



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option : Réutilisation des eaux non conventionnelles

THEME :

**EXTENSION DE LA STATION DE DEMINERALISATION
D'EAU SAUMATRE (W. TINDOUF)**

Présenté par :

BANOURI Ayoub

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
Mr.DERNOUNI Youcef	M.A.A	Président
Mme.HOULI KHALED Samia	M.A.A	Membre
Mr.KHEDIMALLAH Abderrahmane	M.C.B	Membre
Mr.TOUIL Youcef	M.C.B	Promoteur

Session: Juillet 2024

Remerciements

الحمد لله رب العالمين الذي وفقني بفضلته وإحسانه إلى إتمام هذا العمل المتواضع.

Ma reconnaissance va en premier lieu aux acteurs clés qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail de thèse. Je souhaite tout particulièrement saluer l'appui indéfectible et les encouragements continuels de mes parents, piliers essentiels de cette réussite.

Ma profonde gratitude et mon estime s'adressent à mon encadreur, **Dr. TOUIL Youcef**, dont l'apport a été déterminant dans l'accomplissement de ce travail.

J'exprime ma vive reconnaissance à **Mr DERNOUNI Youcef** pour présider le jury lors de ma soutenance. Ma gratitude s'étend également à mes estimés professeurs **Mme HOULI KHALED Samia** et **Mr KHEDIMALLAH Abderrahmane**, qui me font l'honneur d'évaluer mon travail en siégeant dans ce jury.

Ma reconnaissance s'adresse aussi à l'équipe d'ingénieurs de la station de Tindouf, dont le concours et la disponibilité ont été précieux tout au long de ce projet.

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué à rendre ce travail possible.

ملخص:

تعد تحلية المياه في الجزائر نهجًا استراتيجيًا حاسمًا، خاصة في المناطق القاحلة والصحراوية حيث تكون موارد المياه التقليدية محدودة. تعتبر هذه التقنية حلاً ضروريًا لمعالجة نقص المياه الذي يؤثر على تندوف والعديد من المدن الجزائرية الأخرى. في هذا السياق، تهدف دراستنا إلى تحديد أبعاد توسعة محطة إزالة ملوحة المياه شبه المالحة في تندوف، والتي تستخدم تقنية التناضح العكسي. الهدف الرئيسي هو تصميم توسعة قادرة على سد النقص الحالي في المياه، مما يضمن إمدادًا كافيًا لتلبية الاحتياجات المتزايدة للسكان.

الكلمات المفتاحية: تندوف- المياه قليلة الملوحة -نزع المعادن -التناضح العكسي

Résumé :

Le dessalement en Algérie représente une approche stratégique cruciale, particulièrement pour les régions arides et désertiques où les ressources en eau traditionnelles sont limitées. Cette technologie s'avère une solution indispensable pour répondre au déficit hydrique qui affecte Tindouf et plusieurs autres villes algériennes. Dans ce contexte, notre étude vise à dimensionner l'extension de la station de déminéralisation des eaux saumâtres de Tindouf, qui utilise la technologie d'osmose inverse. L'objectif principal est de concevoir une expansion capable de combler le déficit en eau actuel, assurant ainsi un approvisionnement adéquat pour répondre aux besoins croissants de la population.

Mots clés : Tindouf, Eau saumâtre, Déminéralisation, Osmose Inverse.

Abstract:

Water desalination in Algeria represents a crucial strategic approach, particularly for arid and desert regions where traditional water resources are limited. This technology proves to be an essential solution to address the water deficit affecting Tindouf and several other Algerian cities. In this context, our study aims to dimension the expansion of the brackish water demineralization plant in Tindouf, which uses reverse osmosis technology. The main objective is to design an expansion capable of bridging the current water deficit, thus ensuring an adequate supply to meet the growing needs of the population.

Keywords: Tindouf, Brackish water, Demineralization, Reverse osmosis.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des planches

Symbole et abréviation

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique

I.1 GÉNÉRALITÉS SUR LES EAUX SAUMÂTRES	1
I.1.1 Définition des eaux saumâtre :	1
I.1.2 Notion de salinité :	1
I.1.3 LA DURETE DU L'EAU :	2
I.1.3.1 CONSEQUENCES DE LA DURETE :	2
I.1.3.1.2 Conséquences pratiques et domestiques :	2
I.1.3.1.3 Conséquences sanitaires	3
I.2 LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES ET PROCÉDÉS DE DÉMINÉRALISATION :	3
I.2.1 Procédés de déminéralisation par Distillation.....	3
I.2.2 Les procédés membranaires	6
I.2.2.1.1 Electrodialyse :	6
I.2.2.1.2 L'osmose inverse :	6
I.2.2.1.3 Le Principe de l'Osmose :	6
I.2.2.1.4 Membranes d'osmose inverse :	7
I.3 CHOIX DE TECHNIQUE DE DÉMINÉRALISATION	9
I.3.1 Critères de choix :	9
I.3.1.1 Distillation :	10
I.3.1.2 Electro-Dialyse :	10
I.3.1.3 L'osmose inverse :	11

CHAPITRE II: Présentation de la zone d'étude

II.1 SITUATION GÉOGRAPHIQUE :	13
II.2 SITUATION TOPOGRAPHIQUE :	14
II.3 DESCRIPTION GÉOLOGIQUE	15
II.3.1 Sismicité :	15
II.3.2 Aperçu géologique :	15
II.4 HYDROGÉOLOGIQUE :	16
II.4.1 Principales formations de la nappe de Hassi Abdellah.....	17
II.5 RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES.....	18
II.5.1 Nappe hammadienne :	18
II.5.2 Nappe des grés de l'Ordovicien supérieur :	18
II.5.3 Nappe du Dévonien Inférieur :	18
II.5.4 Nappe des calcaires et dolomies du Viséen terminal :	18
II.6 ÉVALUATION DES RESSOURCES EN EAU ET DE LEUR DISTRIBUTION À TINDOUF :	18

II.6.1 Forages.....	19
II.6.2 Qualité de l'eau de la nappe de Hassi Abdallah :	19
II.7 SYSTÈME SASS	20
II.7.1 Caractéristiques principales de la nappe du Continental Intercalaire :	20
II.8 SITUATION CLIMATOLOGIQUE :	21
II.8.1 La température :	21
II.8.2 Etude des précipitations :	22
II.8.3 Les vents :	22
II.8.4 Humidité :	22
II.8.5 L'insolation :	23
CHAPITRE III : Description de la station de déminéralisation dans la ville de Tindouf	
III.1 LA STATION DE DÉMINÉRALISATION DANS LA VILLE DE TINDOUF PAR LA MÉTHODE D'OSMOSE INVERSE :	25
III.2 LE PROCESSUS DE DÉMINÉRALISATION	28
III.2.1 Réservoir de l'eau brute :	28
III.2.2 Station de pompage	28
III.2.2.1 Pompe d'alimentation :	28
IV.2.2.1.....	28
III.2.2.2 Pompe de distribution :	28
III.2.3 Prétraitement :	28
III.2.3.1 Filtre à sable :	29
III.2.3.2 Dosage de Anti_Scalent :	30
III.2.3.3 Filtre à cartouche de 5 microns :	30
III.3 BLOCS D'OSMOSE INVERSE	30
III.3.1 Type de l'arrangement :	30
III.3.2 Membranes de l'osmose inverse :	31
III.3.3 Système de nettoyage des modules.....	33
III.4 RÉSERVOIR D'EAU TRAITÉE :	33
III.5 FONCTIONNEMENT DE LA STATION :	33
III.5.1 Le mécanisme de fonctionnement.....	33
III.5.1.1 Inspection initiale :	33
III.5.1.2 Préparation du système :	33
III.5.1.3 Activation du traitement :	34
III.5.1.4 Surveillance continue :	34
III.5.2 Processus de traitement de l'eau :	34
III.5.2.1 Prétraitement	35
III.5.2.2 L'osmose inverse :	36
III.5.2.3 Système de rinçage des modules	37
III.5.2.4 Système de mélange	37
III.5.2.5 Désinfection	38
III.5.3 Maintenance des osmoseurs	38

CHAPITRE IV : Estimation de l'évolution des besoins en eau

IV.1 ESTIMATION DES BESOINS FUTURS (HORIZONS DE CALCUL) :	41
IV.1.1 Evaluation de la population :	41
IV.1.2 Dotation.....	42
IV.1.3 Estimation des besoins journaliers	43
IV.1.3.1 Besoins domestiques :	43
IV.1.3.2 Besoins des équipements :	44
IV.2 CALCUL DES DÉFICITS EN EAU POTABLE :	44
IV.3 CRITÈRES DE POTABILITÉ D'UNE EAU DESTINÉE À LA CONSOMMATION	45
IV.3.1 Les normes de potabilité	46
CHAPITRE V : Dimensionnement de l'extension de la station de déminéralisation	

V.1 BASES DE CONCEPTION ET DONNÉES NÉCESSAIRES POUR LE DIMENSIONNEMENT D'UNE UNITÉ DE DÉMINÉRALISATION :	49
V.1.1 Alimentation en eau brute :	49
V.1.2 Qualité de l'eau brute	49
V.1.3 Exigences du prétraitement :	50
V.1.4 Les conditions environnementales :	50
V.2 DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION DE DÉMINÉRALISATION D'OSMOSE INVERSE : .	51
V.2.1 Les différents types de montage de l'installation d'OI :	51
V.2.2 Les facteurs influençant le dimensionnement :	52
V.2.3 Calcul de la molalité :	55
V.2.4 Calcul de la concentration de l'eau d'alimentation en ppm NaCl :	56
V.2.5 Calcul des conversions :	56
V.2.5.1 Calcul des conversions :	60
V.2.5.2 Calcul des nouvelles conversions :	61
V.2.6 Calcul de nombre de perméateurs	62
V.2.7 Calculer différents débits.....	62
V.2.8 Calcul de la qualité de l'eau produite :	63
V.3 LE TRAITEMENT DE FINITION :	65
V.3.1 Technologies de la reminéralisation :	65
V.3.2 Reminéralisation des eaux osmosées de notre étude	66
V.3.2.1 Calcul de la quantité d'eau de mélange :	66
V.3.3 Conception de systèmes de désinfection :	67
V.4 LES DIFFÉRENTES ÉTAPES DE LA CHAÎNE DE PRÉTRAITEMENT :	69
V.4.1 Filtre à sable	70
V.4.1.1 Filtres à sable rapide sous pression	70
V.4.1.1.1 Média filtrant	71
V.4.1.2 Calcul du filtre à sable :	72
V.4.2 L'antiscalant ou le séquestrant :	75
V.4.3 Filtration à cartouches 5 µm :	77
V.4.3.1 Calcul du nombre de cartouches et filtres à cartouches nécessaire à la station de déminéralisation :	77
V.5 CHOIX DES POMPES INTERMÉDIAIRE:	78
V.5.1 Dimensionnement des conduites :	79

V.5.2 Les pertes de charge totales :.....	79
V.5.3 Calcul de la hauteur manométrique totale (HMT) :	81
V.6 SIMULATION PAR LOGICIEL IMS DESIGN	82
V.6.1 Paramètre de fonctionnement de logiciel (IMS-Design).....	82
V.6.2 Etapes de simulation.....	83
V.6.2.1 Analyse :.....	83
V.6.2.2 Dimensionnement :.....	83
V.6.3 Résultats obtenus par logiciel :.....	84
V.6.4 Pompe haute-pression :	87
V.7 LE PROCESSUS DE CHAÎNE DE DÉMINÉRALISATION :	88

CHAPITRE VI : Devis estimatif pour l'extension de la station de déminéralisation de Tindouf

VI.1 DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF :	91
VI.2 CALCUL ÉCONOMIQUE.....	91
VI.2.1 Estimation des coûts d'investissement.....	91
VI.2.2 Coût d'Exploitation :.....	94
VI.2.3 Coût Global de la station.....	96
VI.2.4 Prix unitaire du mètre Cube d'eau traité	96

CONCLUSION GENERALE

Références bibliographiques

Annexes

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Classification des eaux selon leur salinité.	2
Tableau I-2 : Avantages et inconvénients des techniques de déminéralisation s'appuyant sur la distillation.	10
Tableau I-3 : Avantages et inconvénients de l'électrodialyse.	10
Tableau I-4 : Avantages et inconvénients de l'osmose inverse.	11
Tableau II-1 : les caractéristiques techniques du forage.	19
Tableau II-2 : les analyse de l'eau de forage.	20
Tableau III-1 : Les analyse de l'eau brute.	26
Tableau III-2 : les caractéristiques par ligne.	31
Tableau III-3 : Les caractéristiques les plus significatives des membranes.	32
Tableau III-4 : Présente les caractéristiques l'eau brute.	35
Tableau III-5 : Présente les différentes mesures de l'eau dans les filtres à sable et les filtres à cartouche.	36
Tableau III-6 : Présente les différentes pressions d'osmose inverse de chaque ligne.	36
Tableau III-7 : Présente le rendement moyenne de chaque ligne.	37
Tableau III-8 : état de fonctionnement journalier de la station.	38
Tableau III-9 : Présente les différentes mesures de l'eau avant la distribution.	38
Tableau IV-1 : Evolution démographique de la ville de Tindouf.	42
Tableau IV-2 : Dotation par l'hypothèse volontariste.	43
Tableau IV-3 : Débit moyen journalier domestiques à différents horizons.	44
Tableau IV-4 : Besoins moyens en eau totales pour chaque horizon.	44
Tableau IV-5 : Déficits en eau potable pour chaque horizon.	45
Tableau IV-6 : Normes de potabilité de l'eau fixées par ministère algérien des ressources en eaux.	47
Tableau V-1 : Les analyse de l'eau brute.	50
Tableau V-2 : conditions standards de fonctionnement.	52
Tableau V-3 : La molalité moyenne des composants.	56
Tableau V-4 : valeurs des capacités recalculées avec les nouvelles conversions.	61
Tableau V-5 : Résultats de calculs de l'installation d'osmose inverse.	65
Tableau V-6 : Caractéristiques de L'hypochlorite de sodium utilisé.	68
Tableau V-7 : Caractéristiques du système de dosage de L'hypochlorite de sodium.	69
Tableau V-8 : Résultats de calcul de la perte de charge initiale dans le filtre à sable.	74
Tableau V-9 : Caractéristiques du filtre à sable.	75
Tableau V-10 : Caractéristiques de l'antiscalant utilisé.	76
Tableau V-11 : Caractéristiques du système de dosage de l'antiscalant.	77
Tableau V-12 : Caractéristiques techniques de la cartouche et filtre à cartouche.	77
Tableau V-13 : Résultats de calcul du nombre de cartouches et filtres à cartouche.	78
Tableau V-14 : Nombre de singularités entre les pompes et OI.	80
Tableau V-15 : Les caractéristiques de la pompe choisie.	82
Tableau VI-1 : Coût d'investissement du prétraitement.	92
Tableau VI-2 : Coût d'investissement du réservoir.	92
Tableau VI-3 : Montant de l'ensemble de la tuyauterie et des accessoires.	92
Tableau VI-4 : Coût d'investissement des systèmes d'osmoseur.	93
Tableau VI-5 : Coût d'investissement de systèmes pompage.	93
Tableau VI-6 : Montant de l'ensemble des salaires annuels.	95
Tableau VI-7 : Coût de la consommation des produits chimiques.	95

Liste des figures

Figure I-1 : Les différents procédés de dessalement (DARDOUR, 2007)	3
Figure I-2 : Distillateur à simple effet (DANIS, 2003)	4
Figure I-3 : Distillateur à multiple effets (Bank, 2019).....	4
Figure I-4 : Distillation à détentes successives (DANIS, 2003)	5
Figure I-5 : Schéma de principe de la compression de la vapeur (DANIS, 2003).....	5
Figure I-6 : Principe de l'électrodialyse (DANIS, 2003).	6
Figure I-7 : Principe de l'osmose inverse (RENAUDIN, 2003).	7
Figure I-8 : Module spiralé (WITTMANN, 2016).....	9
Figure II-1 : Situation géographique de la région Tindouf. (BERSI, 2016).....	14
Figure II-2 : Carte topographique de la wilaya de Tindouf (Carte de Tindouf, 2023)	15
Figure II-3 : Carte géologique du bassin de Tindouf. (BERSI, 2016).....	16
Figure II-4 : lithostratigraphie synthétique du bassin de Tindouf. (LOURGUIOUI, 2019).....	17
Figure II-5 : Températures mensuelles de Tindouf au cours de la période 1991-2020. (Climate Change Knowledge Portal, 2024).....	21
Figure II-6 : Précipitations moyennes mensuelles de Tindouf durant la période 1991-2020. (Climate Change Knowledge Portal, 2024).....	22
Figure III-1 : situation de la Station de déminéralisation.	26
Figure III-2 : Schéma du réseau de forage alimentant la station de de déminéralisation.	27
Figure III-3 : Filtre à sable.	29
Figure III-4 : Filtre à cartouche.	30
Figure III-5 : Unité d'osmose inverse.	31
Figure III-6 : modules d'osmose inverse.....	32
Figure IV-1: Répartition de la population.	42
Figure V-1 : Les différents types de montage de l'installation d'OI	52
Figure V-2 : schéma de mélange.	66
Figure V-3 : Schéma représentatif d'un filtre à sable horizontal à flux descendant.....	71
Figure V-4 : média filtrant de filtre à sable.	71
Figure V-5 : Schéma du pompage.....	79
Figure V-6 : interface du logiciel IMS-Design pour l'étape analyse.	83
Figure V-7 : interface du logiciel IMS-Design pour l'étape de sélection et de dimensionnement.	83
Figure V-8 : les conditions détaillées de simulation.....	84
Figure V-9 : les résultats des calculs à chaque étage.....	84
Figure V-10 : interface du logiciel IMS-Design pour l'étape exigence chimique.	85
Figure V-11 : interface du logiciel IMS-Design pour l'étape post-traitement.	85
Figure V-12 : Configuration de système avec reminéralisation.	86
Figure V-13 : la qualité de l'eau pour différentes étapes du traitement de l'eau.....	87
Figure V-14 : Schéma explicatif de l'unité de déminéralisation.	88

Liste des planches

PLANCHE 01 : PLAN DE SITUATION.

