F2} + Q_{R2}}{2} = \frac{18,4 + 9,2}{2}$$

$$Q_{FR2} = 13,8 \text{ GPM}$$

- Facteur de correction du passage de sels :

$$SPCF_2 = \frac{C_{F0} \cdot C_{FR2}}{PCF_2 \cdot C_{F2} \cdot C_{FR0}} = \frac{1500 \cdot 3055,8}{0,89 \cdot 2037,2 \cdot 3750}$$

$$SPCF_2 = 0,67$$

- Taux de passage de sels :

$$SP_2 = SP_0 \cdot SPCF_2 = 0,1 \cdot 0,67$$

$$SP_2 = 0,067 = 6,7 \%$$

- Les solides totaux dissous de la production :

$$TDSP_2 = SP_2 \cdot TDSP_1 = 0,067 \cdot 84,34$$

$$TDSP_2 = 5,65 \text{ mg/l}$$

- Les solides totaux dissous du rejet :

$$\text{TDSR}_2 = (1 - \text{SP}_2) \cdot \text{TDS}_{\text{P}_1} = (1 - 0,067) \cdot 84,34$$

TDSR₂ = 78,69 mg/l

- Perte de charge à travers le perméateur :

On a $Q_{\text{FR}2} = 13,8$ GPM, on tire $\Delta P_{\text{FR}2}$ à partir de la (figure n°1, annexe)

$\Delta P_{\text{FR}2} = 9,4$ psi

IV-4-5- Calcul des conversions :

On utilise plusieurs arrangements afin de déterminer les taux de conversion ainsi que les débits de production optimum :

- Arrangement 2/1 ;
- Arrangement 3/2 ;
- Arrangement 5/3.

IV-4-5-1- Arrangement 2/1 :

- Etage 1 : $2Q_{\text{p}1} = 2 \cdot 10,7 = 21,4$ GPM.
- Etage 2 : $1Q_{\text{p}2} = 1 \cdot 9,2 = 9,2$ GPM.

Donc $Q_{\text{PT}} = 21,4 + 9,2$

$Q_{\text{PT}} = 30,6$ GPM
--

Avec un taux de conversion de 75%, le débit d'alimentation est :

$$Q_{FT} = \frac{Q_{PT}}{Y_T} = \frac{30,6}{0,75}$$

$Q_{FT} = 40,8 \text{ GPM}$

- $Y_1 = \frac{21,4}{40,8} \cdot 100 \Rightarrow Y_1 = 52,45 \%$
- $Y_2 = \frac{9,2}{40,8 - 21,4} \cdot 100 \Rightarrow Y_2 = 47,42\%$

a. Calcul des capacités corrigées en utilisant les nouvelles conversions :

Etage 1 :

- $P_{F1} = 400 \text{ psi}$
- $C_{F1} = 1018,6 \text{ ppm NaCl}$ avec $Y_1 = 52,45 \%$
- $C_{R1} = 2142,17 \text{ ppm NaCl}$
- $C_{FR1} = 1580,39 \text{ ppm NaCl}$
- $\Pi_{FR1} = 18,46 \text{ psi}$
- $PCF_1 = 1,07$
- $MFRC_1 = 0,73$
- $Q_{P1} = 10,70 \text{ GPM}$
- $Q_{F1} = 20,4 \text{ GPM}$
- $Q_{R1} = 9,7 \text{ GPM}$
- $Q_{FR1} = 15,05 \text{ GPM}$
- $SPCF_1 = 0,58$
- $SP_1 = 0,058 = 5,8 \%$
- $\Delta P_{FR1} = 10,1 \text{ psi}$

Etage 2 :

- $P_{F2} = 354,9$ psi
- $C_{F2} = C_{R1} = 2142,17$ ppm NaCl avec $Y_2 = 47,42$ %
- $C_{R2} = 4074,12$ ppm NaCl
- $C_{FR2} = 3108,15$ ppm NaCl
- $\Pi_{FR2} = 36,37$ psi
- $PCF_2 = 0,89$
- $MFRC_2 = 0,755$
- $Q_{P2} = 9,2$ GPM
- $Q_{F2} = 19,40$ GPM
- $Q_{R2} = 10,2$ GPM
- $Q_{FR2} = 14,8$ GPM
- $SPCF_2 = 0,65$
- $SP_2 = 0,065 = 6,5$ %
- $\Delta P_{FR2} = 10,00$ psi

b. Calcul des nouvelles conversions :

- Etage 1 : $2Q_{p1} = 2 \cdot 10,7 = 21,4$ GPM.
- Etage 2 : $1Q_{p2} = 1 \cdot 9,2 = 9,2$ GPM.

Donc $Q_{PT} = 21,4 + 9,2$

$Q_{PT} = 30,6$ GPM

Avec un taux de conversion de 75%, le débit d'alimentation est :

$$Q_{FT} = \frac{Q_T}{Y_T} = \frac{30,6}{0,75}$$

$Q_{FT} = 40,8 \text{ GPM}$

- $Y_1 = \frac{21,4}{40,8} \cdot 100 \Rightarrow Y_1 = 52,45 \% = 52,45 \% \text{ avec, } \Delta Y_1 = 0 \% < 1\%$
- $Y_2 = \frac{9,2}{40,8 - 21,4} \cdot 100 \Rightarrow Y_2 = 47,42\% = 47,42\%, \text{ avec } \Delta Y_1 = 0 \% < 1\%$

Les résultats sont en bon accord avec les premiers.

c. Calcul du débit spécifique du perméateur à la production :

$$Q_{sp} = \frac{Q_T}{3} = \frac{30,6}{3}$$

$$\begin{aligned} Q_{sp} &= 10,2 \text{ GPM/perméateur} \\ &= 14682,47 \text{ GPD/perméateur} \end{aligned}$$

d. Calcul du nombre de perméateurs total de l'installation :

$$N_T = \frac{Q_{PT}}{Q_{sp}}$$

Tel que :

Q_{PT} = débit total de production,

Q_{PT} = débit d'eau brute \times conversion totale

$$Q_{PT} = 27000 \times 0,75 \times 264,2$$

$$Q_{PT} = 5350050 \text{ GPD.}$$

D'où :

$$N_T = \frac{5350050}{1468247} = 359,9 = \mathbf{360 \text{ perméateurs.}}$$

e. Calcul du nombre de perméateurs dans chaque ligne :

On choisit 3 lignes, dont chacune comporte un nombre de perméateurs n, tel que :

$$n = \frac{N_T}{3} = 120 \text{ perméateurs.}$$

f. Calcul de la disposition par étage :

- Etage 1 : $120 \cdot \frac{2}{3} = 80$ perméateurs.
- Etage 2 : $120 - 80 = 40$ perméateurs.

g. Calcul du débit de production en m³/j :

- Etage 1 : $Q_{p1} = \frac{10,7 \cdot 80 \cdot 60 \cdot 24}{264,2} = 4665,56 \text{ m}^3/\text{j}$
- Etage 2 : $Q_{p2} = \frac{9,2 \cdot 40 \cdot 60 \cdot 24}{264,2} = 2071,16 \text{ m}^3/\text{j}$

Le débit de production d'une ligne est :

$$Q_{pt} = 4665,56 + 2071,16$$

$Q_{pt} = 6736,72 \text{ m}^3/\text{j}$

Le débit de production de l'installation d'osmose inverse pour la disposition 2/1 est :

$$Q_{PT} = 3 \cdot 6736,72 = 20\ 210,16 \text{ m}^3/\text{j}$$

h. Calcul du débit de rejet :

$$Q_{RT} = \frac{10,2 \cdot 40 \cdot 60 \cdot 24}{264,2} \cdot 3 = 6671,31 \text{ m}^3/\text{j}$$

$Q_{RT} = 6671,31 \text{ m}^3/\text{j}$

i. Calcul de la conversion totale :

$$Y_T = \frac{Q_{PT}}{Q_{PT} + Q_{RT}} = \frac{20210,16}{20210,16 + 6671,31} \cdot 100$$

$$Y_T = 75,18\%$$

IV-4-5-2- Arrangement 3/2 :

- Etage 1 : $3Q_{p1} = 3 \cdot 10,7 = 32,1$ GPM.
- Etage 2 : $2Q_{p2} = 2 \cdot 9,2 = 18,4$ GPM.