PLANCHE 02 : PLAN D'AMENAGEMENT EXTERIEUR.

PLANCHE 03 : PLAN DE MASS DE L'EXTENSION.

PLANCHE 04 : PLAN P&ID.

Symbole et abréviation

OMS : Organisation mondiale de la santé

MES : Matières en suspension

MSF : La distillation multi-flash

MED : La distillation à multiples effets.

VC : La compression mécanique de vapeur.

OI : Osmose inverse

ED : Electrodialyse

GPM : Gallon par minute

AEP : Alimentation en Eau Potable

NTU: Nephelometric Turbidity Unit

OI: Osmose Inverse

PH : Potentiel hydrogène

Ppm : partie par million

PX : Echangeur de pression

TDS : Total Dissolved Solids

PDAU : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme

P&ID : Piping & Instrumentation Diagram

Qf : Débit d'alimentation

Qp : Débit de production

QR : Débit de rejet

Y : Taux de conversion

PCF : Facteur de correction de la production

PF : La pression d'alimentation

TCF : Facteur de correction de température

MFRC : Facteur de correction du flux de rétention de la membrane

T : Température

Π_{FRi} : Différence de pression osmotique

SP : Taux de passage de sel

ΔP_{BAL} : La perte de charge à travers raccordements

Π : Pression osmotique

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est l'élément vitale pour l'être humaine, tout comme le soleil et la terre, et constitue la condition essentielle de la vie, voire la vie elle-même. L'existence humaine dépend entièrement de cette substance. La géosphère, l'atmosphère et la biosphère entretiennent toutes des relations étroites avec l'eau. Cependant, avec le développement de l'humanité et des mégapoles, ainsi que l'industrialisation rapide, la disponibilité de l'eau devient un problème pressant, et cela le sera encore plus dans un avenir proche, ce qui est préoccupant. Dans les pays de l'hémisphère nord, cela pose un problème de qualité de l'eau, tandis que dans les pays de l'hémisphère sud, la question concerne à la fois la quantité et la qualité de l'eau.

Entre 1950 et 1990, la consommation mondiale d'eau a triplé, alors que la population mondiale a augmenté de 2,3 milliards d'habitants. La pénurie d'eau affecte déjà tous les continents et plus de 40 % de la population mondiale. (UNESCO, 2020)

L'Algérie n'échappe malheureusement pas à la raréfaction de ce précieux liquide. Les ressources en eau du pays proviennent des eaux de surface ainsi que des eaux souterraines. L'augmentation de la population dans la Wilaya de Tindouf et le développement industrielle entraîne des besoins en eau de plus en plus importants. La sécheresse et les risques de pollution des eaux souterraines nécessitent une attention particulière, mais le principal problème réside dans les teneurs élevées en sel. Mais l'Algérie, riche en ressources hydriques salines, se tourne vers le dessalement pour améliorer l'approvisionnement en eau potable selon les normes. Il existe plusieurs méthodes pour obtenir de l'eau dessalée à partir de l'eau de mer et de l'eau saumâtre, incluant des méthodes thermiques et des techniques membranaires, ces dernières étant les plus utilisées à grande échelle industrielle.

Dans le cadre de notre projet, nous allons aborder en premier chapitre une synthèse bibliographique sur les techniques de dessalement des eaux saumâtres et les principes de choix de la technique adoptée pour chaque qualité d'eau à déminéraliser et la quantité à produire ; le deuxième chapitre sera consacré à la présentation de la région d'étude afin de ressortir les différents paramètres intervenant dans le dimensionnement ; nous allons présenter dans le troisième chapitre notre constat de l'état de fonctionnement de la station de déminéralisation de Tindouf et de voir les anomalies de fonctionnement afin de les prendre en considération dans notre étude; en quatrième chapitre, nous allons estimer les besoins en eau de la ville et déterminer le débit moyen journalier pour différents horizons temporels afin de procéder au

dimensionnement de l'extension de la station de déminéralisation à l'horizon futur, qui sera déterminé dans le cinquième chapitre. On abordera dans le sixième chapitre le calcul du devis quantitatif et estimatif de l'extension proposée. En conclusion de ce travail nous avons constaté la nécessité de procéder en urgence à trouverai une solution au problème de manque d'eau notre travail va constituer une partie de la résolution de ce problème.

CHAPITRE I

Synthèse bibliographique

CHAPITRE I

Synthèse bibliographique

Introduction :

L'eau douce est cruciale pour la vie et sa rareté est devenue un enjeu majeur à l'échelle mondiale. En raison de l'amélioration du niveau de vie, la consommation d'eau augmente, entraînant des tensions dans certaines régions en raison de la rareté et de la pollution de l'eau. Environ une personne sur six souffre du manque d'eau potable à l'échelle mondiale, un chiffre qui devrait augmenter à un tiers de la population d'ici 2025. Les principales causes de ce problème incluent le réchauffement climatique, la surconsommation et le gaspillage d'eau.

Pour répondre à cette crise, le dessalement de l'eau salée est devenu une stratégie essentielle pour compléter les sources d'eau douce de plus en plus rares. La déminéralisation de l'eau saumâtre est également une méthode vitale pour fournir de l'eau douce dans de nombreuses régions du monde. Ces approches sont cruciales pour assurer un approvisionnement en eau fiable et de qualité, face à une demande croissante et à la menace croissante de pénurie d'eau.

I.1 Généralités sur les eaux saumâtres

I.1.1 Définition des eaux saumâtre :

L'eau saumâtre se définit comme une eau salée impropre à la consommation, dont la teneur en sel est moindre que celle de l'eau marine. Sa concentration en sels se situe généralement entre 1 et 10 g/L. Bien que parfois présente en surface, elle se trouve principalement dans les nappes souterraines, où elle s'enrichit en sels en traversant divers types de sols. Sa composition chimique varie donc selon la nature géologique des terrains parcourus. Les sels les plus couramment rencontrés dans ces eaux sont le carbonate de calcium (CaCO_3), le sulfate de calcium (CaSO_4), le carbonate de magnésium (MgCO_3) et le chlorure de sodium (NaCl). Cette diversité de minéraux reflète la complexité des interactions entre l'eau et son environnement géologique. (RENAUDIN, 2003)

I.1.2 Notion de salinité :

La salinité, qui mesure la concentration en sels dissous dans l'eau, s'exprime généralement en mg/L ou ppm plutôt qu'en g/L, en raison des faibles quantités concernées. Le concept de Total des Solides Dissous (TDS) est utilisé pour décrire la quantité globale de substances dissoutes, englobant minéraux, métaux, cations et anions présents dans l'eau, offre une vision complète de la composition en sels de l'eau.. (RENAUDIN, 2003)

L'industrie de dessalement fait une distinction entre l'eau de mer et les eaux saumâtres. Une

classification de l'eau de source selon la quantité des solides dissous est donnée dans le tableau I-1

Tableau I-1 : Classification des eaux selon leur salinité.

Source d'eau	Salinité (mg/L)
Eau douce	<1,000
Eau légèrement saumâtre	1000-5000
Eaux modérément saumâtres	5000-15000
Eaux très saumâtres	15000-35000
Eau de mer	35000- 42000

(LAHNIK, 2019)

Le tableau I-1 montre clairement la salinité de l'eau. Cela permet de catégoriser les différentes sources d'eau en fonction de leur teneur en sel, ce qui est crucial pour déterminer les méthodes de traitement appropriées pour chaque type d'eau.

I.1.3 LA DURETE DU L'EAU :

La dureté d'une eau traduit sa teneur globale en ions calcium (Ca^{++}) et magnésium (Mg^{++}). Elle est exprimée en degrés hydrotimétriques : un degré français correspond à 4 mg/l de calcium ou à 2,4 mg/l de magnésium.

La dureté d'une eau est due à la présence des ions métalliques bivalents, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Sr^{2+} , mais en pratique on considère souvent que la dureté totale d'une eau de consommation est égale à la somme de sa dureté calcique et la dureté magnésienne :

$$\text{TH} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}].$$

I.1.3.1.1 CONSEQUENCES DE LA DURETE :

Il existe plusieurs conséquences dont :

I.1.3.1.2 Conséquences pratiques et domestiques :

L'eau dure n'est pas mauvaise pour la santé. Au contraire, il semble que les populations alimentées en eau naturellement dure sont moins sujettes à l'infarctus du myocarde. En revanche, l'eau adoucie peut présenter certains inconvénients tels que pour des localités ayant des anciennes canalisations en plomb induit à la solubilité du plomb.

L'utilisation domestique des eaux dures pose les principaux problèmes suivants :

- ❖ L'eau dure mousse difficilement
- ❖ L'eau dure produit des dépôts calcaires qui rêche le linge, entartre la tuyauterie.

- ❖ Elle durcit les légumes secs à la cuisson
- ❖ Goût désagréable au thé

I.1.3.1.3 Conséquences sanitaires

Le dépôt calcaire:

- ❖ Favorise la multiplication bactérienne dans les installations
- ❖ Augmente la fréquence des calculs urinaires
- ❖ Effet laxatif en cas de fragilité intestinale

I.2 Les différentes techniques et procédés de déminéralisation :

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

- ❖ Les procédés par distillation ;
- ❖ Les procédés membranaires ;

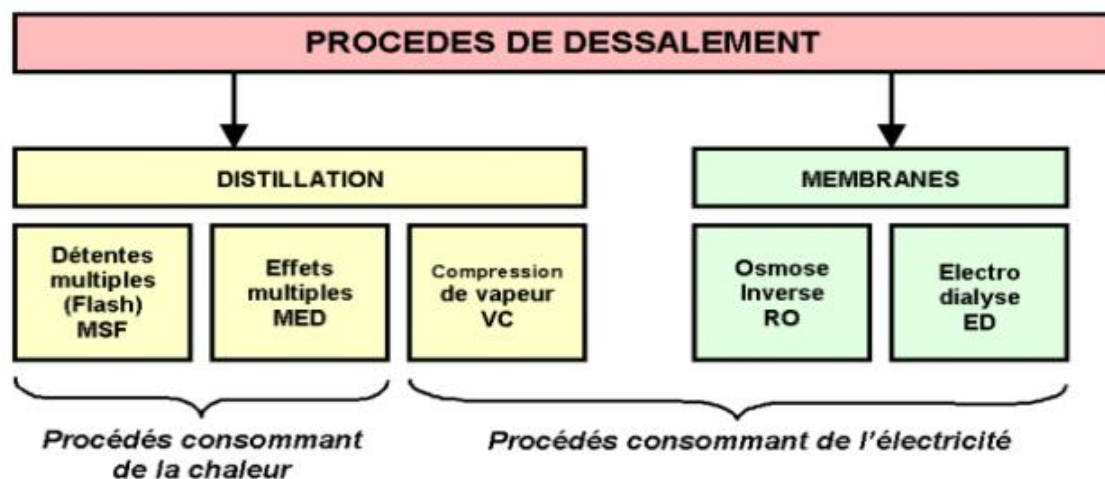


Figure I-1 : Les différents procédés de dessalement (DARDOUR, 2007)

Le schéma présente les principaux procédés de dessalement, divisés en deux grandes catégories : la distillation, qui utilise de la chaleur pour éliminer le sel de l'eau, et les membranes, qui utilisent de l'électricité pour le dessalement.

I.2.1 Procédés de déminéralisation par Distillation

► Distillation à simple effet :

C'est un dispositif qui reproduit le cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte l'eau de mer à ébullition. La vapeur produite se condense au contact d'un second serpentin alimenté par de l'eau de mer froide. Un groupe électropompe extrait l'eau condensée, tandis qu'une autre pompe l'eau de mer concentrée. (TATA-DUCRU, 2009)

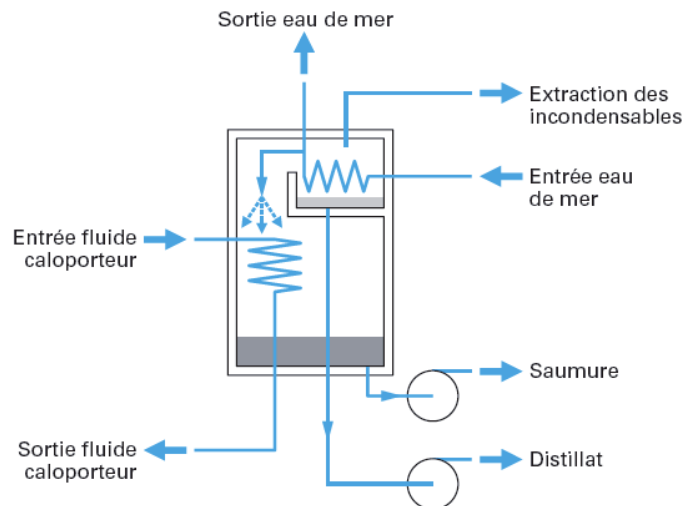


Figure I-2 : Distillateur à simple effet (DANIS, 2003)

► **Distillation à multiples effets :**

Son objectif est d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur à simple effet. Étant donné que la température d'ébullition de l'eau varie avec la pression, on peut utiliser la chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation pour chauffer une seconde chambre à une pression et une température plus faible, et ainsi de suite. (Bank, 2019)

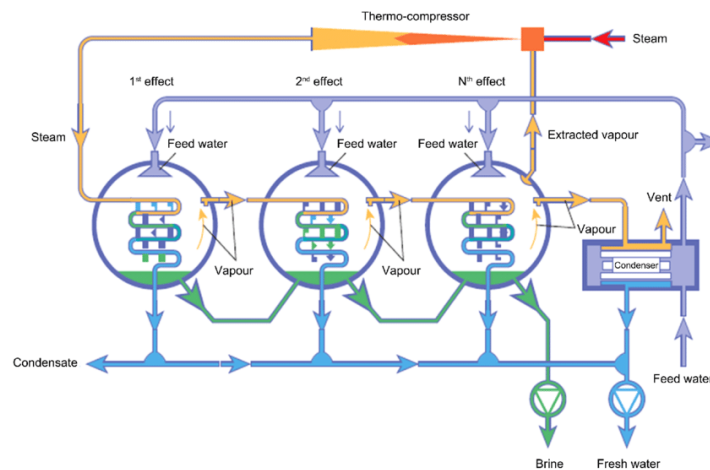


Figure I-3 : Distillateur à multiple effets (Bank, 2019)

► **Distillation par détente successives ou Flash (MSF) :**

Le procédé d'évaporation à détente étagée, connu sous le nom de MSF (multistage flash) dans la littérature anglo-saxonne, consiste à mettre une enceinte sous vide, isolée et contenant uniquement de l'eau de mer. Maintenu en équilibre avec sa vapeur à une température "T" et une pression "P", lorsque l'eau atteint environ 120°C, elle est introduite dans l'enceinte où la pression est inférieure à la pression de saturation, provoquant une vaporisation instantanée par

détente. La chaleur de la vapeur est alors transférée à l'eau froide circulant dans les tubes du condenseur. La vapeur se condense sur un faisceau tubulaire situé dans la partie supérieure de l'enceinte, permettant de récupérer de l'eau distillée pure. (DANIS, 2003)

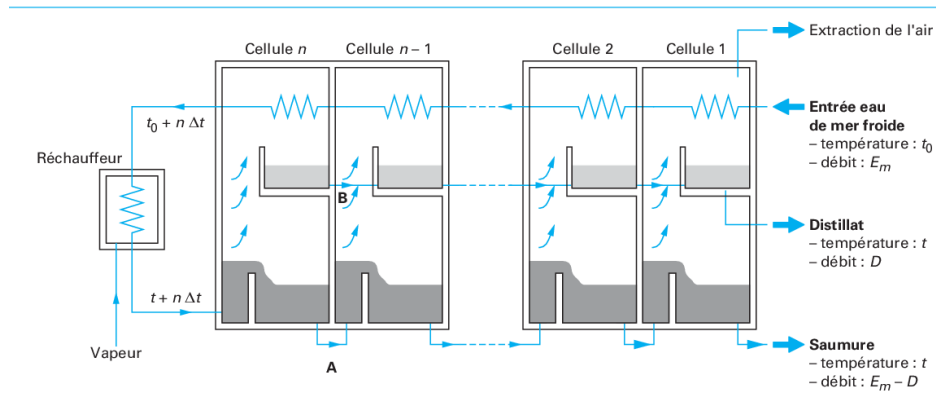


Figure I-4 : Distillation à détente successive (DANIS, 2003)

► Distillation avec compresseur de vapeur :

Dans ce procédé, l'eau à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte isolée thermiquement. La vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire et se condense, provoquant l'ébullition de l'eau salée. (DANIS, 2003)

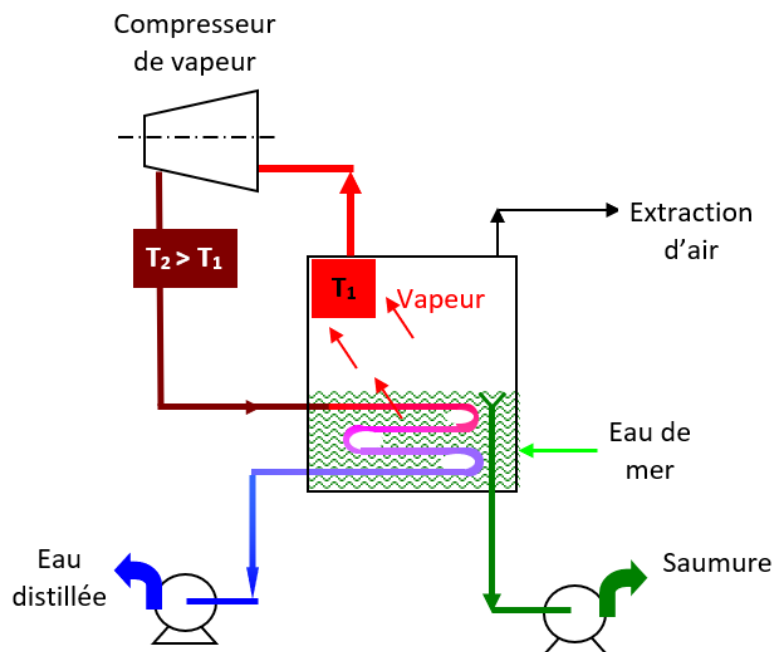


Figure I-5 : Schéma de principe de la compression de la vapeur (DANIS, 2003).

I.2.2 Les procédés membranaires

I.2.2.1.1 Electrodialyse :

C'est une technique de séparation basée sur le transfert sélectif des ions à travers des membranes à perméabilité sélective (Figure I-6). Ainsi, seuls les anions peuvent traverser une membrane anionique (C), tandis que seuls les cations peuvent traverser une membrane cationique (A). Sous l'action d'un champ électrique, les sels contenus dans l'eau à traiter sont transférés des compartiments de déconcentration vers les compartiments de concentration. Cela produit d'un côté une saumure sur-concentrée et de l'autre, de l'eau douce.

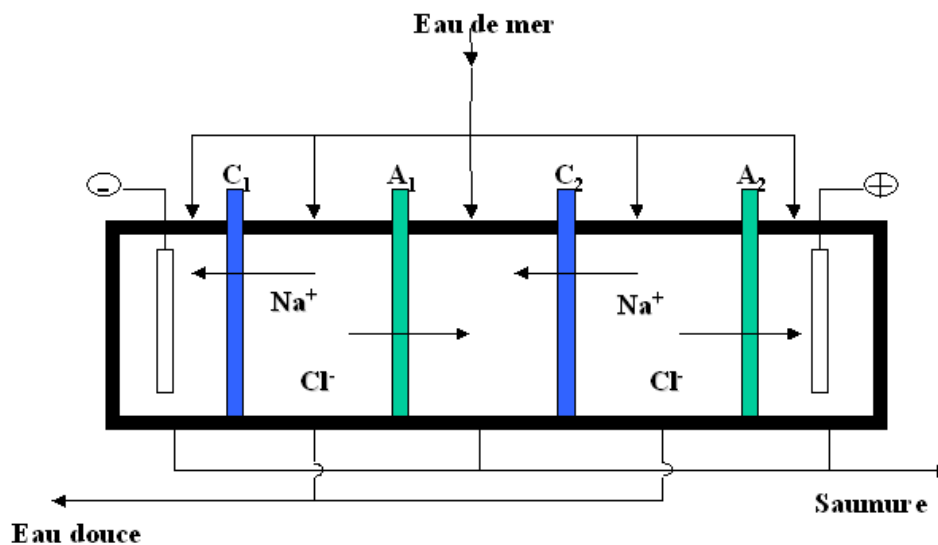


Figure I-6 : Principe de l'électrodialyse (DANIS, 2003).

I.2.2.1.2 L'osmose inverse :

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous à l'aide de membranes semi-perméables sous l'action de la pression. Ce procédé fonctionne à température ambiante sans impliquer de changement de phase. Les membranes utilisées permettent le passage des molécules d'eau tout en retenant les particules, les sels dissous, et les molécules organiques de taille inférieure à 10^{-7} mm. L'énergie requise pour l'osmose inverse est principalement électrique, consommée par les pompes haute pression.

I.2.2.1.3 Le Principe de l'Osмосe :

On appelle osmose le transfert de solvant (souvent de l'eau) à travers une membrane semi-perméable sous l'effet d'un gradient de concentration. Imaginons un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable, contenant deux solutions de concentrations différentes (figure I-7). Le phénomène d'osmose entraîne un écoulement d'eau de la solution diluée vers la solution concentrée. Si une pression est appliquée sur la solution

concentrée pour empêcher ce flux d'eau, la quantité d'eau transférée par osmose diminuera. À un certain point, la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique. (RENAUDIN, 2003)

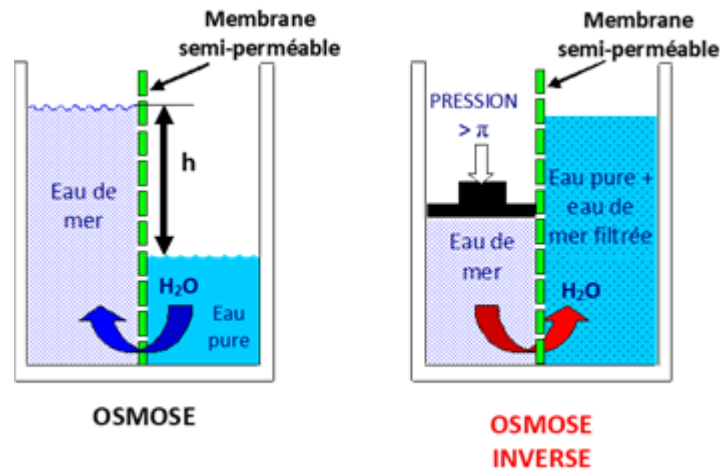


Figure I-7 : Principe de l'osmose inverse (RENAUDIN, 2003).

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 (voir figure I-7), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse. Pour les solutions suffisamment diluées, la pression osmotique notée π peut être calculée d'après la loi de **Van't Hoff** :

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

Avec :

- ❖ i : est le nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte,
- ❖ C : est la concentration en sels en mol.m^{-3}
- ❖ R : est la constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- ❖ T : est la température absolue de la solution en Kelvin.

I.2.2.1.4 Membranes d'osmose inverse :

On appelle membrane tout matériau qui, sous la forme de parois minces, oppose une résistance sélective au transfert des différents constituants d'un fluide, permettant ainsi la séparation de certains éléments de ce fluide. La membrane possède une surface plane dont la perméabilité est sélective. Son objectif principal est d'éliminer le sel. (STRATHMANN, 2001)

Elle assure également la rétention des composants indésirables dans l'eau (microalgues, bactéries, certains virus, microorganismes, micropolluants), supprime la turbidité (eaux troubles), limite les sous-produits de désinfection et permet la production d'une eau épurée. (MULDER, 1996)

A) Les Matériaux utilisés

❖ Les dérivés de cellulose :

Ces matériaux présentent une hydrophobicité élevée, ce qui réduit leur susceptibilité au colmatage. Il est recommandé de maintenir le pH dans une plage de 4 à 6,5 et de limiter la température à moins de 40°C pour éviter l'hydrolyse du matériau. Les dérivés de cellulose peuvent tolérer une exposition continue à de faibles concentrations de chlore. (JUERY, 2002)

❖ Le polypropylène :

Le polypropylène est utilisé pour la fabrication de membranes de microfiltration. C'est un matériau élastique qui résiste bien, sur le plan mécanique, aux rétro-lavages. Cependant, son caractère hydrophobe le rend assez sensible au colmatage. Il présente une bonne stabilité chimique dans une large gamme de pH, mais peut être détruit par le chlore. (JUERY, 2002)

❖ Les polysulfones :

Ce matériau possède d'excellentes propriétés mécaniques ainsi qu'une résistance chimique notable (résistance à une large gamme de pH et à une exposition continue au chlore). Cependant, le caractère hydrophobe des polysulfones les rend sensibles au colmatage par adsorption des molécules organiques. (JUERY, 2002)

B) Les modules spiralés des membranes d'OI :

Au sein des modules spiraux, une membrane plane est enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux qui recueille le filtrat. Cela forme un cylindre multicouche où le perméat s'écoule en suivant un chemin spiralé vers le tube poreux, tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux. (BAKER, 2012)

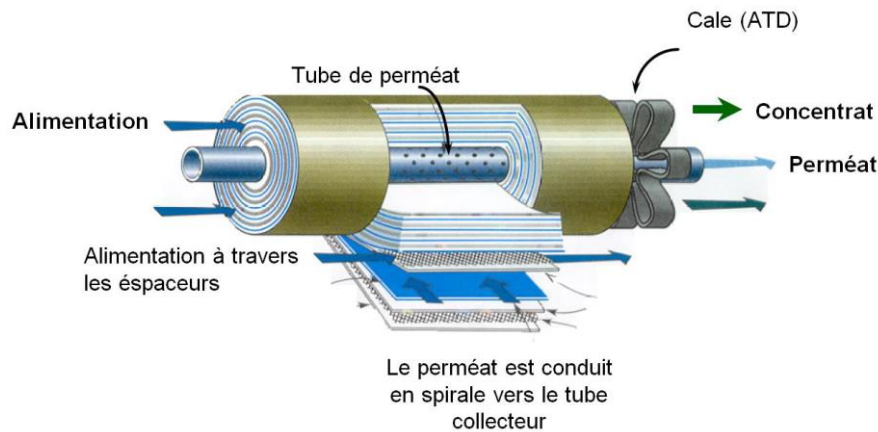


Figure I-8 : Module spirale (WITTMANN, 2016)

C) Caractérisations des membranes :

La caractérisation d'une membrane revient à mesurer les paramètres suivants :

- ❖ **Taux de conversion** : La fraction de débit du liquide qui traverse la membrane.
- ❖ **La sélectivité de la membrane** : En général, la sélectivité d'une membrane est déterminée par sa capacité à retenir ou rejeter spécifiquement des espèces telles que le sel, les macromolécules ou les particules. (HADJALI, 2012)

D) Durée de Vie des Membranes :

La durée de vie des membranes d'osmose inverse dépend de la nature de la membrane et des conditions d'utilisation :

- ❖ Qualité de l'eau.
- ❖ Température de l'eau.
- ❖ Pression de fonctionnement.
- ❖ Qualité du prétraitement.

I.3 Choix de technique de déminéralisation

I.3.1 Critères de choix :

Comme précédemment mentionné, plusieurs méthodes de déminéralisation de l'eau sont disponibles. Cependant, le choix du procédé approprié pour produire de l'eau potable dépend de nombreux paramètres et conditions techniques. Ces paramètres incluent principalement :

- ❖ **Efficacité énergétique** : C'est la mesure de l'énergie nécessaire pour produire un mètre cube d'eau douce.
- ❖ **Coûts opérationnels** : Ces coûts englobent la maintenance, l'approvisionnement en énergie et le traitement des déchets.
- ❖ **Impact environnemental** : Cela comprend l'évaluation des émissions de gaz à effet de

serre, de la consommation d'eau et de la production de déchets.

- ❖ **Fiabilité et durabilité** : Il s'agit de l'évaluation de la robustesse de la technologie, de sa résistance aux conditions changeantes et de sa durée de vie.

Et c'est dans cet esprit-là et en prenant en compte tous ces paramètres que nous allons citer les avantages et les inconvénients de chaque technique :

I.3.1.1 Distillation :

Le tableau I-2 montre les inconvénients e les avantages du procédé de distillation :

Tableau I-2 : Avantages et inconvénients des techniques de déminéralisation s'appuyant sur la distillation.

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Flexibilité de la salinité de l'eau d'alimentation. - Fiabilité, technique éprouvée - Production de haute pureté (<30ppm). - Haute capacité de production. 	<ul style="list-style-type: none"> - Important prétraitement - Consommation élevée de l'énergie. - Faible taux de conversion (30% -40%). - Production de saumure concentrée. - Capacité limitée.

En résumé, bien que la distillation soit une méthode efficace pour produire de l'eau douce à partir de l'eau de mer, elle présente des inconvénients significatifs en termes de consommation énergétique élevée, de coûts de construction, de production de saumure et d'entretien intensif.

I.3.1.2 Electro-Dialyse :

Le tableau I-3 montre les inconvénients e les avantages du procédé de l'électrodialyse :

Tableau I-3 : Avantages et inconvénients de l'électrodialyse.

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Consommation énergétique réduite - Faible production de saumure - Faible consommation d'énergie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les bactéries et les virus restent dans l'eau traitée. - L'impossibilité d'obtenir des eaux fortement déminéralisées. - Limitations de la concentration de sel dans l'eau d'alimentation(<3000ppm).

I.3.1.3 L'osmose inverse :

Le tableau I-4 montre les inconvénients e les avantages du procédé d'OI :

Tableau I-4 : Avantages et inconvénients de l'osmose inverse.

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Technique simple. - Un taux conversion élevé (supérieur à 55%) - Faible consommation d'énergie. - Amélioration de la qualité des traitements. - Flexibilité dans la quantité et la qualité de l'eau. - Flexibilité pour l'emplacement du site. - Convient pour l'eau de mer et saumâtre. - Flexibilité dans le démarrage et l'arrêt de l'opération de dessalement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensible à la contamination. - nécessite un prétraitement rigoureux. - nécessite une reminéralisations. - Nécessite une eau d'alimentation de haute qualité. - Exigence de la haute pression.

D'après ces deux derniers tableaux, il est notable que l'électrodialyse ne rivalise pas avec l'osmose inverse. En effet, l'osmose inverse semble bien plus avantageuse.

Conclusion :

Après une analyse détaillée des procédés de déminéralisation, il ressort que l'osmose inverse est la technique la plus couramment utilisée pour déminéraliser l'eau saumâtre. Elle permet d'éliminer les sels, les matières organiques et autres contaminants dissous. Dans les zones sahariennes, l'osmose inverse est particulièrement adaptée en raison de sa technologie éprouvée, de sa capacité à traiter des eaux à forte salinité, de sa faible consommation d'énergie et de ses coûts d'investissement réduits. En fait, Chaque technique a ses aspects positifs et négatifs, et l'Algérie de son côté a opté pour l'osmose inverse pour la majorité de ses usines.

CHAPITRE II

Présentation de la zone d'étude

CHAPITRE II

Présentation de la zone d'étude

Introduction :

La région de TINDOUF est considérée comme une zone de transition et de convergence entre les différentes régions du sud de l'Algérie est également affirmée comme une ville charnière entre le nord méditerranéen, le Sahara et Afrique, sa situation lui privilège d'être un pôle stratégique important de tout le Sahara algérien dans les années à venir. Dans la région de Tindouf comme dans tout le Sahara, la disponibilité des eaux constitue un facteur important pour la stabilité des populations locales. Tout développement économique est conditionné par le problème primordial de la disponibilité de l'eau.

II.1 Situation géographique :

La ville des Tindouf est située du Sud-Ouest de l'Algérie à proximité des frontières algéro-marocain à 1900 km d'Alger. La superficie est de l'ordre de 159000 Km². La région compte une population déclarée d'environ 116431 habitants en 2024 et elle comprend deux communes : Tindouf et Oum el assel.