Donc $Q_{PT} = 32,1 + 18,4$

$$Q_{PT} = 50,5 \text{ GPM}$$

Avec un taux de conversion de 75%, le débit d'alimentation est :

$$Q_{FT} = \frac{Q_{PT}}{Y_T} = \frac{50,5}{0,75}$$

$$Q_{FT} = 67,33 \text{ GPM}$$

- $Y_1 = \frac{32,1}{67,33} \cdot 100 \Rightarrow Y_1 = 47,68\%$
- $Y_2 = \frac{18,4}{67,33 - 32,1} \cdot 100 \Rightarrow Y_2 = 52,23 \%$

a. Calcul des capacités corrigées en utilisant les nouvelles conversions :**Etage 1 :**

- $C_{F1} = 1018,6 \text{ ppm NaCl}$ avec $Y_1 = 47,68 \%$
- $C_{R1} = 1946,87 \text{ ppm NaCl}$
- $C_{FR1} = 1482,74 \text{ ppm NaCl}$
- $\Pi_{FR1} = 17,32 \text{ psi}$
- $PCF_1 = 1,07$
- $MFRC_1 = 0,73$
- $Q_{P1} = 10,70 \text{ GPM}$
- $Q_{F1} = 22,44 \text{ GPM}$
- $Q_{R1} = 11,74 \text{ GPM}$
- $Q_{FR1} = 17,09 \text{ GPM}$
- $SPCF_1 = 0,54$
- $SP_1 = 0,054 = 5,4 \%$
- $\Delta P_{FR1} = 11,2 \text{ psi}$

Etage 2 :

- $P_{F2} = 353,8$
- $C_{F2} = C_{R1} = 1946,87 \text{ ppm NaCl}$ avec $Y_2 = 52,23\%$
- $C_{R2} = 4075,51 \text{ ppm NaCl}$
- $C_{FR2} = 3011,19 \text{ ppm NaCl}$
- $\Pi_{FR2} = 35,23 \text{ psi}$
- $PCF_2 = 0,89$

- MFRC₂= 0,761
- Q_{P2}= 9,28 GPM
- Q_{F2}= 17,77 GPM
- Q_{R2}= 8,49 GPM
- Q_{FR2}= 13,13 GPM
- SPCF₂= 0,70
- SP₂= 0,070= 7 %
- ΔP_{FR2}= 9,2 psi

b. Calcul des nouvelles conversions :

- Etage 1 : 3Q_{p1}= 3. 10,7 =32,1 GPM.
- Etage 2 : 2Q_{p2}= 2.9,28=18,56 GPM.

Donc Q_{PT}=32,1+18,56

Q_{PT}= 50,66 GPM

Avec un taux de conversion de 75%, le débit d'alimentation est :

$$Q_{FT} = \frac{Q_T}{Y_T} = \frac{50,66}{0,75}$$

Q_{FT}= 67,55 GPM

- $Y_1 = \frac{32,1}{67,55} \cdot 100 \Rightarrow Y_1 = 47,52 \% \neq 47,68 \% \text{ avec } \Delta Y_1 = 0,16 \% < 1\%$
- $Y_2 = \frac{18,56}{67,55 - 32,1} \cdot 100 \Rightarrow Y_2 = 52,36 \% \neq 52,23 \% \text{ avec } \Delta Y_1 = 0,13 \% < 1\%$

Donc les résultats sont en bon accord avec les premiers.

c. Calcul du débit spécifique du perméateur à la production :

$$Q_{sp} = \frac{Q_T}{5} = \frac{50,66}{5}$$

$$Q_{sp} = 10,13 \text{ GPM/perméateur}$$

$$= 14581,71 \text{ GPD/perméateur}$$

d. Calcul du nombre de perméateurs total de l'installation :

$$N_T = \frac{Q_{PT}}{Q_{sp}}$$

Tel que :

Q_{PT} = débit total de production,

Q_{PT} = débit d'eau brute \times conversion totale

$$Q_{PT} = 27000 \times 0,75 \times 264,2$$

$$Q_{PT} = 5350050 \text{ GPD.}$$

D'où :

$$N_T = \frac{5350050}{14581,7} = 366,9 = 367 \text{ perméateurs.}$$

e. Calcul du nombre de perméateurs dans chaque ligne :

On choisit 3 lignes, dont chacune comporte un nombre de perméateurs n , tel que :

$$n = \frac{N_T}{3} = 122,3 = 122 \text{ perméateurs.}$$

f. Calcul de la disposition par étage :

- Etage 1 : $122 \cdot \frac{3}{6} = 61$ perméateurs.

- Etage 2 : 122-61 =61 perméateurs.

g. Calcul du débit de production en m³/j :

- Etage 1 : $Q_{p1} = \frac{10,7.61.60.24}{264,2} = 3616,78 \text{ m}^3/\text{j}$

- Etage 2 : $Q_{p2} = \frac{9,28.61.60.24}{264,2} = 3085,37 \text{ m}^3/\text{j}$

Le débit de production d'une ligne est :

$$Q_{pt} = 3616,78 + 3085,37$$

$$Q_{pt} = 6702,15 \text{ m}^3/\text{j}$$

Le débit de production de l'installation d'osmose inverse pour la disposition 3/2 est :

$$Q_{pT} = 3. 6702,15 = 20106,45 \text{ m}^3/\text{j}$$

h. Calcul du débit de rejet :

$$Q_{RT} = \frac{8,49.61.60.24}{264,2} .3 = 8468,15 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{RT} = 8468,15 \text{ m}^3/\text{j}$$

i. Calcul de la conversion totale :

$$Y_T = \frac{Q_{PT}}{Q_{PT} + Q_{RT}} = \frac{20106,45}{20106,45 + 8468,15} .100$$

$$Y_T = 70,36 \%$$

IV-4-5-3- Arrangement 5/3 :

- Etage 1 : $5Q_{p1}=5.10,7= 53,5\text{GPM}$.
- Etage 2 : $3Q_{p2}=3.9,2= 27,6 \text{ GPM}$.

Donc $Q_{PT}=53,5+27,6$

$Q_{PT}= 81,1 \text{ GPM}$
--

Avec un taux de conversion de 75%, le débit d'alimentation est :

$$Q_{FT} = \frac{Q_{PT}}{Y_T} = \frac{81,1}{0,75}$$

$Q_{FT}= 108,13 \text{ GPM}$
--

- $Y_1 = \frac{53,5}{108,13} .100 \Rightarrow Y_1 = 49,48 \%$
- $Y_2 = \frac{27,6}{108,13 - 53,5} .100 \Rightarrow Y_2 = 50,52 \%$

a. Calcul des capacités corrigées en utilisant les nouvelles conversions :**Etage 1 :**

- $C_{F1} = 1018,6\text{ppm NaCl}$ avec $Y_1=49,48\%$
- $C_{R1} = 2016,23\text{ppm NaCl}$
- $C_{FR1} = 1517,42 \text{ ppm NaCl}$
- $\Pi_{FR1} = 17,73\text{psi}$

- $PCF_1 = 1,07$
- $MFRC_1 = 0,73$
- $Q_{P1} = 10,7 \text{ GPM}$
- $Q_{F1} = 21,62 \text{ GPM}$
- $Q_{R1} = 10,92 \text{ GPM}$
- $Q_{FR1} = 16,27 \text{ GPM}$
- $SPCF_1 = 0,56$
- $SP_1 = 0,056 = 5,6 \%$
- $\Delta P_{FR1} = 10,2 \text{ psi}$

Etage 2 :

- $P_{F2} = 354,8 \text{ psi}$
- $C_{F2} = C_{R1} = 2016,23 \text{ ppm NaCl}$ avec $Y_2 = 50,52 \%$
- $C_{R2} = 4074,84 \text{ ppm NaCl}$
- $C_{FR2} = 3045,54 \text{ ppm NaCl}$
- $\Pi_{FR2} = 35,64 \text{ psi}$
- $PCF_2 = 0,88$
- $MFRC_2 = 0,755$
- $Q_{P2} = 9,1 \text{ GPM}$
- $Q_{F2} = 18,01 \text{ GPM}$
- $Q_{R2} = 8,91 \text{ GPM}$
- $Q_{FR2} = 13,46 \text{ GPM}$
- $SPCF_2 = 0,68$
- $SP_2 = 0,068 = 6,8 \%$

$$- \Delta P_{FR2} = 9,3 \text{ psi}$$

b. Calcul des nouvelles conversions :

$$- \text{Etage 1 : } 5Q_{p1} = 5 \cdot 10,7 = 53,5 \text{ GPM.}$$

$$- \text{Etage 2 : } 3Q_{p2} = 3 \cdot 9,10 = 27,3 \text{ GPM.}$$

$$\text{Donc } Q_{PT} = 53,5 + 27,3$$

$$Q_{PT} = 80,8 \text{ GPM}$$

Avec un taux de conversion de 75%, le débit d'alimentation est :

$$Q_{FT} = \frac{Q_{PT}}{Y_T} = \frac{80,8}{0,75}$$

$$Q_{PT} = 107,73 \text{ GPM}$$

$$Y_1 = \frac{53,5}{107,73} \cdot 100 \Rightarrow Y_1 = 49,66 \% \neq 49,48\% \text{ avec } \Delta Y_1 = 0,18\% < 1\%$$

$$Y_2 = \frac{27,3}{107,73 - 53,5} \cdot 100 \Rightarrow Y_2 = 50,34 \% \neq 50,52 \% \text{ avec } \Delta Y_1 = 0,18 \% < 1\%$$

Donc les résultats sont en bon accord avec les premiers.

c. Calcul du débit spécifique du perméateur à la production :

$$Q_{sp} = \frac{Q_T}{8} = \frac{80,8}{8}$$

$$Q_{sp} = 10,1 \text{ GPM/perméateur}$$

$$=14538,53 \text{ GPD/perméateur}$$

d. Calcul du nombre de perméateurs total de l'installation :

$$N_T = \frac{Q_{PT}}{Q_{sp}}$$

Tel que :

Q_{PT} = débit total de production,

Q_{PT} = débit d'eau brute \times conversion totale

$$Q_{PT} = 27000 \times 0,75 \times 264,2$$

$$Q_{PT} = 5350050 \text{ GPD.}$$

D'où :

$$N_T = \frac{5350050}{14538,53} = 367,9 = \mathbf{368 \text{ perméateurs.}}$$

e. Calcul du nombre de perméateurs dans chaque ligne :

On choisit 3 lignes, dont chacune comporte un nombre de perméateurs n, tel que :

$$n = \frac{N_T}{3} = 122,6 = 123 \text{ perméateurs.}$$

f. Calcul de la disposition par étage :

- Etage 1 : $123 \cdot \frac{5}{8} = 77$ perméateurs.