Elle est limitée:

- Au Nord-Est par la Wilaya de Bechar.
- Au Sud-Est par la Wilaya d'Adrar.
- Au Nord et au Nord-Ouest par le Maroc.
- Au Sud par la Mauritanie.
- Au Ouest par le Sahara Occidental.

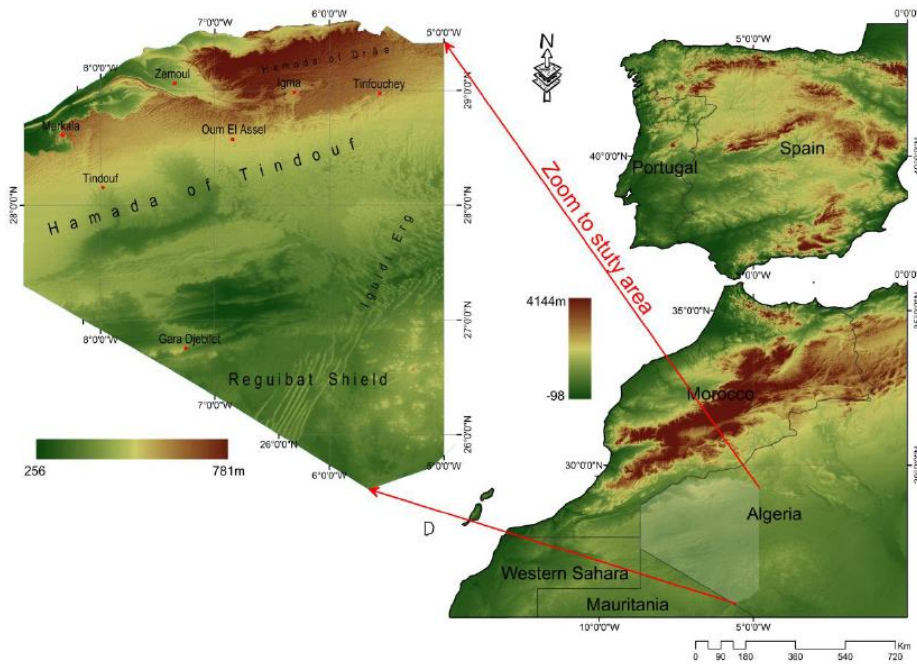


Figure II-1 : Situation géographique de la région Tindouf. (BERSI, 2016)

Cette carte fournit une représentation détaillée de la topographie de la région de Tindouf, mettant en évidence les variations d'altitude et les principales caractéristiques géographiques. Elle montre également la position de Tindouf par rapport aux pays voisins, fournissant un contexte géographique élargi.

II.2 Situation topographique :

La région de Tindouf est entre le parallèle 26°N et 28°N et le méridien 6°W et 9°W et sont situées respectivement 27° 40' 00" Nord et 8° 09' 00" Ouest Est en ce qui concerne son chef-lieu. La ville de Tindouf est située à l'extrême ouest de la région désertique de la Saoura, au sud de la hamada du Draâ et au nord-ouest de l'Erg Igoudi. Elle est caractérisée par :

- ❖ L'extension de la plate-forme Tabulaire des Hamadas et la haute région au Nord-Est, d'une altitude de 780 m.
- ❖ Une altitude moyenne de l'ordre de 450 m.
- ❖ Une altitude plus basse au nord du djebel El-Ouarkziz, de l'ordre 255 m.
- ❖ Une topographie plane avec des pentes faibles se situant entre 0 et 3 %. (ANIREF, 2018)

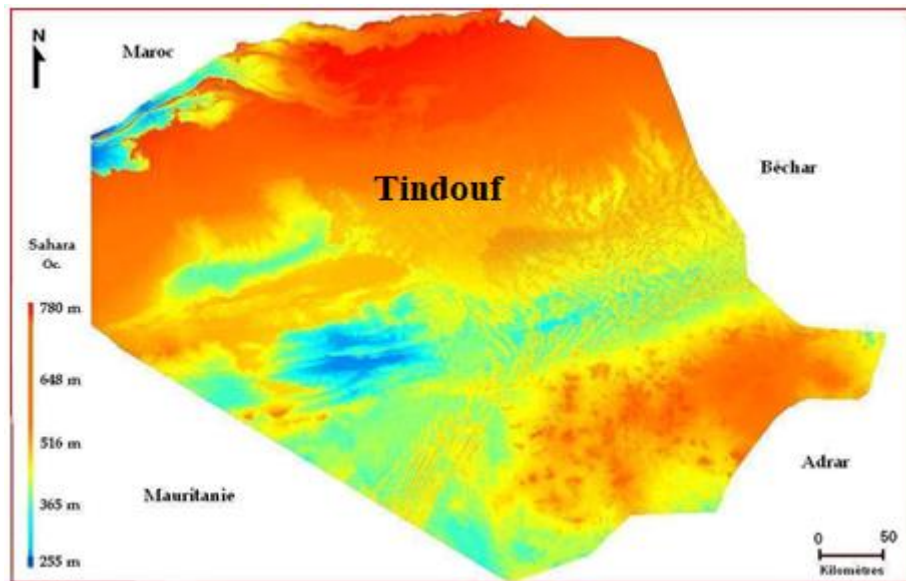


Figure II-2 : Carte topographique de la wilaya de Tindouf (**Carte de Tindouf, 2023**)

Cette carte topographique illustre la diversité des altitudes dans une région englobant plusieurs pays, avec des implications significatives pour l'environnement et le développement humain.

II.3 Description géologique

II.3.1 Sismicité :

La ville de Tindouf se trouve dans la zone territoriale où l'activité sismique est négligeable.

II.3.2 Aperçu géologique :

Le bassin de Tindouf est un bassin péricratonique asymétrique, avec un flanc sud qui fait partie de la zone cratonique stable de l'Afrique de l'Ouest. De nombreuses études ont été réalisées sur la géologie du bassin de Tindouf. Les affleurements, principalement d'âge Paléozoïque, reposent en discordance sur le socle précambrien au sud. Dans la partie centrale du bassin, ces affleurements sont recouverts par les formations tertiaires de la Hamada. (BERSI, 2016)

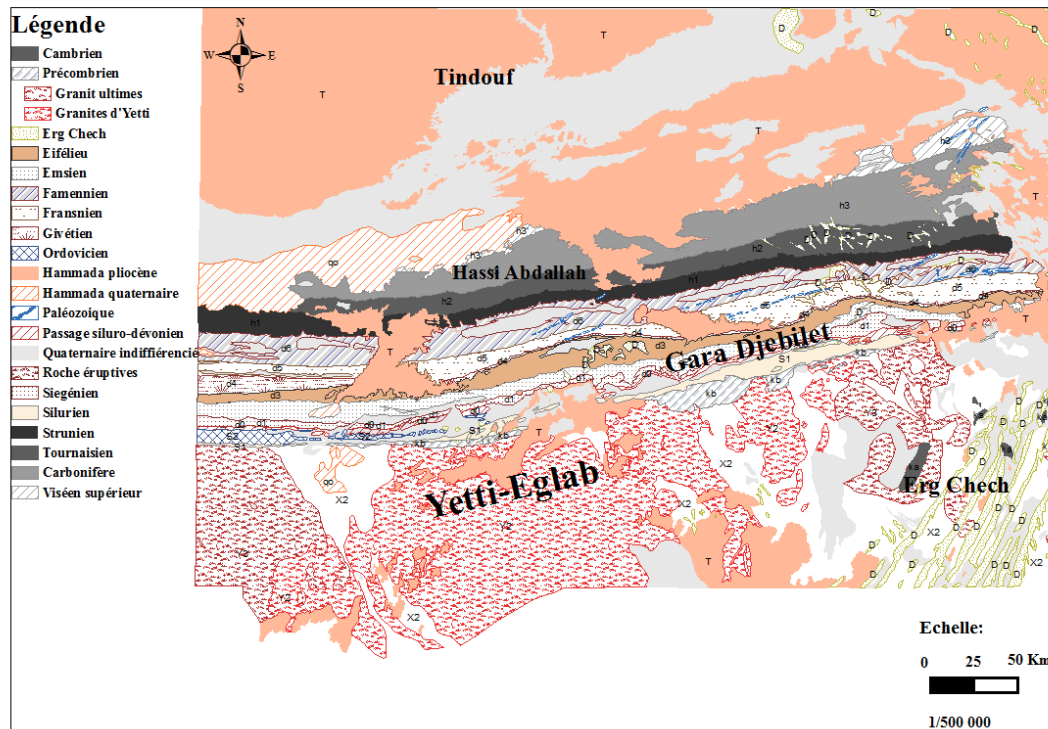


Figure II-3 : Carte géologique du bassin de Tindouf. (BERSI, 2016)

La carte géologique de la région de Tindouf illustre une diversité de formations géologiques et unités stratigraphiques, du Carbonifère au Tertiaire. Les principaux points de repère incluent Hassi Abdallah et Gara Djebilet, et les différentes couleurs et motifs représentent divers types de roches et formations géologiques.

II.4 Hydrogéologique :

L'étude hydrogéologique de la région met en évidence six niveaux susceptibles d'être aquifères. Ce sont, du bas au haut, comme présent dans la figure II-4 :

- ❖ Grès et grès quartzites de l'Ordovicien supérieur (grès de Rhezziane) : Cette formation est bien connue à Gara Djebilet, situé à environ 150 km au Sud-Est de la région d'étude.
- ❖ Grès du complexe Emsien-Pragien du Dévonien inférieur (grès de BIA) : Cette aquifère n'est connu qu'à Aouinet Belgraa situé à environ 50 Km au NE de Gara Djebilet.
- ❖ Grès du Famennien-Tournaisien du Dévonien Supérieur d'âge Carbonifère inférieur : Cette formation constitue un aquifère probable. (DHW Tindouf, 2004)
- ❖ Calcaires et grès du Viséen inférieur (Kerb Es Sefiat) : Cette formation n'est exploitée par aucun forage à Tindouf.
- ❖ Calcaires et calcaires dolomitiques du Viséen supérieur (formation d'Aïn El Berka) : D'âge Carbonifère inférieur (épaisseur moyenne = 80 m), c'est un aquifère bien connu et exploité par plusieurs forages dont 12 à Hassi Abdallah destinés à l'alimentation en eau

potable (AEP).

- ❖ Grès plus ou moins argileux du Tertiaire (Hamada) : Ils sont très exploités à Tindouf ville, Hassi Amar, Oum El Assel, Oued Naga, et à Graret El Harth avec un débit variable.

Ages	Stratigraphie	Epaisseurs (m)	Lithologie	Description
Quaternaire	Hamada	40 à 100		Calcaires silicifiés Grès et sables tuffolimoneux
Eocène				Discordance hercynienne
Paléocène				
Stéphanien	Merkala*	350 à 500		Argiles bariolées à passées de grès fins
Westphalien	Hassi Aouelouel			
Namurien	Djebel Rouina*	100		Grès à stratifications entrecroisées et obliques
Serpukhovien	Ouarkziz*	500 à 700		Calcaires, marnes à anhydrite, Coraux et <i>Gigantoproductus</i>
Viséen supérieur	Ain El Barka			
Viséen inférieur	Bétaina* Kerb Es Sefiat	300 à 500		Argiles à passées de grès et de calcaires
Tournaisien	Tazout III* Kerb Es Slougia	80 à 160		Grès, quartzites et siltes
Dévonien supérieur	Kerb En Naga Oued Ghazal Oued Tsabia	280 à 450		Anneaux de Liesegang Dolerite siltes, argiles,
Dévonien moyen	Oued Talha	40 à 100		Argiles à passées calcaires et gréseuses
Dévonien inférieur	Djebilet	50 à 100		Muraille de Chine Grès et argiles silteuses
Silurien	Sebkha Mabbes	120 à 700		Argiles noires à Graptolithes
Ordovicien supérieur	Ghezziane	0 à 200		Grès glaciaires à figures de cryoturbation au sommet
Précambrien	Yetti- Eglab	?		Granites et séries

Figure II-4 : lithostratigraphie synthétique du bassin de Tindouf. (LOURGUIOUI, 2019)

II.4.1 Principales formations de la nappe de Hassi Abdellah

En arrivant à Hassi Abdellah, l'écoulement s'arrête, ce qui s'explique par la disparition des fissures dans la formation réservoir au nord et au nord-est.

Les ressources en eaux souterraines liées à des couches calcaires du Viséen supérieur sont actuellement la source principale d'approvisionnement de la ville de Tindouf.

Elles constituent le plus important réservoir en eau de la région. Les eaux circulent au sein d'une formation de 20m d'épaisseur formée de calcaires et dolomies attribués au Viséen

Supérieur, cernés entre deux formations imperméables (argilo gypseuse et gypse).

II.5 Ressources en eaux souterraines

Les ressources principales dont dispose le bassin de Tindouf est souterraine et répartie en 4 différentes formations qui sont :

II.5.1 Nappe hammadienne :

La présente nappe s'étend sur toute la hammada, cette dernière se caractérise par des débits variants de 02 à 15 l/s et d'une minéralisation allant de 1.50 à 02 g/l, elle dispose d'une teneur élève en sulfate et chlorure.

Etant exploitée à des fins d'AEP, d'irrigation et d'abreuvement de cheptels, cette dernière se situe au Nord de la wilaya et dispose d'une qualité meilleure que celle du viséen terminal.

II.5.2 Nappe des grés de l'Ordovicien supérieur :

C'est une nappe à eau douce, se situe au sud de la wilaya aux environs de Gara-Djebilet. Le débit d'exploitation varie entre 02 et 12 l/s, ayant une bonne qualité chimique et se caractérise par un résidu sec allant de 0.60 à 1.50 g/l.

II.5.3 Nappe du Dévonien Inférieur :

Se situant au sud de la wilaya, se caractérise par de très faible débit (environ 02 l/s). Les capacités y afférents demeurent très faibles selon les informations disponibles.

II.5.4 Nappe des calcaires et dolomies du Viséen terminal :

C'est sur elle qui repose essentiellement la source principale d'approvisionnement en eau potable de l'agglomération de la ville de Tindouf. Cette dernière se situe au niveau de la localité de Hassi Abdellah connue par des débits variants de 10 à 45 l/s disposant d'une minéralisation qui ne peut atteindre 2,4 g/l, ce résidu sec peut aller jusqu'à 20 g/l en s'étalant vers l'est du Sebkhah de Hassi Abdellah.

II.6 Évaluation des ressources en eau et de leur distribution à Tindouf :

La Nappe des calcaires et dolomies du Viséen terminal est la source principale de l'alimentation en eau potable de la ville de Tindouf. Cependant les conditions aux limites de la nappe sont mal connues.

L'exploitation des nappes mentionnées précédemment pour alimenter Tindouf comprend un total de 12 forages, avec un débit mobilisé de 250 l/s.

II.6.1 Forages

La région de Hassi Abdallah se trouve à une distance de 23 kilomètres de la ville de Tindouf et comprend neuf forages destinés à l'alimentation en Eau Potable (AEP) de la ville. Le tableau II-1 présente les spécifications techniques de ces forages qui alimentent la station de déminéralisation de Tindouf.

- ❖ Les valeurs de la transmissivité varient entre $1,4 \cdot 10^{-2}$ et $8,7 \cdot 10^{-3}$ m²/s.
- ❖ Le rayon d'influence des forages est de l'ordre de 2500m.

Tableau II-1 : les caractéristiques techniques du forage.

Nome de Forage	Prof (m)	Débit Max (l/s)	Débit exploite (l/s)	Fréquence de pompage (h/24)	Nappe
SA3	90	33	30	24/24	Dolomies du viséen terminal
SA5	90.2	17	15	24/24	
SA7	90	30	25	24/24	
SA8	90	36	30	24/24	
SA9	99	19	15	24/24	
SA13	83	35	30	24/24	
SA15	90	8	8	24/24	
SA16	90	25	25	24/24	
SA6 bis	110	24	15	24/24	

(ADE, 2021)

Le tableau II-1 présente les caractéristiques de divers forages (SA3 à SA16) dans les dolomies du Viséen terminal, avec des profondeurs variant de 83 à 110 mètres, des débits maximaux et exploités de 8 à 36 l/s, et une fréquence de pompage constante de 24 heures sur 24.

II.6.2 Qualité de l'eau de la nappe de Hassi Abdallah :

Plusieurs campagnes de prélèvements ont été effectuées pour l'analyse de la qualité physico-chimique des eaux de la nappe de Hassi Abdallah à partir des différentes sources d'eaux de la zone du champ captant.

Dans ce rapport, on se base sur les résultats de l'étude élaborée par le laboratoire de ADE présentés dans le tableau II-2, qui visent la qualité des eaux des forages qui alimentent la station de déminéralisation.

Tableau II-2 : les analyse de l'eau de forage.

Paramètres physico-chimiques	Unité	SA3	SA5	SA7	SA8	SA9	SA16
Ca ²⁺	mg/l	220.64	218.42	212.5	208.65	224.68	230.53
Mg ²⁺	mg/l	98.64	104.01	104.28	102.62	105.49	98.53
Na ⁺	mg/l	338	308.26	392	440	322.6	240
K ⁺	mg/l	12	14	10	19	16	12
Cl ⁻	mg/l	749.16	608.26	800.98	716.67	610.42	587.15
SO ₄ ²⁻	mg/l	391.82	413.63	445.57	645.92	624.48	416.67
HCO ₃ ⁻	mg/l	273.28	268.4	272.06	244	317.2	278.16
NH ₄ ⁺	mg/l	0.001	0.031	0.043	0.005	0.007	0.039
NO ₃ ⁻	mg/l	45.9	41.1	51.7	44.2	49.3	57.1
NO ₂ ⁻	mg/l	0.007	0.004	0.043	0.001	0.007	0.004
PO ₄ ³⁻	mg/l	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
Fer	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
TAC (Alcalinité)	mg/l CaCo3	224	220	223	220	260	228

(ADE Tindouf,2023)

Le tableau II-2 présente l'analyse de l'eau de plusieurs forages (SA3 à SA9), incluant les concentrations en ions et l'alcalinité (TAC). Les valeurs montrent une variation notable entre les forages, notamment pour les ions sodium et sulfate et les nitrates.

II.7 Système SASS

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) s'étend sur une vaste superficie de plus d'un million de km², répartie entre trois pays : l'Algérie (700 000 km²), la Tunisie (80 000 km²) et la Libye (220 000 km²). Il s'étire du nord, depuis l'Atlas Saharien, jusqu'aux affleurements du Tidikelt et au rebord méridional du Tinrhert au sud, et de l'ouest, depuis la vallée du Guir-Saoura, jusqu'au Graben de Hun en Libye à l'est. Ce bassin contient une série de couches aquifères regroupées en deux réservoirs : le Complexe Terminal (CT) et le Continental Intercalaire (CI) (MEDIANI, 2020).

II.7.1 Caractéristiques principales de la nappe du Continental Intercalaire :

Cette nappe est contenue dans les horizons sablo-gréseux et argilo-gréseux du Continental Intercalaire, qui s'étend sur tout le Sahara Septentrional. Le trait marquant de ce réservoir aquifère est son volume considérable qui est de l'ordre de 60 000 milliards de m³ dû

à la fois à son extension sur plus de 600 000 km² et son épaisseur moyenne de 120 à 1000m. Les transmissivités s'échelonnent de 6 à $30 \cdot 10^{-3}$ m/s (SETTOU, 2013).

Le débit total des sources d'eau connues du bas-Sahara, comprenant les foggaras et les puits, est estimé à un maximum de 5 m³/s. Il est nécessaire de considérer l'existence d'écoulements souterrains significatifs, non visibles en surface, qui contribueraient de manière importante au bilan hydrique. (OMAR, 2016)

II.8 Situation climatologique :

Le climat est l'ensemble des phénomènes (vent, précipitation, température, humidité ...) qui varient d'un lieu à un autre de la surface terrestre.

La zone de Tindouf est soumise à un climat essentiellement saharien, caractérisé par des précipitations occasionnelles. Les vents dominants sont ceux d'Ouest et surtout ceux du Nord-Ouest.

Afin de caractériser le climat de notre zone d'étude, nous avons exploité des données météorologiques de la période 1991 jusqu'à 2020.

II.8.1 La température :

La température maximale est généralement très élevée, les maximales frôlent les 38°C des mois aout au septembre, les températures maximales sont observées durant le mois de juin et juillet, elles sont caractérisées par des pointes parfois dépassent les 45°C.

Le figure II-5 représentent les températures mensuelles moyennes pour la région de Tindouf.

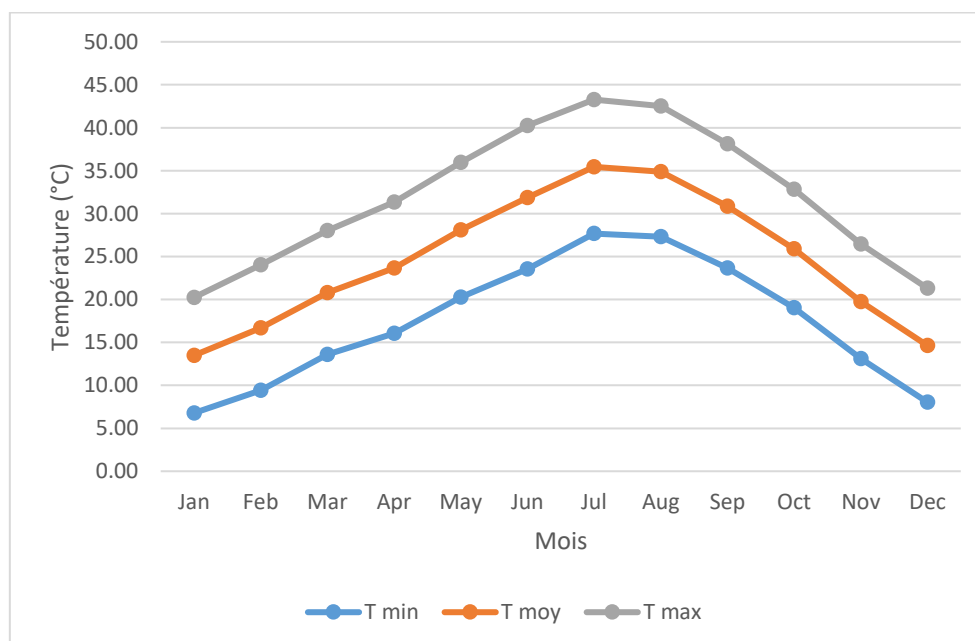


Figure II-5 : Températures mensuelles de Tindouf au cours de la période 1991-2020.
(Climate Change Knowledge Portal, 2024)

L'analyse de la figure II-5, indique que la température moyenne annuelle est de 24,21°C, avec un minimum de 6,78°C enregistré pour le mois de janvier, alors que le mois le plus chaud est celui de juillet avec 44,29°C.

II.8.2 Etude des précipitations :

Les précipitations constituent avec la température les éléments les plus importants qui définissent le climat d'un lieu donné. La figure II-6 donne la pluviométrie moyenne mensuelle de la région de Tindouf.

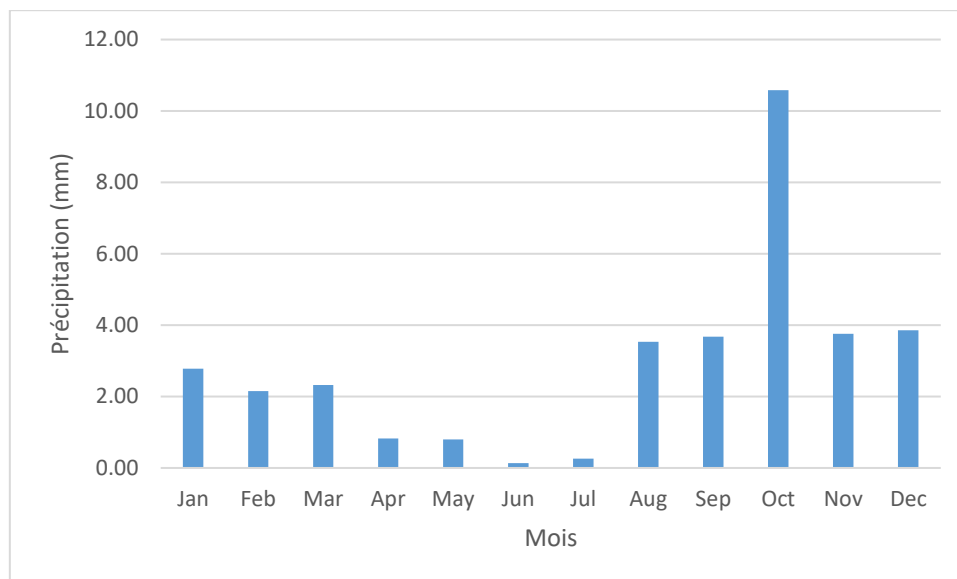


Figure II-6 : Précipitations moyennes mensuelles de Tindouf durant la période 1991-2020. (Climate Change Knowledge Portal, 2024)

D'après l'analyse des données de la figure II-6, la région de Tindouf reçoit une tranche pluviométrique annuelle faible. Les maximums des pluies sont enregistrés dans le mois d'octobre, alors que les mois de juin et Juillet ne reçoivent que de faibles quantités.

II.8.3 Les vents :

Par définition c'est le mouvement horizontal de l'air par rapport à la surface de la terre. Dans la région étudiée, le vent est fréquent durant pratiquement toute l'année. Sa violence apparaît très nettement pendant les mois de Mai, Juin et Juillet. La direction dominante est Ouest, plus précisément Nord-Ouest

II.8.4 Humidité :

L'humidité est définie comme le pourcentage de vapeur d'eau présente dans l'atmosphère, représentant ainsi l'état climatique. Dans la région de Tindouf, cette humidité est très faible. Le pic d'humidité se produit en hiver, particulièrement en décembre, atteignant

45,23%, tandis que le creux est observé en été, en juillet, avec 18,78%. Il est à noter que la moyenne annuelle de l'humidité dans la région de Tindouf est inférieure à 50%.

II.8.5 L'insolation :

La durée d'insolation est importante allant de 9 à 11 heures par jours 116.5 jours clairs par an ainsi cette insolation est très utile dans le domaine de la technologie des systèmes voltaïques.

Conclusion :

Située dans l'extrême sud-ouest de l'Algérie, la région de Tindouf se caractérise par une topographie plane et une géologie paléozoïque. Ses ressources hydriques proviennent principalement des nappes de Hassi Abdallah. Cependant, ces ressources souterraines sont confrontées au problème d'une pénurie. Le climat saharien de Tindouf est marqué par une saison sèche prédominante toute l'année, avec un hiver tempéré et une forte aridité, influençant la biodiversité et la répartition des communautés biologiques. La région abrite une flore et une faune diversifiées, incluant des espèces rares et en voie d'extinction, comme l'arganier, qu'il est crucial de protéger et de développer. Ces données climatiques et géographiques sont essentielles pour comprendre les défis de développement durable de Tindouf.

CHAPITRE III

**Description de la station de
déminéralisation dans la ville**

CHAPITRE III

Description de la station de déminéralisation dans la ville de Tindouf

Introduction :

La purification de l'eau est un processus indispensable pour assurer l'accès à de l'eau potable pour les communautés. Dans la ville de Tindouf, la station de déminéralisation joue un rôle central en fournissant de l'eau potable pour répondre aux besoins de ses habitants. Ce chapitre propose une vue d'ensemble complète et une description détaillée de la station de déminéralisation de Tindouf, mettant en lumière ses processus opérationnels et ses éléments clés.

La station de déminéralisation de Tindouf représente une infrastructure vitale qui fait l'objet d'un entretien et d'une amélioration constants afin de maintenir les normes de qualité de l'eau et de répondre à la demande croissante en eau potable. Comprendre les aspects complexes de sa conception, de son fonctionnement et de ses procédures opérationnelles est crucial pour évaluer son efficacité et son succès dans l'accomplissement de ses objectifs.

Ce chapitre vise à approfondir différents aspects de la station de déminéralisation, en fournissant un aperçu de sa configuration, des méthodes de traitement employées, du réseau de distribution d'eau, ainsi que de ses performances globales.

III.1 La station de déminéralisation dans la ville de Tindouf par la méthode d'osmose inverse :

La station de déminéralisation des eaux de TINDOUF est une ressource Locale, qui est utilisées pour l'approvisionnement en eau potable de la wilaya de Tindouf (chef-lieu). La figure III-1 illustre la situation de la Station.



Figure III-1 : situation de la Station de déminéralisation.

La station de déminéralisation des eaux de Tindouf utilise la dernière technologie en la matière à savoir les membranes d'osmose inverse. Le but de cette station est de traiter l'eau brute provenant de neuf forages situés dans la nappe de Hassi Abdallah afin d'améliorer la qualité de l'eau potable fournie à Tindouf.

Tableau III-1 : Les analyse de l'eau brute.

Les paramètres	unite	Eau brute
Ca^{2+}	mg/l	248.5
Mg^{2+}	mg/l	98
Na^+	mg/l	360.5
K^+	mg/l	14.6
NH_4^+	mg/l	0.001
Cl^-	mg/l	511.9
SO_4^{2-}	mg/l	724.9
HCO_3^-	mg/l	305
NO_3^-	mg/l	54
NO_2^-	mg/l	0.08
pH		7.29
Turbidité	NTU	0.61
Conductivité	$\mu\text{s/m}$	3980
Température	$^\circ\text{C}$	25

(ADE Tindouf,2023)

Cette station de déminéralisation a une capacité de traitement de 15000m³ par jour. Les normes

de qualité de l'eau traitée à la sortie de la station sont les suivantes :

- ❖ Débit d'eau produit par la station : 15000m³/j
- ❖ pH : 7.5 – 8.5
- ❖ Indice de l'angellier : positif (calco-carbonique-équilibré)
- ❖ Alcalinité : pas moins de 30 ppm HCO₃⁻
- ❖ Dureté totale CaCo₃ : pas moins de 150 ppm
- ❖ Turbidité NTU : 0.4 au maximum.
- ❖ Couleur Pt-Co : 15mg/l
- ❖ TDS : taux des sels dissous : 300 <TDS<600 mg/l

La station est actuellement alimentée en eau brute par le biais d'un ensemble de forages salés : Les forages SA7, SA9, SA6 bis et SA15 fournissent de l'eau au réservoir surélevé équipé d'une station de pompage afin de garantir un approvisionnement constant à la station de déminéralisation. Pendant ce temps, les puits SA3 et SA5 alimentent le réservoir par gravité. L'eau provenant de ces puits est combinée avec celle des puits SA13, SA8 et SA16 dans un collecteur principal pour alimenter la station par gravité. La figure III-2 illustre le schéma du réseau de forage :

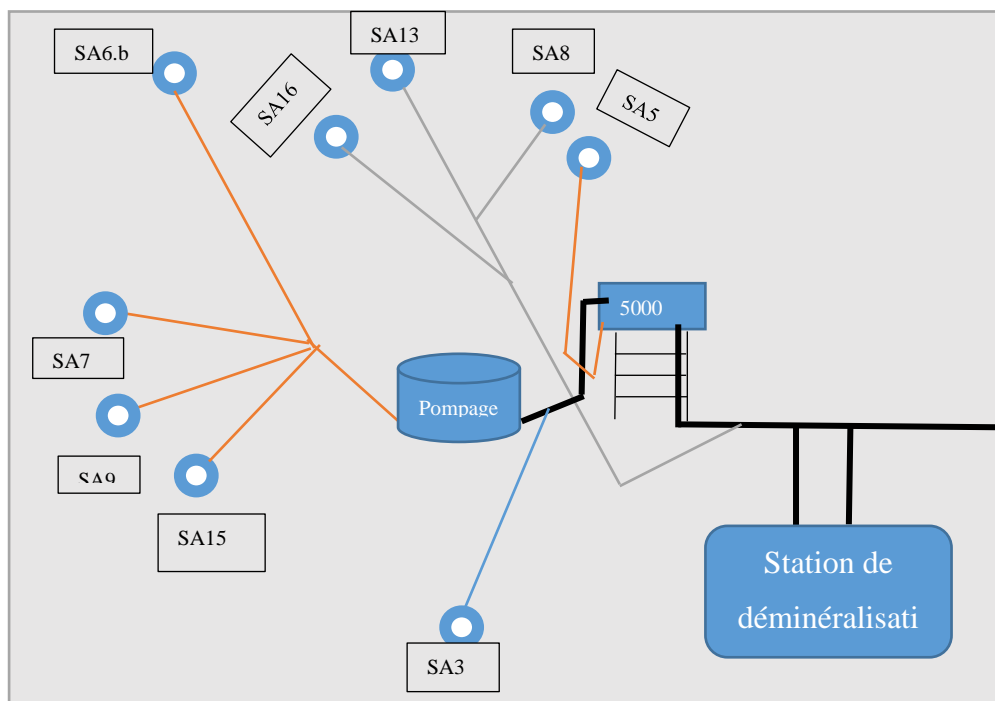


Figure III-2 : Schéma du réseau de forage alimentant la station de de déminéralisation.

Le schéma illustre de manière claire et organisée le réseau de forage alimentant une station de déminéralisation. Cette configuration suggère une approche centralisée pour la collecte de l'eau

avant son traitement. Le réservoir de 5000 m³ sert de tampon pour réguler l'alimentation en eau avant qu'elle ne soit envoyée à la station de déminéralisation.

III.2 Le processus de déminéralisation

Les principales composantes de la chaîne de traitement des eaux souterraines sont présentées dans Annexe 1.