- Etage 2 : $123 - 77 = 46$ perméateurs.

g. Calcul du débit de production en m³/j :

- Etage 1 : $Q_{p1} = \frac{10,777 \cdot 60 \cdot 24}{264,2} = 4490,6 \text{ m}^3/\text{j}$

$$- \text{ Etage 2 : } Q_{p2} = \frac{9,1.46.60.24}{264,2} = 2281,54 \text{ m}^3/\text{j}$$

Le débit de production d'une ligne est :

$$Q_{pt} = 4490,6 + 2281,54$$

$$Q_{pt} = 6772,14 \text{ m}^3/\text{j}$$

Le débit de production de l'installation d'osmose inverse pour la disposition 5/3 est :

$$Q_{pT} = 3 \cdot 6772,14 = 20316,42 \text{ m}^3/\text{j}$$

h. Calcul du débit de rejet :

$$Q_{RT} = \frac{8,91.46.60.24}{264,2} \cdot 3 = 6701,72 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{RT} = 6701,72 \text{ m}^3/\text{j}$$

i. Calcul de la conversion totale :

$$Y_T = \frac{Q_{PT}}{Q_{PT} + Q_{RT}} = \frac{20316,42}{20316,42 + 6701,72} \cdot 100$$

$$Y_T = 75,2\%$$

IV-5- Prévion de qualité d'eau osmosée :

La concentration moyenne de chaque élément est donnée dans le tableau IV-2

IV-5-1- Calcul de la qualité de l'eau produite :

Pour le perméateur B9 N°840-170 dont le taux de passage des sels à travers la membrane SP, est inférieur à 10 %, sous les conditions standards de fonctionnement.

Le taux de passage en sels (SP), dans les conditions de fonctionnement est différent.

On calcule le taux de passage en sels (SP), pour les deux étages ainsi que les débits totaux par la méthode suivante :

a. Pour la disposition 2/1 :**Exemple de calcul :**

$$[Ca^{2+}]_F = 178 \text{ mg/l}$$

$$SP_1 = 0,058 = 5,8 \%$$

$$SP_2 = 0,065 = 6,5 \%$$

Etage 1 :

- **Concentration en Ca^{2+} de l'eau produite :**

$$[Ca^{2+}]_{P1} = SP_1 \cdot [Ca^{2+}]_F = 0,058 \cdot 178$$

$[Ca^{2+}]_{P1} = 10,32 \text{ ppm}$
--

- **Concentration de Ca^{2+} dans le rejet :**

$$[Ca^{2+}]_{R1} = \frac{[Ca^{2+}]_F - Y_1 [Ca^{2+}]_{P1}}{1 - Y_1} = \frac{178 - 0,5245 \cdot 10,32}{1 - 0,5245}$$

$[Ca^{2+}]_{R1} = 362,96 \text{ ppm}$

Etage 2 :

- Concentration en Ca^{2+} de l'eau produite :

$$[\text{Ca}^{2+}]_{P2} = SP_2 \cdot [\text{Ca}^{2+}]_{R1} = 0,065 \cdot 362,96$$

$$[\text{Ca}^{2+}]_{P2} = 23,59 \text{ ppm}$$

- Concentration de Ca^{2+} dans le rejet :

$$[\text{Ca}^{2+}]_{R2} = \frac{[\text{Ca}^{2+}]_{R1} - Y_2 [\text{Ca}^{2+}]_{P2}}{1 - Y_2} = \frac{362,96 - 0,4742 \cdot 23,59}{1 - 0,4742}$$

$$[\text{Ca}^{2+}]_{R2} = 669,03 \text{ ppm}$$

- Calcul de la concentration moyenne :

$$[\text{Ca}^{2+}]_{\text{moy}} = \frac{Q_{P1} [\text{Ca}^{2+}]_{P1} + Q_{P2} [\text{Ca}^{2+}]_{P2}}{Q_{PT}}$$

$$= \frac{10,7 \cdot 10,32 + 9,2 \cdot 23,59}{19,9}$$

$$[\text{Ca}^{2+}]_{\text{moy}} = 16,45 \text{ ppm}$$

Tableau IV-3: Résultats de calcul des taux de passage des différents ions dissous pour la disposition 2/1

Element chimique	Etage 1				Etage 2			
	Concentration d'alimentation en ppm	SP 1%	Concent du produit en (ppm)	Concent du rejet en (ppm)	SP2%	Concent du Produit en ppm	Concent du rejet en ppm	Concent moyenne en ppm
Ca ²⁺	178	5,8	10,32	362,96	6,5	23,59	669,03	16,45
Mg ²⁺	97		5,63	197,8		12,86	364,59	8,97
Na ⁺	150		8,7	305,86		19,88	563,78	13,87
K ⁺	35		2,03	71,37		4,64	131,55	3,24
Cl ⁻	399		23,14	813,59		52,88	1499,65	36,89
SO ₄ ⁻	480		27,84	978,75		63,62	1804,07	44,38
CO ₃ ⁻	5		0,29	10,2		0,66	18,80	0,46
HCO ₃ ⁻	162		9,4	330,3		21,47	608,82	14,98

L'eau osmosée a une salinité de 139,24ppm alors que la salinité était de 1506 ppm avant sa déminéralisation.

b. Pour la disposition 3/2 :

Exemple de calcul :

$$[Ca^{2+}]_F = 178 \text{ mg/l}$$

$$SP_1 = 0,054$$

$$SP_2 = 0,070$$

$$Y_1 = 47,52$$

$$Y_2 = 52,36$$

Etage 1 :

- **Concentration en Ca²⁺ de l'eau produite :**

$$[Ca^{2+}]_{P1} = SP_1 \cdot [Ca^{2+}]_F = 0,054 \cdot 178$$

[Ca²⁺]_{P1} = 9,61 ppm
--

- Concentration de Ca^{2+} dans le rejet :

$$[\text{Ca}^{2+}]_{R1} = \frac{[\text{Ca}^{2+}]_F - Y_1 [\text{Ca}^{2+}]}{1 - Y_1} = \frac{178 - 0,4752 \cdot 61}{1 - 0,4752}$$

$$[\text{Ca}^{2+}]_{R1} = 330,48 \text{ ppm}$$

Etage 2 :

- Concentration en Ca^{2+} de l'eau produite :

$$[\text{Ca}^{2+}]_{P2} = \text{SP}_2 \cdot [\text{Ca}^{2+}]_{R1} = 0,070 \cdot 330,48$$

$$[\text{Ca}^{2+}]_{P2} = 23,13 \text{ ppm}$$

- Concentration de Ca^{2+} dans le rejet :

$$[\text{Ca}^{2+}]_{R2} = \frac{[\text{Ca}^{2+}]_{R1} - Y_2 [\text{Ca}^{2+}]_{P2}}{1 - Y_2} = \frac{330,48 - 0,5236 \cdot 23,13}{1 - 0,5236}$$

$$[\text{Ca}^{2+}]_{R2} = 668,28 \text{ ppm}$$

- Calcul de la concentration moyenne :

$$[\text{Ca}^{2+}]_{\text{moy}} = \frac{Q_{P1} [\text{Ca}^{2+}]_{P1} + Q_{P2} [\text{Ca}^{2+}]_{P2}}{Q_{PT}}$$

$$= \frac{10,7 \cdot 9,61 + 9,28 \cdot 23,13}{19,98}$$

$$[\text{Ca}^{2+}]_{\text{moy}} = 15,89 \text{ ppm}$$

Tableau IV-4: Résultats de calcul des taux de passage des différents ions dissous pour la disposition 3/2

Element chimique	Etage 1				Etage 2			
	Concentration d'alimentation en ppm	SP1%	Concent du produit en (ppm)	Concent du rejet en (ppm)	SP2%	Concent du Produit en ppm	Concent du rejet en Ppm	Concent moyenne en ppm
Ca ²⁺	178	5,4	9,61	330,48	7	23,13	668,28	15,89
Mg ²⁺	97		5,24	180,09		12,61	364,17	8,66
Na ⁺	150		8,1	278,49		19,49	563,14	13,39
K ⁺	35		1,89	64,98		4,55	131,40	3,12
Cl ⁻	399		21,54	740,78		51,85	1497,96	35,62
SO ₄ ⁻	480		25,92	891,16		62,38	1802,06	42,86
CO ₃ ⁻	5		0,27	9,28		0,65	18,77	0,45
HCO ₃ ⁻	162		8,75	300,76		21,05	608,19	14,46

L'eau osmosée a une salinité de 134,46ppm alors que la salinité était de 1506 ppm avant sa déminéralisation.

c. Pour la disposition 5/3 :

Exemple de calcul :

$$[Ca^{2+}]_F = 178 \text{ mg/l}$$

$$SP_1 = 0,056$$

$$SP_2 = 0,068$$

$$Y_1 = 49,66\%$$

$$Y_2 = 50,34\%$$

$$Q_{P1} = 10,70 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{P2} = 9,10 \text{ m}^3/\text{j}$$

Etage 1 :