III.2.1 Réservoir de l'eau brute :

C'est un réservoir cubique en béton utilisé pour stocker l'eau brute des neufs forages pour fourniture d'une alimentation en eau stable et régulé à la station de déminéralisation, ce qui est essentiel pour maintenir le bon fonctionnement des pompes d'alimentation. De plus, il agit comme une réserve de secours pour garantir la continuité de l'alimentation en eau de la station de déminéralisation en cas d'urgence ou d'interruption de l'alimentation en eau. La capacité du réservoir d'eau brute est de 5000 m³. Ce réservoir est équipé de

- ❖ Un lecteur de niveau ultrasonique
- ❖ Un flotteur pour le niveau haut et le niveau bas.

III.2.2 Station de pompage

III.2.2.1 Pompe d'alimentation :

Dans cette station Il y a trois pompes qui pompent l'eau à un débit de 218,8 m³/h et à une pression de 5 bars vers la chaîne de filtration sur sable, et leur rôle se termine au niveau des pompes haute pression pour RO. Une pompe de secours est également installée pour être utilisée sur n'importe quelle ligne en cas de besoin. Les pompes sont protégées contre la marche à sec par un flotteur et aussi le transmetteur ultrasonique de niveau.

III.2.2.2 Pompe de distribution :

Il y a trois pompes dans cette station qui pompent l'eau à un débit de 480m³/h et une pression de 4 bars vers le réservoir principal du quartier Musani pour la distribution. Une pompe de secours est également installée pour être utilisée sur n'importe quelle ligne en cas de besoin.

III.2.3 Prétraitement :

Le prétraitement est essentiel pour préparer l'eau brute en éliminant les particules en suspension et les contaminants potentiels, ce qui permet d'éviter le colmatage des membranes d'osmose inverse et d'optimiser les performances du processus d'osmose inverse.

III.2.3.1 Filtre à sable :

La filtration de la matière en suspension se fait à travers 4 filtres à sable cylindriques sous pression qui travaillent en parallèle (Figure II-4), le diamètre du filtre est de 2,4m sur une longueur de 4.5m. La surface totale de filtration est 43.2m² ce qui donne une vitesse de filtration de 6m/h cette vitesse augmente à 8 lorsqu'un filtre sort en mode de lavage.

Le lit filtrant est constitué de :

- ❖ Une couche d'antracite 0,8-1,6 de hauteur 500mm
- ❖ Une couche de sable fin 0,4-0,8mm de hauteur 300mm
- ❖ Une couche de sable grossier 1-3,15mm de hauteur 50mm
- ❖ Une couche de gravier 3,15-5,6 de hauteur 75mm
- ❖ Une couche de gravier 8- 12,5 de hauteur 75mm
- ❖ Le faux-fond du filtre à travers lequel est évacuée l'eau filtrée est constitué d'une plaque métallique d'épaisseur 16mm auxquelles sont fixé des busettes-collecteurs en polypropylène (567 busettes/filtre).

L'eau filtrée est récupérée en bas du filtre à travers un collecteur général.



Figure III-3 : Filtre à sable.

La station de Tindouf est équipée de trois lignes de traitement, chacune étant dotée de quatre filtres à sable fonctionnant automatique en parallèle pour la production et de lavage. Une partie de leur production est dirigée vers le réservoir d'eau traitée pour faire le mélange.

III.2.3.2 Dosage de Anti_Scalent :

La station injectait une dose de 2,71 g/l de spectraGurad 100 avec une consommation journalière de 0.67 kg/jour.

III.2.3.3 Filtre à cartouche de 5 microns :

Chaque ligne d'osmose dispose de 2 filtres à cartouches en acier inoxydable avec des tuyauteries correspondantes ainsi que des vannes, de mise à l'atmosphère, de vidange. De plus, chaque ligne est équipée de systèmes permettant de réaliser des mesures de conductivité, de pH et de température, tant à l'entrée qu'à la sortie de chaque filtre. Chaque filtre contient 32 éléments filtrants par filtre pour un total de 64.



Figure III-4 : Filtre à cartouche.

Un filtre à cartouche de 5 microns en polypropylène 5 (Figure III-5) qui présente l'avantage de retenir les solides en suspension restants après le filtre à sable. Les cartouches filtrantes restent valables 2 à 3 mois.

III.3 Blocs d'osmose inverse

III.3.1 Type de l'arrangement :

Le type d'arrangement dans la station est un montage en série de rejet, où le débit de rejet du premier étage alimente le deuxième étage. Cela entraîne une production de débit pour chaque étage avec des qualités différentes.



Figure III-5 : Unité d'osmose inverse.

Tableau III-2 : les caractéristiques par ligne.

Production par ligne	5000m³/j
Nombre de ligne	3 lignes
Nombre d'étages	2 étages
Nombre de tube de pression	
Premier étage	16 tubes
Deuxième étage	8 tubes
Nombre de module	
Dans première étage	112 modules /ligne
Dans seconde étage	56 modules /ligne
Nombres de modules/tube de pression	7
Nombre total de modules	168 modules/ ligne

III.3.2 Membranes de l'osmose inverse :

La station utilise des membranes hélicoïdales en polyamide aromatique, ses caractéristiques présentées dans le tableau III-3.

Tableau III-3 : Les caractéristiques les plus significatives des membranes.

Fabricant	TORAY
Modèle	TM720D-400
Configuration	Spirale
Matériel	Polyamide aromatique
Productivité en conditions standard	41,6m ³ /j
Rejet des sels	99.65%
Pression maximale	41Kg/cm ²
Température maximale	45°C
pH	7-11
Chlore	<0.1 ppm

La figure III-7 illustre un module d'osmose inverse :

**Figure III-6 : modules d'osmose inverse.**

III.3.3 Système de nettoyage des modules

Un dispositif pour le nettoyage chimique des membranes comprend les composants principaux suivants :

- ❖ Un réservoir pour la préparation des produits de nettoyage chimique.
- ❖ Une pompe centrifuge de nettoyage
- ❖ Un filtre à cartouches.

III.4 Réservoir d'eau traitée :

Les eaux produites sont véhiculées par une conduite de diamètre 800 mm en fibre de verre qui contient un débitmètre ultrasonique pour quantifier l'eau produite vers le réservoir de stockage de capacité 5000 m³.

III.5 Fonctionnement de la station :

La station fonctionne en moyenne 20 jours par mois avec une efficacité mensuelle ne dépassant pas 50 %. Ceci est dû à une pénurie de la quantité d'eau produite par les forages, le principal motif étant que la station réduit la quantité d'eau produite par les forages de 30 %. Par conséquent, la ville de Tindouf est directement alimentée en eau des forages.

III.5.1 Le mécanisme de fonctionnement

III.5.1.1 Inspection initiale :

Nous présenterons le mécanisme de fonctionnement de la station, en incluant ses différentes unités :

Le premier pas effectué est consisté à entreprendre une tournée d'inspection des différentes unités de la station, tout en relevant les données des débitmètres de l'eau brute alimentant la station et de l'eau produite. Ensuite, les pompes d'alimentation, les pompes à haute pression et les pompes de distribution sont vérifiées pour détecter tout dysfonctionnement ou toute interruption de courant. Cette procédure est réalisée à l'aide d'un système de collecte de données, de suivi et de contrôle.

III.5.1.2 Préparation du système :

Une fois les premières procédures d'inspection et de contrôle effectuées, la vanne de mélangeur d'eau, positionné après le filtre à sable et chargé d'alimenter le réservoir d'eau produite, est ouvert pour permettre la reminéralisation de l'eau provenant de l'osmose inverse.

La vanne de décharge est ouverte pour évacuer l'eau présente à l'intérieur des modules d'osmose inverse, et la vanne de protection située avant la pompe haute pression s'ouvre pour

protéger de la haute pression de l'eau, et cette eau est dirigée vers le réservoir de rejet jusqu'à ce que le débit d'eau se stabilise.

III.5.1.3 Activation du traitement :

La pompe anti-scalant est activée pour éviter les précipitations à la surface de la membrane d'osmose inverse, et cette pompe, à son tour, active la pompe d'alimentation qui alimente le filtre à sable et le filtre à cartouche. En cas de défaillance de la pompe anti-scalant, la pompe d'alimentation ne fonctionne pas et la station s'éteint. Après un certain laps de temps, d'environ 2 minutes, lorsque le débit d'eau se stabilise, la vanne alimentant la pompe haute pression est ouverte, tandis que la vanne de protection de la pompe haute pression et la vanne de rejet sont fermées. Lorsque la pression atteint une valeur de 4 bars, la pompe haute pression du premier étage démarre, suivie par la pompe booster du deuxième étage.

III.5.1.4 Surveillance continue :

Ensuite, les appareils de mesure de l'acidité, de la conductivité, de la pression et du débit, situés avant et après chaque unité de la station, sont surveillés.

III.5.2 Processus de traitement de l'eau :

La station fonctionne principalement avec deux lignes de traitement en parallèle. Cependant, dans certains cas, elle n'utilise qu'une seule ligne.

Durant notre présence dans la station, nous avons suivi son fonctionnement pendant 8 jours, ce qui nous a permis de mieux déterminer le débit, la pression et la qualité de l'eau :

L'eau est collectée à partir des neuf puits de la nappe Hassi Abdallah, situés à environ 15 km de la station, dans le réservoir d'eau brute de la station. Les mesures sont prises comme indiqué dans le tableau III-4 :

Tableau III-4 : Présente les caractéristiques l'eau brute.

Les jours	Q alimentation m³/j	Conductivité µs/m	pH
Jour 1	15567	3880	8
Jour 2	14541	3885	8
Jour 3	9696	3885	8
Jour 4	15606	3880	8
Jour 5	15816	3885	8
Jour 6	13794	3871	8
Jour 7	12435	3885	8
Jour 8	8253	3875	8

(ADE,2024)

Cette variation de débit est due à la réduction du débit d'alimentation, qui est directement orientée vers la consommation, avec le manque de débit.

III.5.2.1 Prétraitement

Trois pompes d'alimentation pompent l'eau vers le filtre à sable, qui fonctionne pour éliminer les particules en suspension, les impuretés et les matières organiques de l'eau brute à travers une série de couches de sable. Lorsque l'eau sort du filtre à sable, un agent anti-scalant est injecté, puis l'eau passe à travers le filtre à cartouche pour éliminer les petites particules et les contaminants résiduels qui pourraient avoir traversé le filtre à sable. Ceci est considéré comme la dernière unité de traitement primaire et la dernière ligne de défense avant l'osmose inverse, Le tableau III-5 représente les différentes mesures en filtres à sable et en filtres à cartouche pour les trois lignes :

Tableau III-5 : Présente les différentes mesures de l'eau dans les filtres à sable et les filtres à cartouche.

La ligne	Filtre à sable	Filtre a cartouche				
	Débit d'alimentation m3/h	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Conductivité µs/m	pH	Température ° C
Ligne 1	256.24	3.06	2.9	3374	8.16	26
Ligne 2	255.13	2.32	2.16	3780	8.03	26
Ligne 3	240	3.50	2.80	3587	9.32	27

(ADE,2024)

Selon les données du tableau III-5, nous remarquons que la différence de pression dans le filtre à cartouche de la ligne trois (0.7 bar) est élevée par rapport aux lignes 1 et 2, ce qui est attribué au problème de colmatage du filtre à cartouche.

III.5.2.2 L'osmose inverse :

Le traitement de l'eau et l'élimination de certains minéraux pour réduire la salinité de l'eau sont réalisés à travers le processus d'osmose inversée à l'aide d'un ensemble de membranes et de pompes haute pression. Le tableau III-6 et le tableau III-7 présenteront les pressions et la qualité de l'eau produite par chaque ligne :

Tableau III-6 : Présente les différentes pressions d'osmose inverse de chaque ligne.

La ligne	1 ^{er} étage		2 ^{eme} étage	
	Pression de pompe HP (bars)	Pression de rejet (bars)	Pression pompe booster (bars)	Pression de rejet (bars)
Ligne 1	11.45	8.1	10.75	9.11
Ligne 2	10.1	8.05	10.34	9.05
Ligne 3	12.21	11.3	12.62	11.85

(ADE,2024)

Tableau III-7 : Présente le rendement moyenne de chaque ligne.

La linge	Q alimentation (m3/j)	Q production	Y	Nombre des heures de travaille
Linge 1	4276	2890	68%	20
Linge 2	4490	3110	69%	18
Linge 3	3973	2414	61%	9

(ADE,2024)

En examinant ces deux tableaux, nous constatons une différence significative entre les lignes d'osmose inverse, que ce soit en termes de pression ou de rendement. Cette disparité est attribuable à un fonctionnement déséquilibré des lignes, car la station dépend des lignes 1 et 2 qui fonctionnent pendant 20 heures sur une période de huit jours, tandis que la ligne 3 ne fonctionne que pendant 9 heures, ce qui entraîne une variation dans les taux de conversion des lignes.

III.5.2.3 Système de rinçage des modules

Lorsque la ligne est arrêtée, les membranes doivent être lavées avec de l'eau osmosée inverse pendant 10 minutes maximum pour éliminer la saleté résiduelle et autres contaminants qui peuvent s'accumuler à la surface des membranes et réduire la concentration de sel résiduel pendant le processus de déminéralisation. Le dispositif de rinçage des membranes comprend les principaux composants suivants :

- ❖ Un réservoir de rinçage.
- ❖ Une pompe centrifuge de rinçage.

III.5.2.4 Système de mélange

L'eau osmose qui arrive par trop plein du premier compartiment de la bache d'eau osmose se mélange dans le deuxième compartiment avec l'eau brut traite du filtre à sable. Le taux de volume est de l'ordre de 75m³/h par ligne d'eau brute pour un débit d'eau osmose de 130m³/h afin de donnée une eau mélangée de distribution dont la salinité ne dépassant pas les 600ppm. Le tableau III-8 présenté leur fonctionnement journalier

Tableau III-8 : état de fonctionnement journalier de la station.

Les jours	Q alimentation (m3/j)	Q mélange (m3/j)	Q d'osmose(m3/j)	Q production(m3/j)	Y
Jour 1	17993	5244	8350	13594	76%
Jour 2	18069	5283	8361	13644	76%
Jour 3	17956	5289	8261	13550	75%
Jour 4	17899	5105	8392	13497	75%
Jour 5	17860	5265	8337	13602	76%
Jour 6	18071	5424	8697	14121	78%
Jour 7	18199	5268	8484	13752	76%
Jour 8	17892	5160	8424	13584	76%

(ADE,2024)

D'après les données du tableau III-8, il est évident que la capacité maximale de production de la station est de 13 668 m³/j lorsqu'elle fonctionne dans des conditions optimales. Cependant, cette capacité de production est insuffisante pour répondre à la demande actuelle de la population de la ville de Tindouf, qui s'élève à 16000 m³/j.

III.5.2.5 Désinfection

Cette étape se fait grâce à deux citernes de Ca(ClO)₂ d'une capacité de 1500 l, munie de pompes destinées à injecter l'hypochlorite de calcium au niveau de réservoir de l'eau traitée. L'hypochlorite de calcium utilisé est en granulats à 70%.

Tableau III-9 : Présente les différentes mesures de l'eau avant la distribution.

Conductivité	PH	Ca(ClO ₂) mg/l
1780	5.49	0.6

(ADE,2024)

III.5.3 Maintenance des osmoseurs

La troisième ligne a un problème dans le filtre à sable qui provoque le colmatage des filtres à cartouche avec une substance blanche et collante qui est très probablement une bactérie. Les cartouches sont remplacées environ tous les mois, ce qui provoque des membranes d'osmose inverse obstruées et des pics de pression de la pompe à haute pression. Lorsque ce colmatage se produit, les techniciens changent les filtres à cartouche. Quant aux membranes

d'osmose inverse, elles sont lavées avec de l'eau d'osmose inverse, la couche collante est retirée de la surface de la membrane, puis renvoyée dans les modules d'osmose inverse.

Généralement, la maintenance des osmoseurs est trop souvent négligée. Il en résulte une durée de vie réduite des membranes.

Conclusion :

En conclusion, la description de la station de déminéralisation d'eau saumâtre de Tindouf permet une compréhension globale de son infrastructure, de ses processus opérationnels et de ses principaux composants. Au cours de ce chapitre, nous avons exploré le rôle essentiel que joue la station de déminéralisation des eaux saumâtres dans sa tentative de répondre aux besoins en eau potable de la population de Tindouf. De la consommation initiale de l'eau brute à la distribution finale de l'eau traitée, chaque étape du processus d'épuration a été soigneusement étudiée. Cette analyse révèle que l'état des équipements de traitement est globalement satisfaisant, à l'exception du problème rencontré avec le filtre à sable de la troisième ligne. Il est également évident que la capacité de production de la station de déminéralisation d'eau de Tindouf est nettement insuffisante pour répondre aux besoins de la population. En effet, les lignes de traitement actuelles ne sont pas en nombre suffisant, et il est impératif d'agrandir la station en ajoutant d'autres lignes de traitement afin qu'elle puisse s'adapter à la demande croissante en eau potable dans la région.