- Concentration en Ca^{2+} de l'eau produite :

$$[\text{Ca}^{2+}]_{P1} = \text{SP}_1 \cdot [\text{Ca}^{2+}]_F = 0,056 \cdot 178$$

$$[\text{Ca}^{2+}]_{P1} = 9,97 \text{ ppm}$$

- Concentration de Ca^{2+} dans le rejet :

$$[\text{Ca}^{2+}]_{R1} = \frac{[\text{Ca}^{2+}]_F - Y_1 [\text{Ca}^{2+}]_{P1}}{1 - Y_1} = \frac{178 - 0,4966 \cdot 9,97}{1 - 0,4966}$$

$$[\text{Ca}^{2+}]_{R1} = 343,76 \text{ ppm}$$

Etage 2 :

- Concentration en Ca^{2+} de l'eau produite :

$$[\text{Ca}^{2+}]_{P2} = \text{SP}_2 \cdot [\text{Ca}^{2+}]_{R1} = 0,068 \cdot 343,76$$

$$[\text{Ca}^{2+}]_{P2} = 23,38 \text{ ppm}$$

- Concentration de Ca^{2+} dans le rejet :

$$[\text{Ca}^{2+}]_{R2} = \frac{[\text{Ca}^{2+}]_{R1} - Y_2 [\text{Ca}^{2+}]_{P2}}{1 - Y_2} = \frac{343,76 - 0,5034 \cdot 23,38}{1 - 0,5034}$$

$$[\text{Ca}^{2+}]_{R2} = 668,54 \text{ ppm}$$

- Calcul de la concentration moyenne :

$$[\text{Ca}^{2+}]_{\text{moy}} = \frac{Q_{P1} [\text{Ca}^{2+}]_{P1} + Q_{P2} [\text{Ca}^{2+}]_{P2}}{Q_{PT}}$$

$$= \frac{10,7 \cdot 9,97 + 9,1 \cdot 23,38}{19,8}$$

$$[\text{Ca}^{2+}]_{\text{moy}} = 16,13 \text{ pp}$$

Tableau IV-5: Résultats de calcul des taux de passage des différents ions dissous pour la disposition 5/3

Element chimique	Etage 1				Etage 2			
	Concentration d'alimentation en ppm	SP1%	Concent du produit en (ppm)	Concent du rejet en (ppm)	SP2%	Concent du Produit en ppm	Concent du rejet en Ppm	Concent moyenne en ppm
Ca ²⁺	178	5,6	9,97	343,76	6,8	23,38	668,54	16,13
Mg ²⁺	97		5,43	187,33		12,74	364,31	8,79
Na ⁺	150		8,40	289,69		19,70	563,37	13,59
K ⁺	35		1,96	67,59		4,60	131,45	3,17
Cl ⁻	399		22,34	770,57		52,40	1498,57	36,16
SO ₄ ⁻	480		26,88	927,00		63,04	1802,79	43,50
CO ₃ ⁻	5		0,28	9,66		0,66	18,78	0,45
HCO ₃ ⁻	162		9,07	312,86		21,27	608,44	14,68

L'eau osmosée a une salinité de 136,47ppm alors que la salinité était de 1506 ppm avant sa déminéralisation.

Tableau IV-6: Résultats obtenus pour les 3 arrangements

Arrange	Etage	Taux de conversion par étage Y _i (%)	Nombre de perméateur par étage	Débit de production par étage (m ³ /j)	Nbre de perméateurs total	Taux de conversion	Q _{PT}	Salinité résiduelle TDSPT
2/1	1 ^{er}	52,45	80	4665,56	360	75,18	20210,16	139,24
	2 ^{ème}	47,42	40	2071,16				
3/2	1 ^{er}	47,52	61	3616,78	367	70,36	20106,45	134,46
	2 ^{ème}	52,36	61	3085,37				
5/3	1 ^{er}	49,66	77	4490,6	368	75,2	20316,42	136,7
	2 ^{ème}	50,34	46	2281,54				

IV-5-2- Interprétation des résultats :

Pour la détermination des conversions totales et les débits de production les plus importants, on est passé par 3 arrangements « 2/1, 3/2, 5/3 », à partir des résultats du tableau ci-dessus, l'arrangement 5/3 est le plus adéquat, il donne :

Le débit de production le plus élevé : $20316,42\text{m}^3/\text{j}$, avec le taux de conversion le plus élevé 75,2 %.

IV-6- Equations de dilution :

La salinité de l'eau produite, fixée par l'ADE est de 800 ppm. Or l'eau osmosée selon l'arrangement 5/3 a une salinité beaucoup faible, on peut donc la mélanger avec de l'eau filtrée. Cela permettra d'augmenter le débit total de production et réduire ainsi le coût du m^3 d'eau produite.

Le débit d'eau filtrée et le débit total sont déterminés par les équations suivantes :

$$Q_D \cdot C_D = Q_P \cdot C_P + Q_F \cdot C_F$$

$$Q_D = Q_P + Q_F$$

Q_D et C_D : débit et concentration après dilution ;

Q_P et C_P : débit et concentration de l'eau osmosée ;

Q_F et C_F : débit et concentration de l'eau filtrée.

$$Q_D = 39\,404 \text{ m}^3/\text{j}.$$

C_D : solides totaux dissous recommandés par l'OMS $\text{TDS} \leq 1000 \text{ mg/l}$ et fixés par l'ADE à 800 ppm.

$$C_F = 1506 \text{ ppm}.$$

$$C_P = 136,7 \text{ ppm}.$$

La résolution des systèmes d'équation donne :

$$Q_P = 20\,316,42 \text{ m}^3/\text{j}.$$

$$Q_F = 19\,087,58 \text{ m}^3/\text{j}.$$

Chapitre V : Dimensionnement de l'adduction

Chapitre V : Dimensionnement de l'adduction

V -1-Introduction :

Dans ce présent chapitre on va dimensionner l'approvisionnement en eau de la station de déminéralisation vers le réservoir.

V -2-Choix du tracé :

Le choix du tracé de la conduite doit tenir compte de certaines conditions qui sont :

- Il est préférable de passer la conduite à côté des routes pour faciliter la pose des tuyaux et leur exploitation (détection des fuites, des vannes défectueuses, de tous les dommages subit par l'installation) et permettre un accès rapide pour l'entretien, la réparation ainsi que l'acheminement du matériel.
- Eviter le maximum possible les pentes et contres pentes, qui peuvent donner lieu à des contournements d'air, suite à l'arrêt inopiné du groupe électropompe difficilement évacuables.
- Le tracé en plan tient compte de la réalisation du profil en long idéal, avec des Coudes largement ouvert afin d'éviter les butées importantes.

V -3-Type des adductions :

D'après leur fonctionnement, les adductions peuvent être classées en trois groupes :

- Adduction gravitaire.
- Adduction par refoulement.
- Adduction mixte.

V -3-1-Adduction gravitaire :

C'est une adduction où l'écoulement se fait gravitairement. On rencontre ce type d'adduction dans le cas où la source se situe à une côte supérieure à la côte piézométrique de l'ouvrage d'arrivée. Il existe deux types d'adductions gravitaires :

-à surface libre (pas en charge).

-en charge (le plus rencontré).

V-3-2- Adduction par refoulement :

C'est une adduction où l'écoulement se fait sous pression à l'aide des machines hydro-électriques. On rencontre ce type d'adduction dans le cas où la source se situe à une côte inférieure à la côte piézométrique de l'ouvrage d'arrivée.

V-3-3- Adduction mixte :

C'est une adduction où la conduite par refoulement se transforme en conduite gravitaire ou l'inverse. Le relais entre les deux types de conduite est assuré par un réservoir appelé réservoir tampon.

V-4-Choix des matériaux :

Le choix du matériau des conduites enterrées pour le transport du fluide dépend aussi bien de leur faisabilité technique qu'économique.

- ✓ Sur le plan technique cette faisabilité dépend de plusieurs exigences telles que :
 - Résistance aux attaques chimiques, aux pressions et à la résistance des charges mobiles ;
 - Adaptation aux terrains de pose ;
 - Bonne étanchéité ;
 - Facilité d'entretien et de mise en service.
- ✓ Sur le plan économique cette faisabilité dépend essentiellement :
 - Du prix de la fourniture et du transport ;
 - De leur disponibilité sur le marché local (de préférence).

Parmi les types de conduites utilisés dans le domaine d'alimentation en eau potable, on distingue: les conduites en fonte ; les conduites en acier ; les conduites en matière thermoplastique et les conduites en béton dont voici les caractéristiques.

A. Fonte :

La fonte est un matériau noble apte à prendre en charge de grandes pressions, il n'est pas sensible à la corrosion et sa pose se fait sans grande contrainte.

B. Acier :

L'acier est un matériau apte à prendre en charge de grandes pressions, il est très sensible à la corrosion surtout qu'il s'agit de sol agressif, mais cela dit il est adéquat à tout type de terrains vu qu'il absorbe les efforts de pressions.

C. PEHD :

Le PEHD est un matériau apte à prendre en charge de grandes pressions, il est incorrodable, sa pose par soudeur électrique se fait sans grande contrainte. Néanmoins les grands diamètres supérieurs à $\Phi 300$ sont commercialisés à l'heure Actuelle, ils nécessitent beaucoup de pièces spéciales ainsi son prix devient onéreux mais acceptable par rapport à la longévité de la conduite.

V-5-Dimensionnement:

V-5-1-Calcul du diamètre (Cas gravitaire) :

La formule la plus utilisée pour le calcul de la perte de charge pour un écoulement dans une conduite est celle de *Darcy-Weisbach* :

$$\Delta H_t = \frac{K' * L_e * Q^\beta}{D_{av}^m}$$

ΔH_t : Perte de charge totale (m);

K' : Coefficient de perte de charge ;

L_e : Longueur équivalente de la conduite (m) ;

$$L_e = L_g + L_{e_s}$$

L_g : Longueur géométrique de la conduite (m) ;

L_{e_s} : Longueur équivalente des pertes de charge singulière (m) ;

Dans le cas des adductions, les pertes de charge singulières sont estimées à **10%** des pertes de charge linéaires.

$$\Delta H_t = 1,1 * \Delta H_p^{lin} \Rightarrow L_e = 1,1 * L_g$$

ΔH_t : Perte de charge totale (m) ;

Δh_p^{lin} : Perte de charge linéaire (m).

Q : Débit véhiculé par la conduite (m³/s) ;

D_{av} : Diamètre avantageux calculé de la conduite (m) ;

β : Exposant tenant compte du régime d'écoulement ;

m : Exposant tenant compte du type du matériau.

Selon le type de matériau les coefficients **K'**, **m** et **β** sont donnés dans le tableau V-1

Tableau V-1: Coefficients **K'**, **m**, **β** pour différents types de tuyau

Tuyau	K'	M	β
Acier et fonte	0,00179 - 0,001735	5,1 - 5,3	1,9 - 2
Amiante-ciment	0,00118	4,89	1,85
Plastique	0,001052	4,772	2

On déduit alors le diamètre calculé de la conduite gravitaire :

$$D_{av} = \sqrt[m]{\frac{K' * L_e * Q^\beta}{\Delta H_t}}$$

On opte pour des conduite en PEHD on prend : $K' = 0,001052$; $\beta = 2$; $m = 4,772$.

$$L_g = 403 \text{ m}$$

Tq Q : débit à transférer ; $Q = 20\,316,42 \text{ m}^3/\text{j}$

$$Q = 0,24 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Côte amont} = 146 \text{ m}$$

$$\text{Côte aval} = 144,7 \text{ m}$$

$$\Delta H = 146 - 144,7$$

$$= 1,3 \text{ m}$$

$$L_e = 1,1 \times L_g$$

$$= 1,1 \times 403$$

$$= 443,3 \text{ m}$$

$$D_{av} = \sqrt[m]{\frac{K' \times L_e \times Q^\beta}{\Delta H_t}}$$

$$D_{av} = \sqrt[4,772]{\frac{0,001052 \times 443,3 \times 0,24^2}{1,3}}$$

$$D = 443 \text{ mm}$$

- On normalise avec le diamètre supérieur tant que le réservoir n'est pas imposé pour minimiser les pertes de charges.

$D = 500 \text{ mm}$ avec une pression nominale 10 avec une épaisseur de 29,7 mm.

$$D_{int} = 440,6 \text{ mm}$$

$$\Delta H_t = \frac{0,001052 * 443,3 * 0,24^\beta}{D^m}$$

$$\Delta H=1,34$$

$$C_R=146-1,34=144,66 \text{ m}$$

V-5-2-Vérification de la vitesse de l'écoulement pour l'Adduction :

Donc pour retenir le diamètre économique nous devons vérifier la vitesse par l'équation de continuité ; $Q=V.S$ d'où $V = \frac{4Q}{\pi D^2}$

$$D1=500 \text{ mm}, V1=1,57 \text{ m/s}$$

La vitesse est acceptable

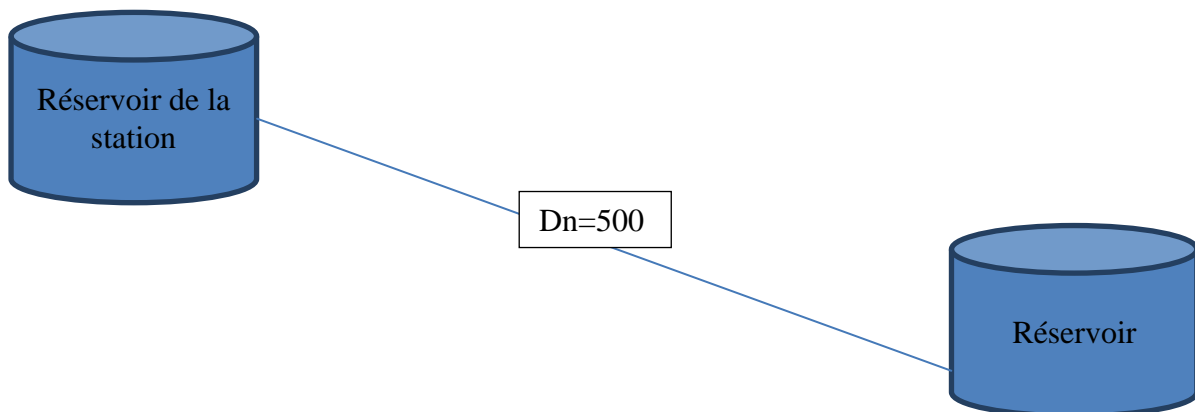


Figure V-1 : Schéma de l'adduction de la station vers le réservoir.

V-6-Conclusion :

On a normalisé avec le diamètre supérieur 500 mm PN 10 donc le diamètre intérieur est 440,6 mm et la vitesse de circulation 1,57m/s.

Donc on implante un réservoir à une cote de 144,66 m pour pouvoir alimenter l'agglomération en eau potable et le rapproché le plus possible du point le plus loin de réseau.

Chapitre VI :
Etude d'impact de la
station de déminéralisation
sur l'environnement

Chapitre VI : Etude d'impact de la station de déminéralisation sur l'environnement

VI -1-Introduction :

Le maître d'ouvrage est responsable de l'étude d'impact, mais l'État doit en contrôler l'existence et le contenu (fond et forme) avant de déclarer que le dossier est complet et la demande d'autorisation recevable.

Les mesures envisagées par le maître d'ouvrage visent à supprimer, réduire et, si possible, compenser les conséquences dommageables du projet pour l'environnement et la santé, ainsi que l'estimation des dépenses correspondantes. **[16]**

Parmi les impacts environnementaux rencontrés dans la réalisation d'une station de déminéralisation ceux qui sont liés à la phase de construction et ceux qui sont liés à la phase d'exploitation. Les impacts commencent avec la transformation de l'occupation du sol, puis continuent avec des conséquences visuelles et des nuisances sonores pour s'étendre à des émissions dans l'atmosphère et des rejets dans l'eau et dans le sol ainsi qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur.

Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les différentes zones, affectant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune, la perturbation d'écosystèmes importants (dunes de sable, herbiers marins et autres habitats vulnérables par suite de l'emplacement choisi pour le trajet des canalisations).

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

Cependant, il ne faut pas oublier, lors d'une éventuelle évaluation, les autres impacts environnementaux causés par une station de dessalement, comme les problèmes de dégradation paysagère, bruits, émissions de gaz (CO, NOx), ou encore les rejets associés comme les eaux provenant du nettoyage (filtres de sable, membranes et dépôts).

VI -2-Origine et type des émissions et rejets :

VI -2-1- Émissions atmosphériques :

Toute unité de dessalement doit généralement être accompagnée d'une unité de production d'énergie. Cette dernière génère évidemment une grande quantité de gaz à effet de serre, lesquels auront un impact négatif sur le climat et sur le cycle de l'eau. Certains craignent que la multiplication des usines de dessalement n'entraîne une relance à grande échelle de la construction de centrales nucléaires : chaque unité de dessalement serait accompagnée de son unité nucléaire

VI -2-2-Rejets chimiques :

Toutes les usines de dessalement utilisent des produits chimiques pour le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que le post-traitement de l'eau produite. La plupart des produits sont utilisés avant tout comme agents biocides, antitartre, antisalissures, et ils finissent par modifier la composition de la saumure concentrée. La présence de certains métaux, qui sont des produits de la corrosion du circuit, influent aussi sur la composition de la saumure concentrée.

Ces produits chimiques ne sont pas les mêmes pour les principaux procédés de dessalement, à savoir MSF et l'osmose inverse. Les phases de traitement du procédé d'osmose inverse de production d'eau potable sont exposées sur le tableau suivant :

Tableau VI-1: Résumé des phases de la production d'eau potable par OI et devenir des produits utilisés. [20]

Phases	Objet	Produits chimiques ajoutés	Devenir des produits
Ajustement du pH	-Diminue la concentration de carbonate. -protège la membrane contre l'hydrolyse.	Acide (H_2SO_4)	-Modifie le pH de l'eau brute et de la saumure ; -Le sulfate est retenu dans la saumure concentrée.
Antitartre	-Prévient la formation de tartre sur les membranes	Agents chélateurs et dispersants	-Les complexes formés sont retenus dans la saumure concentrée
Coagulation – Flocculation	- Prévient les salissures et l'encrassement des membranes	Coagulants -Floculants	-Les agents floculants formés se séparent par décantation et sont éliminés par filtration.
Désinfection	-prévient l'encrassement biologique ; - Elimine les microorganismes qui se nourrissent des matières des membranes.	Chlore (ou biocide, UV)	-Chlore également répartie dans le perméat et la saumure concentrée.
Déchloration	-Protège les membranes sensibles au chlore.	Bisulfite de sodium ou charbon actif granulaire (CAG)	Réagit avec le chlore pour former du sulfate et du chlorure qui sont retenus dans la saumure.