CHAPITRE IV

Estimation de l'évolution des besoins en eau

CHAPITRE IV

Estimation de l'évolution des besoins en eau

Introduction

La consommation d'eau dépend du type de consommateur. Avant de lancer un projet d'alimentation en eau, il est essentiel de recenser toutes les catégories de consommateurs présentes dans une agglomération.

Pour fournir de l'eau potable à une zone particulière et estimer la quantité nécessaire à la consommation, il est crucial de considérer plusieurs critères tels que la croissance démographique, les installations publiques, et le niveau de vie. En outre, cette demande varie selon les agglomérations et les régions.

IV.1 Estimation des besoins futurs (Horizons de calcul) :

L'estimation future des besoins est calculée pour les horizons 2040 et 2050

IV.1.1 Evaluation de la population :

Selon les orientations des révisions de PDAU 2008 de la ville de TINDOUF le taux d'accroissement annuel moyen est de 6.3 %

Nos calculs sont pour : Tindouf. La population de référence en 2008 avec un taux d'accroissement

$$\tau = 6.3 \%$$

P_0 : Tindouf. Chef-lieu : 45610 habitants.

Pour évaluer la population future correspondant à l'horizon 2050 nous utilisons une progression géométrique

$$P_N = P_0 (1 + \tau)^n$$

Avec :

P_N : Population futur à l'horizon.

P_0 : Population de référence correspondant à l'année 2008.

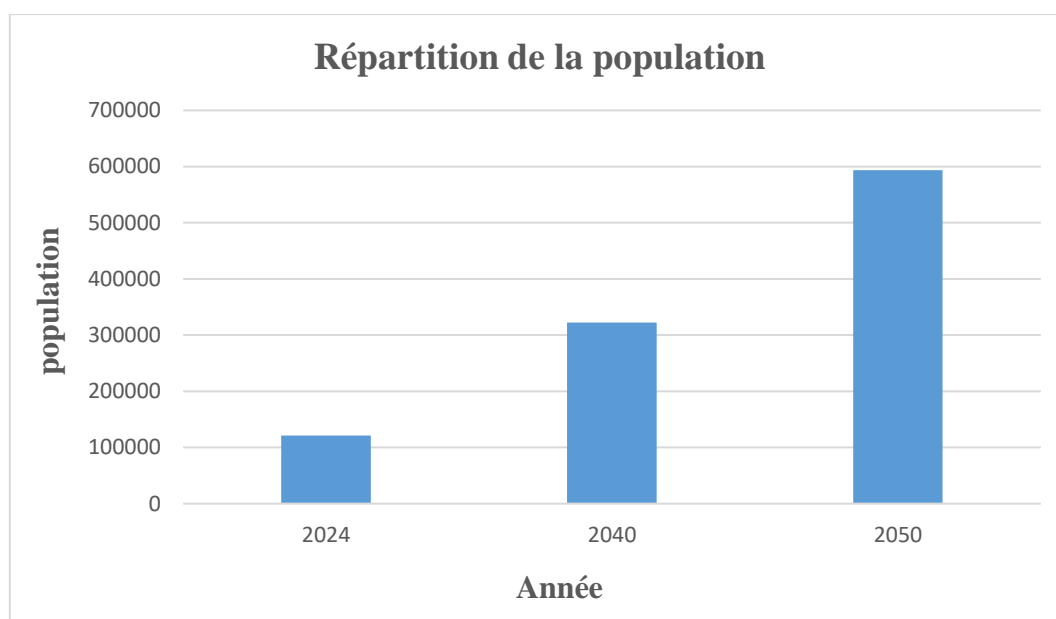
τ : Taux d'accroissement de la population (en%) et de l'ordre 6.3 % .

n : Nombre d'années séparent les deux périodes considérées

Le résultat de l'évaluation de la population est présent dans le tableau IV-1.

Tableau IV-1 : Evolution démographique de la ville de Tindouf.

Horizon	Actuel	Moyenne terme	Long terme
Années	2024	2040	2050
Population	121225	322199	593550

**Figure IV-1: Répartition de la population.**

Le figure IV-1 révèle une augmentation significative de la population actuelle, passant de 121 225 à une prévision à long terme de 593 550. Cette croissance est attribuée à un taux d'accroissement élevé de 6,3 % et au fait que Tindouf abrite de nombreuses casernes militaires. De plus, la ville s'est récemment transformée en un important centre industriel, attirant de nombreux étrangers ainsi que des résidents du Sahara occidental.

IV.1.2 Dotation

C'est la quantité d'eau potable, par jour, que doit recevoir un habitant au niveau de son robinet, pour satisfaire ses besoins journaliers.

La dotation nette domestique et autres usages correspond à la dotation moyenne journalière destinée à la consommation du domestique et des autres usages (calculée à partir des volumes facturés pour l'ensemble des catégories domestiques, administration, commerce, petite industrie et tourisme, au sein des unités d'ADE sur le territoire Algérien).

La dotation est distribuée par équivalent habitant au robinet.

Dans le Tableau IV.2 du plan national de l'eau (PNE) montre la répartition de région sud et donne la dotation unitaire domestique selon des Hypothèse volontariste pour plusieurs horizons qui est en fonction d'urbanisation des villes (urbaines, semi-urbaines,etc.).

Tableau IV-2 : Dotation par l'hypothèse volontariste.

HYPOTHESE VOLONTARIS	Dotation unitaires domestiques et autres usages assimilés (en l/j/hab)				
	Région Sud				
HORIZON	2010	2015	2020	2025	2030
Métropoles	166	166	156	156	147
Urbain sup	147	147	138	138	138
Urbain	129	129	121	113	113
Semi Urbain	124	124	116	109	109
Semi-rural	108	108	101	101	101
Rural aggloméré	93	93	93	93	93
DOTATION MOYENNE	126	128	121	117	118

(Source : PNE,2010).

Dans notre projet nous allons prendre une dotation domestique de 113 l/j/hab.

IV.1.3 Estimation des besoins journaliers

Les besoins journaliers sont calculés comme suit :

$$Q_{moy.j} = \frac{Ni \times D}{1000}$$

Avec :

Q_{moy, j} : consommation moyenne journalière en m³/j.

D : dotation journalière pour chaque catégorie en l/j/catégorie.

N_i : nombre de consommateurs.

IV.1.3.1 Besoins domestiques :

Les besoins moyens journaliers à différent horizons sont donnés dans le tableau IV-3 :

Tableau IV-3 : Débit moyen journalier domestiques à différents horizons.

Horizon	Actuel	Moyenne terme	Long terme
Années	2024	2040	2050
Population	121225	322199	593550
Dotation (l/j/hab)	113	113	113
Qmoyj (m³/j)	13698	36409	67071

Le tableau fournit des données précises sur les besoins en eau potable de la population croissante de Tindouf jusqu'en 2050.

IV.1.3.2 Besoins des équipements :

En l'absence de données spécifiques sur les équipements, notre analyse s'appuie sur des études menées dans certaines localités de la région sud-ouest de l'Algérie. Nous observons que la consommation des équipements représente généralement entre 15 et 20 % de la consommation totale des habitants. Dans notre situation particulière, avec Tindouf en train de devenir une ville industrielle où de nombreux équipements seront construits, nous considérerons que la consommation des équipements représentera 15 % de la consommation totale.

Tableau IV-4 : Besoins moyens en eau totales pour chaque horizon.

Horizon	2024	2040	2050
Qmoyj Domestique(m³/j)	13698	36409	67071
Qmoyj Equipement(m³/j)	2055	5461	10061
Qmoyj total(m³/j)	15753	41870	77132

Le tableau IV-4 indique une croissance notable de la consommation prévue entre 2024 et 2050, atteignant 77132 m³/j. Cette tendance souligne la pression croissante sur les ressources en eau.

IV.2 Calcul des déficits en eau potable :

On compare la production actuelle en eau potable de la station, qui est de 13 000 m³/j, avec la consommation moyenne journalière, les résultats donnés dans le tableau IV-5

Tableau IV-5 : Déficits en eau potable pour chaque horizon.

Horizon	2024	2040	2050
Qmoyj (m3/j)	15753	41870	77132
Production en eau actuelle (m3/j)	13000	13000	13000
Déficits en eau (m3/j)	2753	28870	64132

La consommation d'eau a considérablement augmenté au fil des années, presque quintuplant entre 2024 et 2050. Cela résulte de la croissance démographique, de l'augmentation des activités économiques et de l'amélioration du niveau de vie. Cette hausse engendre une augmentation significative du déficit hydrique, reflétant un écart croissant entre la consommation accrue et une production stagnante. Ce déficit croissant pourrait entraîner d'importants problèmes d'approvisionnement en eau, affectant la qualité de vie de la population, ainsi que les secteurs de l'agriculture, de l'industrie et d'autres domaines essentiels.

IV.3 Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation

Une eau est considérée comme "potable" si elle respecte les normes légales établies qui fixent des limites maximales pour diverses substances nocives pouvant être présentes dans l'eau. Ces normes incluent cinq catégories de paramètres:

❖ Paramètres organoleptiques :

- **Goût et odeur :** Le goût et l'odeur de l'eau, perçus lors de la dégustation, doivent être non désagréables. L'odeur provient principalement de substances organiques volatiles ou de certains gaz.
- **Couleur :** La couleur de l'eau est due à la présence de substances organiques colorées et de métaux (fer et manganèse). Le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UCV.
- **Turbidité :** La turbidité mesure l'aspect trouble de l'eau, contrairement à sa limpidité. Elle est causée par des matières particulaires ou colloïdales comme le limon, l'argile, les composés organiques ou inorganiques, ainsi que le plancton et d'autres micro-organismes.

❖ Les paramètres physico-chimiques

- **La température :** La température de l'eau potable devrait être inférieure à celle de l'air en été et supérieure en hiver. Pour que l'eau soit désaltérante. L'OMS ne recommande aucune valeur spécifique. La température influence la densité, la viscosité, la solubilité

des gaz, la dissociation des sels dissous, les réactions chimiques et biochimiques, ainsi que le développement des micro-organismes. (l'OMS, 1981)

- **La dureté :** La dureté de l'eau est la somme des concentrations en cations métalliques, principalement Ca^{2+} et Mg^{2+} . Elle se mesure en mg de CaCO_3 par litre et peut s'exprimer en degrés français. La présence de ces cations tend à réduire la toxicité des métaux.
- **Le pH :** Le pH mesure l'acidité ou l'alcalinité de l'eau, allant de 0 à 7 pour l'acidité et de 7 à 14 pour l'alcalinité, avec 7 représentant la neutralité. Le pH est déterminé à l'aide d'un pH mètre ou d'un comparateur colorimétrique.
- **La minéralisation :** La minéralisation correspond à la concentration en sels dissous, tels que les sulfates, le chlore, le sodium, le magnésium et l'aluminium.
- ❖ **Les paramètres bactériologiques :** L'eau contient divers micro-organismes (bactéries, virus, parasites) issus de l'activité biologique naturelle, certains pouvant être pathogènes pour l'homme. Les maladies microbiennes constituent un risque sanitaire majeur dans le domaine de l'eau. L'eau potable ne doit contenir aucun organisme pathogène ni indicateur de contamination fécale, avec une limite de 10 bactéries coliformes totales par 100 millilitres d'eau. (l'OMS, 1981)
- ❖ **Matières en suspension :** Les matières en suspension incluent les particules minérales et organiques présentes dans l'eau. Leur concentration varie selon la nature des terrains traversés, la saison, la pluviométrie, le régime d'écoulement des eaux et les rejets. Des teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution. (l'OMS, 1981) .
- ❖ **La conductivité électrique :** La conductivité électrique d'une eau est la mesure de sa conductance entre deux électrodes métalliques (platine) de 1 cm^2 de surface, séparées par 1 cm. Exprimée en Siemens par mètre (S/m), la conductivité reflète la minéralisation de l'eau et sert de marqueur de son origine. (l'OMS, 1981)

IV.3.1 Les normes de potabilité

Les normes de l'eau potable sont établies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ou par l'Union Européenne (UE) ou le ministère algérien des ressources en eaux ou le ministère d'économie. L'eau potable doit être exempte de matières en suspension, micro-organismes et produits toxiques. L'élaboration des normes de potabilité est basée sur les études scientifiques montrant les effets nocifs sur la santé. Elles sont liées à la qualité physicochimique et bactériologique de certains éléments.

Le tableau IV-6 montre les normes de potabilité de l'eau fixées par ministère algérien des ressources en eaux.

Tableau IV-6 : Normes de potabilité de l'eau fixées par ministère algérien des ressources en eaux.

Paramètres	Symbole	Unité	Norme Algérienne
Turbidité	/	NTU	5
Dureté	/	°F	50
Conductivité	/	Us/cm à 20C	2800
pH	pH	/	6.5 - 9.5
Ammonium	NH ⁴⁺	ppm	0.5
Calcium	Ca ²⁺	ppm	200
Potassium	K ⁺	ppm	12
Chlorure	Cl ⁻	ppm	500
Fluore	F ⁻	ppm	1.5
Fer	Fe	ppm	0.3
Nitrite	NO ₂ ⁻	ppm	0.2
Nitrate	NO ₃ ⁻	ppm	50
Sodium	Na ⁺	ppm	200
Sulfate	SO ₄ ²⁻	ppm	400

(Journal officiel, 2014)

Être conforme à ces normes ne signifie pas que l'eau est exempte de polluants, mais plutôt que leur concentration est jugée suffisamment basse pour ne pas représenter de risque pour la santé des consommateurs.

Conclusion :

Après avoir calculé les besoins et les déficits en eau potable pour chaque horizon, nous constatons que la station de déminéralisation n'est pas suffisante pour répondre à la demande croissante en eau potable dans tous les secteurs. Il en résulte un pourcentage élevé de besoins en eau non satisfaits. Il est nécessaire d'augmenter la capacité de production de la station de déminéralisation pour répondre à la demande croissante en eau potable.

CHAPITRE V

Dimensionnement de l'extension de la station de déminéralisation

CHAPITRE V :

Dimensionnement de l'extension de la station de déminéralisation

Introduction :

Suite au projet de transfert de l'eau d'Adrar vers la wilaya de Tindouf pour combler le déficit en eau de la région, et la qualité de l'eau qui présente une minéralisation totale élevée 3922 ppm, nous proposons la déminéralisation de cette eau. Dans cette partie, nous allons procéder au dimensionnement de l'extension de la station de déminéralisation en prenant en considération l'eau provenant d'Adrar

V.1 Bases de conception et données nécessaires pour le dimensionnement d'une unité de déminéralisation :

Pour notre étude, la conception de notre système se basera sur les données suivantes :

V.1.1 Alimentation en eau brute :

Compte tenu de la rareté de l'eau dans la nappe de Hassi Abdallah, la ville de Tindouf va se tourner vers la mise en place d'un projet de transfert Sud-Sud pour répondre aux besoins de ses habitants. Concrètement, l'eau sera transférée de la nappe Albiennaise située dans l'État de Adrar vers la ville de Tindouf. Le débit moyen journalier projeté est de 77132 m³/j pour l'horizon futur, tandis que la capacité de production actuelle de la station est de 13000 m³/j. Nous devons dimensionner l'extension de la station pour combler ce déficit (64132 m³/j).

V.1.2 Qualité de l'eau brute

D'après la bibliographie, la qualité de l'eau de l'aquifère albien dans la zone d'Adrar est présentée dans le tableau V-1 :

Tableau V-1 : Les analyse de l'eau brute.

Eléments	Concentration (mg/l)
Calcium Ca ⁺²	324
Magnésium Mg ⁺²	183
Sodium Na ⁺	720
Potassium K ⁺	46
Chlorure Cl ⁻	812
Sulfate SO ₄ ²⁻	1530
Bicarbonate HCO ₃ ⁻	232
Nitrite NO ₂ ⁻	0.011
Nitrate NO ₃ ⁻	75.52
Phosphate PO ₄ ³⁻	0
pH: 7.4	
Conductivité: 5960 µs/cm	
Turbidité: 0.6 NTU	
Dureté TH: 154 °F	
TAC: 19 °F	
Température: 25 °C	

(MEDIANI, 2020)

- ❖ **Conductivité** : La mesure de ce paramètre, permet d'évaluer la minéralisation globale. Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'eau et sa conductivité.
- ❖ **Dureté et présence de sel dont la limite de solubilité pourrait être dépassée** : Les sels Les sels qui risquent de précipiter sont CaCO₃, CaSO₄, SiO₂. À cela, il faut ajouter les risques de précipitation de magnésium.

V.1.3 Exigences du prétraitement :

Avant de procéder à la déminéralisation de l'eau saumâtre, un prétraitement est nécessaire pour un bon fonctionnement de l'unité, de point de vue physique et chimique.