Oxygénation	-Accroît l'oxygène dissout à un niveau concourant au développement de la flore et de la faune aquatique.	Aération	Accroît l'oxygénation dans la saumure concentrée.
Élimination d'autres formes chimiques.	-Diminue tous les polluants susceptibles d'être présents dans l'eau brute.	Est fonction des formes chimiques.	-Les complexes formés sont retenus dans la saumure concentrée

VI -2-3-La saumure concentrée :

Une concentration élevée en sels des eaux rejetées et des fluctuations du degré de salinité peuvent être, une cause de mortalité pour les organismes qui y sont sensibles. De plus, les rejets provenant des usines de dessalement ont une densité plus élevée que celle de l'eau de mer et peuvent se déposer au fond de la mer et avoir éventuellement des effets préjudiciables pour les communautés benthiques.

Une variation de la salinité et/ou de la température due au rejet de saumure retentit aussi sur les habitudes migratoires du poisson le long des côtes. Si certaines espèces de poissons ressentent une variation de la salinité ou de la température, elles peuvent éviter la zone du panache et s'éloigner au large. Il s'ensuit que le poisson peut être forcé de nager sur une plus longue distance, de quitter la zone de plus grande disponibilité alimentaire. [15]

VI -2-4- Rejet des eaux de lavage à contre-courant des membranes dans les usines OI :

Dans les usines OI, le nettoyage et le stockage des membranes peuvent engendrer des eaux potentiellement dangereuses. Les membranes doivent être nettoyées à des intervalles de trois à six mois en fonction de la qualité de l'eau d'alimentation et du fonctionnement de l'usine. Les formulations utilisées pour le nettoyage des membranes sont habituellement des solutions alcalines ou acides aqueuses. De plus, une solution chimique de préservation (généralement à base de bisulfite de sodium) doit être utilisée si les membranes sont stockées pendant la fermeture de l'usine. [16]

VI -3-Impacts sur l'environnement :

a) Impact sur l'homme :

- La consommation des aliments, plus salés que la normale, contribuent à ne pas respecter les doses normales de sel admises par le corps de l'Homme, soit entre 6 et 10 grammes par jour.
- Selon un bulletin de l'Académie nationale de médecine sur le contenu en sel de l'alimentation, les consommations de sel aussi bien aiguës que chroniques présentent chez l'être humain comme chez l'animal une augmentation de leur pression artérielle. Ces apports excessifs vont à l'encontre de notre matériel génétique. Ainsi, l'individu ressent les symptômes de l'hypertension artérielle qui peuvent apporter à long terme des désagréments cardiaques ou des accidents vasculaires cérébraux.

b) Impact sur les sols et plantations :

La saumure rejetée par les stations de dessalement réduit la faculté des racines des plantes à puiser de l'eau du sol, l'humidité du sol diminue, les sels de la solution du sol peuvent se concentrer à hauteur de 2 à 5 fois leur valeur initiale. Ceci cause une augmentation de la pression osmotique de la solution du sol et rend encore plus difficile pour les racines d'extraire l'eau du sol. C'est ce qu'on appelle une sécheresse physiologique. Les croissances médiocres dues au rejet des eaux salées sont généralement provoquées par ce phénomène de stress osmotique causé par la concentration totale des sels plutôt qu'à cause d'ions particuliers.

Des concentrations excessives d'ions chlorures et sodium dans l'eau rejetée peuvent causer une toxicité dans la plante. [15]

Les symptômes de toxicités typiques aux ions sodium sont des brûlures de feuilles, le dessèchement et la mort des tissus sur les bords externes des feuilles contrairement aux symptômes causés par des ions chlorites qui apparaissent normalement à l'extrême pointe des feuilles. En général, la plupart des plantes boisées (arbres fruitiers à noyaux, citrus, avocatier) sont sensibles à ces ions alors que la majorité des légumes, plantes fourragères et fibreuses y sont moins sensibles.

Cependant, les sols salés sont plus fragiles et souvent sujet à dégradation car la salinité réduit la couverture végétale laissant le sol sensible à l'érosion éolienne ou hydrique.

L'utilisation de l'eau dessalée comme celle de l'eau douce dans l'irrigation augmente les probabilités de formation de sols salins (salisols) et/ou de sols alcalins (sodiques ou sodisols) par accumulation des sels minéraux dans la terre. On appelle ce processus la salinisation des sols. Si le sol absorbe trop de sel, on peut alors assister à la formation de cristaux à la surface du sol, remontés par capillarité comme sur la figure1 :



Figure VI -1 : Efflorescence saline à la surface d'un sol salé Source : Photographie Futura-Sciences

Parmi les différentes cultures existantes, on distingue trois classes de niveau de tolérance de salinité du sol :

- Les cultures sensibles qui réunissent la plupart des fruits et arbres fruitiers ainsi que certains légumes tels que la carotte, le haricot, la salade ou le radis avec une concentration critique en sels de 1,3g/L.
- Les cultures à tolérance moyenne comptant les autres légumes, les grandes cultures, quelques fruits comme l'olive, le raisin, la figue ou la grenade. Ces cultures peuvent supporter une concentration maximale de 2,5g/L de sels dans le sol.
- Les cultures tolérantes avec les prairies, les cultures de coton, orge, colza, betteraves à sucre, dattiers et autres cocotiers qui acceptent jusqu'à 5g/L de sels dans le sol.

Un cas se répète dans le sud du pays : la palmeraie de Ouargla est menacée par les rejets des eaux de drainage d'où la dégradation des Oasis en Algérie.

- l'engorgement des parcelles et le dépérissement de milliers de palmiers dans la cuvette d'Ouargla.

-La salinisation des sols, et la chute des rendements du palmier dattier qui ne dépassent guère les 50 kg/palmier. [18]

c) Impact sur la nappe phréatique :

La diffusion des sels dans le sol en fortes concentrations, ira jusqu'à contaminer les eaux souterraines et intégrer la chaîne alimentaire, d'où une contamination de la faune et de la flore.

VI-4- Règlements :

La sécurité humaine est synonyme de protection contre les événements imprévisibles qui viennent troubler les vies et les moyens de subsistance, la définition et la mise en place de politiques globales en faveur de la protection et de la gestion des ressources naturelles passent notamment par l'élaboration et par la mise en œuvre des conventions internationales sur l'environnement.

Les pouvoirs publics sont de plus en plus rigides sur l'application des lois et s'intéressent à la maîtrise qualitative et quantitative quant à la pollution de l'air, du sol et de l'environnement de façon général.

Dans ce cadre, la protection de l'environnement représente une préoccupation politique et économique importante, actuellement, et qui se fait par la surveillance de la qualité de cet environnement. Les textes réglementaires sont très importants et la réglementation quant à la maîtrise qualitative ainsi que quantitative est à jour en Algérie. Nous donnons quelques lois et décrets en rapport avec le sujet :

Arrêté du 1er mars 1993 qui fixe les valeurs limites de rejet « sur la base de l'emploi des technologies possibles à un coût économique acceptable et des caractéristiques particulières du milieu récepteur ».

- Loi n°03-10 du 19 Juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable

Décret exécutif n°90-78 du février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement (EIE):

- Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents d'eaux usées industriels:

- Décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels.

De plus, il serait nécessaire de mettre en place un système de contrôle et d'auto conformité pour les différentes industries. Chaque industrie devra élaborer un plan d'action pour la conformité, basé sur le contrôle de l'environnement. Le Ministère de l'Aménagement de Territoire et de l'Environnement et/ou les inspecteurs au niveau des Wilayas auront la responsabilité de veiller à l'application de ce plan. Il serait de même nécessaire d'identifier d'une manière précise et claire et de délimiter les responsabilités des différentes organisations et institutions concernées par la mise en œuvre le plan d'action.

Des efforts importants sont nécessaires pour l'amélioration et le contrôle de l'application des lois et textes en vigueur. Une approche nouvelle basée sur la concertation, la communication et la participation de tous les secteurs s'impose donc pour protéger l'environnement en Algérie qui est l'affaire de tous. [15]

VI-5- Techniques d'atténuation :

1. Dilution des saumures

Etant donné qu'il n'existe actuellement pas de réglementations concernant les rejets des saumures, cette dernière est rejetée directement dans la mer ou associée aux rejets de l'eau de refroidissement des centrales ou aux effluents des stations d'épuration.

a. Dilution avec un effluent de station d'épuration :

Mélanger la saumure aux effluents de station d'épuration est une des solutions préférable au rejet direct dans la mer ou le sol.

b. Récupération des eaux de pluie :

Les données de la qualité de l'air ainsi que celles des précipitations sont nécessaire pour pouvoir appliquer cette technique :

- La qualité de l'air est un paramètre important car certains polluants atmosphériques tels que le dioxyde de soufre (SO₂) et les oxydes d'azotes (NO_x), sont responsables d'une acidification de l'eau de pluie par la formation d'acide sulfurique et d'acide nitrique au contact entre les polluants et les gouttes.
- Faire des relevés pluviométriques de la commune la plus proche d'où se localise notre usine de dessalement pour réduire le coût.

2. Distillation membranaire sous vide :

La distillation membranaire sous vide est un procédé hybride combinant à la fois un procédé thermique et un procédé membranaire. Une différence de pression transmembranaire est générée par une pression de vide côté perméat d'une membrane hydrophobe. Les molécules volatiles, ici l'eau, s'évaporent ainsi à l'interface liquide chaud/vapeur et traversent la membrane sous forme gazeuse. La recondensation a lieu à l'extérieur du module membranaire grâce à un condenseur.

Ce procédé va ici permettre de réduire le volume de saumure et d'en augmenter la concentration en évaporant l'eau qu'elle contient. Les objectifs sont de parvenir à concentrer ces saumures pour faciliter la cristallisation du sel et de permettre d'augmenter le rendement du dessalement afin de réduire le volume d'eau de mer pompée et ainsi, en diminuer la consommation énergétique. [18].

Chapitre VII :
Organisation et
Sécurisation de chantier

Chapitre VII : Organisation et sécurisation de chantier

VII-1- Introduction :

Le dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres est limité aux coûts d'investissement et d'exploitation de ces stations et donc au prix de revient du mètre cube (m^3) d'eau produit.

Les problèmes et les accidents du travail qui en découlent ont une grande incidence sur le plan financier, sur le plan de la protection et surtout sur le plan humain. C'est la raison pour laquelle un certain nombre de dispositions doivent être prises afin de permettre aux travailleurs d'exercer leur profession dans les bonnes conditions.

Donc la sécurité du travail est l'une des principales conditions pour le développement, elle peut devenir dans certain cas une obligation contraignante.

VII-2- Prix de revient du mètre cube d'eau dessalée :

Il est influencé par plusieurs facteurs :

a. Facteurs liés au site de l'installation :

- Qualité de l'eau d'alimentation :

La qualité de l'eau brute nous renseigne sur le type de prétraitement adéquat ;

- Température de l'eau d'alimentation :

Pour le procédé d'osmose inverse, l'augmentation de $1^\circ C$ entraîne une augmentation de production de 3 % ;

- Prix d'énergie :

Suivant la disponibilité de l'énergie, le prix d'un mètre cube d'eau dessalée peut varier considérablement, le coût d'énergie est très élevé pour des sites isolés.

b. Facteurs liés à l'usine :

Sont en fonction du type de procédé de dessalement, pour l'osmose inverse on énumère :

- Facteurs d'ordres techniques :
 - Volume d'eau produit ;
 - Qualité de l'eau produite ;
 - Type de perméateurs utilisés ;
 - Pression d'alimentation ;
 - Taux d'exploitation, de conversion et de dosage chimique.
- Facteurs d'ordres économiques :
 - Prix de l'énergie et des équipements ;
 - Frais d'exploitation ;
 - Taux d'amortissement ;
 - Durée de construction et d'amortissement.

c. Coûts des projets de dessalement :

Ce coût est principalement engendré par :

1. Coût d'investissement :

- Coût de génie civil :

L'usine de dessalement doit supporter et abriter le poids total des différents équipements ;

- Coût de prise d'eau : c'est le coût de pompage de l'eau ;
- Coût des équipements :

Ces équipements couvrent :

- Equipements électriques ;
- Canalisations et vannage ;
- Pompes : pompage d'alimentation, de production, de mise en pression, pompage de recirculation...etc.

- Coût du système de contrôle :

Toute station est équipée par un système de contrôle automatique central, dans le but de réduire les coûts de maintenance et le maintien de niveau de prétraitement ainsi que celui des performances affectées par le colmatage, d'autre part de contrôler la vitesse et la température et d'avoir le maximum de souplesse et le minimum de risque de panne.

- Coût auxiliaire :

On trouve celui du chauffage, du système de décharge des déchets chimiques et du système de refroidissement de l'eau.

2. Coût d'exploitation :

- Coût de la main d'œuvre ;
- Coût de remplacement des membranes défectueuses ;
- Frais d'entretien et de maintenance ;
- Coût de consommation des produits chimiques dans le prétraitement et le poste traitement ;
- Coût de la consommation énergétique : elle représente une partie importante du coût d'exploitation, elle est liée :
 - Au pompage de l'eau brute à partir de la prise d'eau ;
 - Au système de prétraitement ;
 - A la pompe haute pression ;
 - Au pompage de l'eau produite ;
 - A la recirculation ;
 - Consommations diverses.

VII-3- Estimation du prix de revient :

Le prix de revient du m³ d'eau dessalée est la somme des éléments qui le constituent, ainsi on note :

VII-3-1- Frais d'investissement :

Les frais d'investissement englobent les coûts des équipements électromécaniques et des travaux de génie civil.

$$I = E + G$$

E : coûts des équipements ;

G : coût du génie civil.

a. Equipements :

-Fourniture et montage des systèmes de raccordements de la prise d'eau et réservoir de stockage = 791960000 DA.

- Poste de dessalement : le prix d'un module B9 est de l'ordre de 2475 \$ US, avec : 1\$ qui équivaut 125 DA actuellement, d'où le prix d'un module B9 est estimé à : 309 375 DA, avec un nombre de perméateurs de 368 ce qui donne :
 $P = 309\,375 \cdot 368 = 113\,850\,000 \text{ DA}$.

- Transformateur SONELGAZ :

- Amenée d'énergie électrique y compris le poste de transformation : 53 500 000 DA.

- Fournitures et installation des groupes électrogènes :
 Ce qui donne un transformateur SONELGAZ de : 228 500 000 DA.

- Equipements électromécaniques : 469 000 000 DA ;

- Equipements de laboratoire : 489 224 181 DA.

Donc :

$$E = 791960000 + 113\,850\,000 + 228500000 + 469000000 + 489224181$$

$$\mathbf{E = 2\,092\,534\,181 \text{ DA.}}$$

b. Génie civil :

- Bâti béton armé ;

- Charpente métallique ;

- Cloisonnement.

$$G = 14800000 \text{ DA.}$$

On aura ainsi le coût d'investissement :

$$I = E + G = 2\,092\,534\,181 + 14800000$$

$$I = 2\,107\,334\,181 \text{ DA.}$$

VII-3-2- Frais d'exploitation :

Ces frais sont constitué des :

- Coûts des produits chimiques : C (DA/j);
- Coûts d'énergie : W (DA/KWh/j);
- Coûts de la main d'œuvre : MO ;
- Coûts de remplacement des membranes (tous les 3 ans) : M ;
- Coût de remplacement des cartouches (tous les 3 mois) : F.

On aura donc :

$$E_x = W + MO + M + F + C$$

Avec :

$$W = 196300,57 \text{ DA};$$

$$MO = 170000 \text{ DA};$$

$$M = 3569,46 \text{ DA};$$

$$F = 12014 \text{ DA};$$

$$C = 69079,1 \text{ DA};$$

$$E_x = 450963,13 \text{ DA/j}.$$

VII-3-3- Charges financières :

- Amortissement 20 ans ; 2 107 334 181
- Annuité d'exploitation (selon inflation) = 6 % ;
- Charge d'exploitation. $B = A + E_x + 0,06 A$

$$\text{Avec } A = \frac{I}{365.20} = \frac{2107334181}{365.20} = 288\,675,91 \text{ DA/j}.$$

$$\text{Donc : } B = A + E_x + 0,06 A$$

$$B = 288\,675,91 + 450963,13 + 0,06 \cdot 288\,675,91$$

$$B = 756\,959,59 \text{ DA/j}$$

VII-3-4- Prix du mètre cube d'eau dessalée :

Notre projet consiste à déminéraliser une eau salée à partir de 3 forages totalisant un débit de 27 000 m³/j destinée à l'alimentation de la ville El hadeb Wilaya de Ouargla.

$$P = \frac{B}{Q_{PT}}$$

$$P = \frac{756959,59}{27000} = 28 \text{ DA/m}^3.$$

$P = 28 \text{ DA/m}^3$

A. Sécurisation de chantier :

L'essentiel objectif de la sécurité d'un travail sera la diminution de la fréquence et la gravité des accidents dans les chantiers, d'où le domaine hydraulique couvre un large éventuel lors de la réalisation d'un projet en alimentation en eau potable, différentes phases d'exécution des travaux sont effectués tel que :

- Travaux d'excavation et de terrassements (station de dessalement, pose des conduites, implantation des réservoirs de stockage, station de pompage etc.).
- Réalisation d'un forage (creusement, équipement, essai de pompage et protection).
- Travaux de construction (génie civil).tel que le bétonnage, ferrailage et autre phase de réalisation concerne l'implantation des réservoirs de stockage et des stations de pompage, pour cela il faut que les ingénieurs hydrauliciens doivent résoudre tous les phénomènes qui concernent la sécurité et la protection du travail dans leur études, suivies, exécution des projets réels dans le domaine hydraulique et génie civil.

VII-4- Causes des accidents de travail dans un chantier hydraulique

Généralement les accidents de travail imputables à des conditions dangereuses et actions dangereuses sont causés par deux facteurs :

VII-4-1- Facteurs humain

- Manque de contrôle et négligence ;
- La fatigue des travailleurs, agent de maîtrise et les responsables ;
- Encombrement dans les différentes phases d'exécution des travaux ;
- Erreurs de jugement ou de raisonnement ;
- Suivre un rythme de travail inadapté.

VII-4-2-Facteurs matériel

- Outillage, engins, et machines de travail ;
- Nature des matériaux mis en œuvre ;
- La difficulté posée lors de l'exécution du travail ;
- Les installations mécaniques et électriques.

Durant chaque phase de la réalisation d'un projet en alimentation en eau potable, le risque de produire un accident est éventuellement ouvert, soit dans la phase des travaux de terrassement, soit dans la réalisation des travaux de bétonnage, soit dans les installations électriques ou des installations sous pressions soit après la finition du projet (travaux d'entretien des pompes, des installations, etc.)

VII-4-3- Liste des conditions dangereuses

- Installations non protégées ;
- Installations mal protégées ;
- Outillages, engins et machines en mauvais état ;
- Protection individuelle inexistante ;
- Défaut dans la conception, dans la construction ;
- Matières défectueuses ;
- Stockage irrationnel ;
- Mauvaise disposition des lieux ;
- Eclairages défectueux ;
- Facteurs d'ambiance impropres ;
- Conditions climatiques défavorables.

VII-4-4- Liste des actions dangereuses

- Intervenir sans précaution sur des machines en mouvement ;
- Intervenir sans précaution sur des installations sous pression, sous tension ;
- Agir sans prévenir ou sans autorisation,
- Neutraliser les dispositifs de sécurités ;
- Ne pas utiliser l'équipement de protection individuelle ;
- Mauvaise utilisation d'un outillage ou engin ;
- Importance durant les opérations de stockage ;
- Adopter une position peu sûre ;
- Travailler dans une altitude inappropriée ;
- Suivre un rythme de travail inadapté ;
- Plaisanter ou se quereller.

VII-5-Mesures préventives pour éviter les causes des accidents**VII-5-1- Protection individuelle**

Pour mieux protéger contre les dangers pendant l'exercice de certaines professions, il est indispensable d'utiliser les dispositifs de protection individuelle (casques, gans, chaussures, lunette protectrice etc.)

VII-5-2- Autre protections

Toute tranchée creusée en agglomération ou sous route sera protégée par une clôture visiblement signalée de jour comme de nuit (chute de personnes et d'engins).

Prévenir les concernés avant d'entreprendre des travaux d'excavations des tranchées et vérifier la stabilité du sol.

Climatisation des surcharges en bordure des fouilles. Les travailleurs œuvrant à la pioche ou la pelle sont tenus à laisser une distance suffisante entre eux.

VII-5-3- Protection collective

L'entrepreneur ou bien le chef de chantier, en ce poste doit mettre en évidence les points suivants :

- Application stricte des règlements de sécurité.
- Affectation rugueuse du personnel aux commandes des points clés d'une installation moderne.

a- Engin de levage

La grue, pipe layer et autres engins par leurs précisions et possibilité de manutention variés, constituent la pose de travail ou la sécurité n'admet pas la moindre négligence, alors le technicien responsable veillera à :

- Affecter du personnel compétent.
- Procéder aux vérifications périodiques des engins selon la notice du constructeur.
- Délimiter une zone de sécurité autour des engins de levage et en particulier à éviter tout stationnement sous une charge levée.

b- Appareillage électrique

Pour éviter les risques des appareils électriques, il faut absolument proscrire le bricolage, car une ligne ou une installation électrique ne doit pas être placée que par des électriciens qualifiés.

VII-6- Sécurité au laboratoire :

Vérifications indispensables

- savoir où se trouve le (la) plus proche

- Téléphone (et quels sont les N° d'urgence)
 - Sortie de secours
 - Extincteur et couverture anti-feu
 - Bac à sable (pour les feux de métaux)
 - Pharmacie de secours
- } → Et savoir comment l'utiliser !

- Personne de référence à qui poser ses questions
 - douche de sécurité
 - douche oculaire
 - masque à gaz
 - affichage des consignes de sécurité
- } → Et savoir comment l'utiliser !

Recommandations

- Laisser les passages libres
- Travailler en position stable
- Utiliser du matériel propre et en bon état
- Se déplacer sans courir
- Se laver les mains avant et après les manipulations
- Etiqueter clairement les flacons et récipients
- Nettoyer les douches oculaires toutes les 2 semaines
- Ne pas stocker la nourriture dans les frigos contenant des produits chimiques

VII-7- Conclusion

Comme l'environnement de travail contribue au développement et à une bonne gestion et exploitation des ouvrages, il est impératif de savoir les causes des accidents et éviter les actions dangereuses. Ainsi donc on peut gagner sur le plan financier et offrir une meilleure condition de travail pour les personnels et une bonne performance de fonctionnement des Engins.

CONCLUSION GENERALE

Au fur et à mesure de la croissance de la population, la demande en eau augmente dans ce cas les ressources superficielles 'insuffisante ou même inexistante dans les régions sahariennes, donc il faut opter a dimensionner une station de déminéralisation des eaux saumâtres par osmose inverse, en vue de l'alimentation en eau potable de la ville de d'El hadeb Wilaya de Ouargla.

L'osmose inverse est une technique membranaire, les membranes sont très sensibles d'où apparaît l'importance d'un prétraitement adéquat qui permet d'allonger la durée de vie des membranes en les protégeant. Pour cela nous avons déterminé les paramètres les plus importants dans une chaîne de prétraitement.

On a dimensionné la conduite d'approvisionnement qui relie la station à des réservoirs pour alimenter la ville par un acheminement gravitaire.

Enfin, l'étude d'impact sur l'environnement est nécessaire dans chaque réalisation de projet pour éviter toute nuisance sonore, la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune, la perturbation d'écosystèmes importants. Le principal impact environnemental associé aux procédés de dessalement provient de la production de saumure : solution à forte teneur en sels qui résulte de la « concentration » de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre dessalée.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] - **A.N.R.H** « Bilan des ressources en eau en Algérie »2013.
- [2]-**ANDI**, « Agence Nationale de Développement de l'Investissement : Entretien avec Monsieur Ali BOUGUERRA, Wali de Ouargla» Mars 2014.
- [3]-**ADE**, l'Algérienne des eaux, unité Ouargla mars 2016.
- [4]- **Alain Maurel**, « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », 2^e éditions Technique & Documentation, 2006.
- [5]-Fiche technique du projet des 9 stations de déminéralisation, Ouargla.
- [6]-**Patrick Danis**, « Dessalement de l'eau de mer» **Degrémont, J 27 000**.
- [7]-Station de dessalement d'eau de mer, Beni saf, Algérie, Mars 2014.
- [8]-**Mehdi Metaïche** « Technologie membranaire» université de Bouira, juin 2014.
- [9]- **Dupont Company**, technical bulletin n°501, 1997.
- [10]- **Raymond Desjardins** « le traitement des eaux » 2^{ème} édition de l'école polytechnique de Montréal, 1990.
- [11]-**ONM** « office nationale de la météorologie », 2013.
- [12]-Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée, aout 2008
- [13]- Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau, Nouvelle version rédigée par **Jean-Marc BERLAND et Catherine JUERY**, Décembre 2002
- [14]-**S.BOUALEM** « cours alimentation en eau potable » 5ème année,p71,72
- [15]-Mémoire de magister Nouredine nora «Etude d'impact des rejets des eaux de la station de déminéralisation Brédéah sur l'environnement», janvier 2008.
- [16]- **Patrick Michel**, «L'étude d'impact sur l'environnement»,2006.

SITOGRAFIE

SITOGRAFIE

[17]-osmose inverse http://www.eduscol.education.fr/rnchimie/gen_chim/triboulet/rtf, accées mai2016.

[18]- Le devenir des rejets <http://hmf.enseiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/1164>, accées aout 2016.

[19]- Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres
<http://culturesciences.chimie.ens.fr/content/le-dessalement-de-leau-de-mer-et-des-eaux-saumatres-840>. Publié 18/11/2003.

[20]- Etude environnementale d'une usine de dessalement
<http://hmf.enseiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/983>. aout 2016.

Annexes

ANNEXES

Tableau n° 1 : Facteur de correction du flux de rétention de la membrane (MFRC) en fonction de la pression de fonctionnement, la température et la durée de vie de la membrane

Pression de fonctionnement en (psi)	Température en (°C)	Capacité initiale	Durée de vie de la membrane (1 an)	Durée de vie de la membrane (3 ans)
400	5	0,55	0,914	0,900
	10	0,64	0,907	0,890
	15	0,74	0,891	0,872
	20	0,86	0,868	0,845
	25	1,00	0,828	0,800
	30	1,16	0,767	0,730
	35	1,34	0,675	0,629
300	5	0,40	0,936	0,925
	10	0,46	0,929	0,917
	15	0,54	0,919	0,905
	20	0,62	0,901	0,883
	25	0,72	0,868	0,845
	30	0,83	0,817	0,787
	35	0,97	0,736	0,695
200	5	0,24	0,956	0,952
	10	0,28	0,953	0,947
	15	0,32	0,946	0,937
	20	0,37	0,934	0,923
	25	0,43	0,910	0,894
	30	0,50	0,871	0,848
	35	0,58	0,807	0,776

ANNEXES

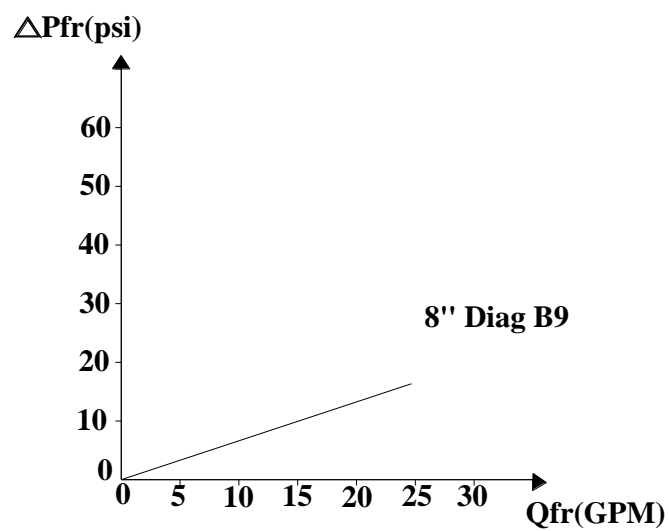


Figure n° 1 : L'effet du débit sur la perte de charge