V.1.4 Les conditions environnementales :

L'autorisation du rejet contrôlé du concentré dans l'environnement dépend de deux facteurs principaux : le taux global de récupération, qui affecte la quantité et la concentration du rejet, et le choix des produits chimiques utilisés, qui influence la composition du concentré. Ces éléments sont essentiels pour évaluer l'impact environnemental et assurer un rejet sûr et

conforme aux réglementations. Une analyse approfondie de ces facteurs est nécessaire pour garantir que le rejet n'altère pas l'équilibre écologique du milieu récepteur.

V.2 Dimensionnement de l'installation de déminéralisation d'osmose inverse :

On commence par le calcul de dimensionnement de l'installation d'osmose inverse. Ce calcul initial est crucial, car il permet de déterminer le débit d'alimentation de la station. Ce débit calculé servira ensuite de base pour dimensionner les étapes de prétraitement, qui seront abordées ultérieurement dans notre étude.

L'analyse de l'eau (tableau V-1), comparée aux normes de potabilité algériennes (tableau IV-6), révèle des teneurs excessives en plusieurs éléments : chlorure (Cl^-), potassium (K^+), sodium (Na^+), sulfate (SO_4^{2-}), nitrate (NO_3^-) et calcium (Ca^{2+}). Ces concentrations élevées expliquent la salinité importante de l'eau. Par conséquent, la déminéralisation s'avère nécessaire pour ramener ces paramètres à des niveaux conformes aux normes algériennes.

Pour concevoir le système d'osmose inverse qui permet de produire **65 000 m³/j** conforme aux normes d'eau potable à partir des forages dans la nappe de l'Albien qui contient **3922.58 mg/l** de TDS, nous avons choisi le perméateur **Torray** type **TM720D**, qui est le mieux adapté aux eaux saumâtres de la zone et à ce taux de salinité d'eau brute.

V.2.1 Les différents types de montage de l'installation d'OI :

Deux types de montage sont :

1. Montage en série de production : c'est à dire le débit produit de l'étage 1 va alimenter l'étage 2 et cela pour avoir une bonne qualité d'eau produite, ce type de montage offre une bonne qualité d'eau produite mais un grand débit de rejet.
2. Montage en série de rejet : le débit de rejet du 1er étage alimente le 2ème étage et on aura ainsi un débit de production de chaque étage avec des qualités différentes (YOUTCHKOV, 2013)

La figure V-1 montre les deux montages :

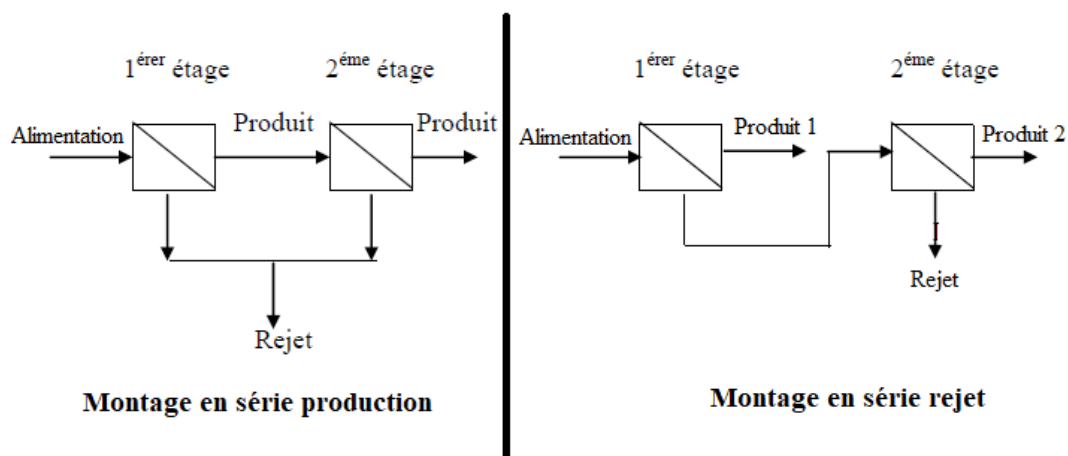


Figure V-1 : Les différents types de montage de l'installation d'OI

Nous proposons un montage en série rejet avec trois lignes à deux étages avec un arrangement 2/1 pour maximiser le débit de production et minimiser le débit de rejet.

Le perméateur **TM720D** a un débit de production Q_{wo} établi sous les conditions standards de fonctionnement préconisées par les constructeurs :

Tableau V-2 : conditions standards de fonctionnement.

Conditions standards	Unité	Valeur
Débit du produit Q_{wo}	m ³ /j	41.6
Diamètre	inches (cm)	7.9 (20)
Taux de passage de sel	%	< 0.3
Pression de fonctionnement	Psi (Kpa)	225 (1550)
Température	° C	25
Concentration de l'eau d'alimentation en (NaCl)	ppm	1500
La perte de charge moyenne	Kpa	41.37

V.2.2 Les facteurs influençant le dimensionnement :

Dans le but de concevoir une installation en utilisant le perméateur **TM720D**, il est nécessaire de corriger la capacité ou débit de production du perméateur en tenant compte des conditions de travail.

Le débit initial de production sous les conditions de fonctionnement est donné par :

$$Q_{wo} = k_{wo}(\Delta P_o - \Delta \Pi_o)$$

Avec :

Q_{w0} : débit initial à travers la membrane

K_{wi} : perméabilité initiale de la membrane

ΔP_0 : différence de pression à travers la membrane

$\Delta \Pi_0$: différence de pression osmotique

Si on connaît le débit initial Q_{wi} aux conditions standards précitées, il est possible de calculer la perméabilité de la membrane qui à son tour peut être utilisée dans des conditions autre que standard.

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

On pose:

$$K'_{wi} = \frac{1}{\Delta P - \Delta \Pi_0}$$

Avec :

K_{wi} : perméabilité initiale de la membrane

K'_{wi} : facteur de pression aux conditions standards en (psi)

La différence de pression osmotique entre les solutions concentrées par la membrane est prise égale la pression osmotique moyenne entre les deux solutions :

$$\Delta \Pi_i = \Pi_{FRi} = \frac{0.2654 \cdot C_{FRi} \cdot (T + 273)}{1000 - \frac{C_{FRi}}{1000}}$$

Avec :

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

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

Y: Taux de conversion = 0.75

A) La concentration en sel dans l'eau de rejet CR :

Si on estime que dans la production $CP = 0$ ($SP < 0.3\%$)

$$CR_0 = \frac{CF}{1 - y}$$

CR₀ = 6000 ppm NaCl

B) La concentration moyenne en sel entre l'alimentation et le rejet :

$$CFR_0 = \frac{CR_0 + CF_0}{2}$$

$$\text{CFR0} = 3750 \text{ ppm NaCl}$$

Pour le module **TM720D**, aux conditions standards on a :

$$\Delta P0 = PF0 - \frac{\Delta PF0}{2}$$

$$\Delta P0 = 1529.32 \text{ KPa}$$

Donc on obtient :

$$\Delta \Pi0 = \Pi FR0 = \frac{0.2654 \cdot \text{CFRi} \cdot (T + 273)}{1000 - \frac{\text{CFRi}}{1000}}$$

$$\Delta \Pi0 = 292.86 \text{ Kpa}$$

Et :

$$K'wi = \frac{1}{\Delta Pi - \Delta \Pi i}$$

$$K'w0 = 0.000809 \text{ Kpa}^{-1}$$

En utilisant $k'wi = 0.00088 \text{ Kpa}^{-1}$, il nous sera possible de calculer le facteur de correction de la pression des modules :

$$PCFi = K'w0 \left(PFi - \frac{\Delta PFRi}{2} - \Delta \Pi i \right)$$

$$PCFi = K'w0 \left(PFi - \frac{\Delta PFRi}{2} - \Pi FRi \right)$$

Facture de correction du flux de rétention de la membrane :

Une autre facture peut entrer en compte, il s'agit du coefficient de rétention de l'eau au niveau de la membrane (**MFRC**), il varie linéairement avec la pression pour une durée de vie donnée (voir l'annexe 04).

Une dernière facture corrective du débit de production est dû à l'effet de la température sur la productivité du perméateur (**TCF**), il est défini par :

$$TCF = (1.03)^{T-25}$$

Avec :

TCF : facteur de correction du débit de production.

D'où le débit corrigé:

$$Qp = Qwo.PCF.TCF.MFRC$$

❖ **Emplacement des perméateurs TM720D dans l'installation :**

La plus grande performance est obtenue quand le flux traversant un paquet de perméateurs est suffisant pour maintenir une bonne distribution.

La pression d'alimentation au deuxième étage est plus faible que celle du premier étage du fait de la perte de charge à travers les perméateurs et différents raccords

$$PF2 = PF1 - \frac{\Delta PFR1}{2} - \Delta PBAL$$

Pour les perméateurs **TM720** en utilisant les raccords en nylon ($\Delta PBAL = 241.32$ Kpa)

V.2.3 Calcul de la molalité :

La molalité est déterminée par la relation suivante :

$$mi = \frac{Ci.1000}{Mi(10^6 - TDS)}$$

Ci : Concentration de l'élément i (mg/l)

Mi : masse molaire de l'élément (g/mol)

$TDS = \sum Ci$: total des sels dissous (mg/l)

Avec cette relation on peut calculer la molalité de chaque constituant, et déduire la molalité totale, en faisant la somme des molalités de tous les constituants.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau V-3 :

Tableau V-3 : La molalité moyenne des composants.

Composant	Masse molaire (g/mol)	Concentration(mg/l)	Molalité (mol/1000 gr d'eau)
Calcium Ca ⁺²	40.08	324	0.008
Magnésium Mg ⁺²	24.31	183	0.008
Sodium Na ⁺	22.99	720	0.031
Potassium K ⁺	39.1	46	0.001
Ammonium NH ⁴⁺	18.04	0.05	0.000
Chlorures Cl ⁻	35.45	812	0.023
Sulfate SO ⁴²⁻	96.06	1530	0.016
Bicarbonate HCO ³⁻	61.02	232	0.004
Nitrite NO ²⁻	46.01	0.011	0.000
Nitrite NO ³⁻	62	75.52	0.001

$$MT = 0.092 \text{ mol/1000 gr d'eau}$$

$$TDS = 3922.58 \text{ mg/l}$$

V.2.4 Calcul de la concentration de l'eau d'alimentation en ppm NaCl :

Par l'égalité entre les deux équations A et B représentés ci-dessous on peut déterminer la concentration de l'eau d'alimentation en ppm NaCl.

$$\Pi = 1,12(T + 273).MT \dots\dots\dots (A)$$

$$\Pi = \frac{0,0385CF(T + 273)}{1000 - \frac{CF}{1000}} \dots\dots\dots (B)$$

$$(A) = (B) \rightarrow CF = \frac{1,12MT \cdot 10^6}{38,5 + 1,12MT}$$

$$CF = 2678.6 \text{ ppm NaCl.}$$

V.2.5 Calcul des conversions :

Nous admettons deux étages avec une conversion totale de 75% pour élever le débit de production. La perte de charge moyenne : $\Delta PFR = 41.37$ Kpa par module ou perméateur.

Étage 1 :

- ❖
- Concentration de l'eau d'alimentation :**

$$CF1 = 2678.6 \text{ ppm NaCl}$$

- ❖
- Concentration en sel du rejet :**

$$CR1 = \frac{CF1}{1 - y1}$$

$$CR1 = 5357.21 \text{ ppm NaCl}$$

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

$$CFR1 = \frac{CF1 + CR1}{2}$$

$$CFR1 = 4017.91 \text{ ppm NaCl}$$

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

$$PPFR1 = \frac{0,2654 * CFR1(T + 273)}{1000 - \frac{CFR1}{1000}}$$

$$PPFR1 = 313.86 \text{ Kpa}$$

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

$$PCF1 = k'wio \left(PF0 - \left(\frac{\Delta PFR0}{2} \right) - PPFR1 \right)$$

$$PCF1 = 0.983$$

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

MFRC1 = 0,92 à 200 Psi, 20C° et 3 ans la durée de vie de la membrane. (Voir l'annexe 04)

- ❖
- Facteur de correction de température :**

$$TCF = (1.03)^{(T-25)}$$

$$TCF = 0.863$$

❖ **Débit de production :**

$$QP1 = PCF1 \cdot TCF \cdot MFRC1 \cdot Q_{wio}$$

$$QP1 = 32.45 \text{ m}^3/\text{j}$$

❖ **Débit d'alimentation :**

$$QF1 = \frac{QP1}{y1}$$

$$QF1 = 64.91 \text{ m}^3/\text{j}$$

❖ **Débit de rejet :**

$$QR1 = QF1 - QP1$$

$$QR1 = 32.45 \text{ m}^3/\text{j}$$

❖ **Débit moyen entre l'alimentation et le rejet :**

$$QFR1 = \frac{QF1 + QR1}{2}$$

$$QFR1 = 48.68 \text{ m}^3/\text{j}$$

❖ **Perte de charge à travers perméateur :**

On a $QFR1 = 48.68 \text{ m}^3/\text{j} = 8.93 \text{ GPM}$, en projetant cette valeur sur la courbe (voir l'annexe 03), on trouve la valeur de la perte de charge à travers le perméateur $\Delta PFR1$

$$\Delta PFR1 = 7 \text{ psi} = 48.26 \text{ Kpa}$$

Avec :

$$1 \text{ GPM} = 5.45 \text{ m}^3/\text{j}$$

Étage 2 :❖ **Concentration de l'eau d'alimentation:**

$$CF2 = CR1 = 5357.21 \text{ ppm NaCl}$$

❖ Pression d'alimentation :

$$PF2 = PF1 - \frac{\Delta PFR1}{2} - \Delta PBAL$$

$$PF2 = 1284.55 \text{ Kpa}$$

❖ Concentration en sel du rejet :

$$CR2 = \frac{CF1}{1 - y1}$$

$$CR2 = 10714.42 \text{ ppm NaCl}$$

❖ Concentration moyenne en sel entre l'alimentation et le rejet :

$$CFR2 = \frac{CF2 + CR2}{2}$$

$$CFR2 = 8035.81 \text{ ppm NaCl}$$

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

$$PPFR2 = \frac{0,2654 * CFR2(T + 273)}{1000 - \frac{CFR2}{1000}}$$

$$PPFR2 = 629.94 \text{ Kpa}$$

❖ Facteur de correction de la production :

$$PCF2 = k'wio \left(PF1 - \left(\frac{\Delta PFR1}{2} \right) - PPFR2 \right)$$

$$PCF2 = 0.510$$

❖ Débit de production:

$$QP2 = PCF2.TCF.MFRC2.Qwio$$

$$QP2 = 16.83 \text{ m}^3/\text{j}$$

❖ Débit d'alimentation :

$$Q_{F2} = \frac{QP2}{y2}$$

$$Q_{F2} = 33.67 \text{ m}^3/\text{j}$$

❖ Débit de rejet :

$$Q_{R2} = Q_{F2} - Q_{P2}$$

$$Q_{R2} = 16.83 \text{ m}^3/\text{j}$$

❖ Débit moyen entre l'alimentation et le rejet :

$$Q_{FR2} = \frac{Q_{F2} + Q_{R2}}{2}$$

$$Q_{FR2} = 25.25 \text{ m}^3/\text{j}$$

❖ Perte de charge à travers perméateur :

On a $Q_{FR2} = 25.25 \text{ m}^3/\text{j} = 4.63 \text{ GPM}$, en tir ΔP_{FR2} .

$$\Delta P_{FR2} = 4 \text{ Psi} = 27.58 \text{ Kpa}$$

V.2.5.1 Calcul des conversions :

Nous nous sommes intéressées dans cette section à étudier l'arrangement 2/1, pour la détermination du taux de conversion globale et du débit de la production totale.

❖ Calcul de l'arrangement 2/1 :

$$\text{Etage1} : 2Q_{P1} = 2 * 32.45 = 64.91 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$\text{Etage2} : 1Q_{P2} = 1 * 16.83 = 16.83 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{PT} = 81.74 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$\text{Soit une alimentation : } Q_{FT} = \frac{Q_{PT}}{y_T}$$

$y_T = 75\%$ →

$$Q_{FT} = 108.99 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Y1 = \frac{QP1}{QFT} = 0.5955 \rightarrow y1 = 59.55 \%$$

$$Y2 = \frac{QP2}{QFT - QP1} * 100 = 0,3819 \rightarrow y2 = 38,19 \%$$

❖ **Calcul corrigé des capacités en utilisant les nouvelles conversions :**

Après plusieurs conversions, tous les résultats des valeurs calculées sont résumés dans le tableauV-4 :

Tableau V-4 : valeurs des capacités recalculées avec les nouvelles conversions.

	Etage 01	Etage 02
CF	2678.60	6711.26
CR	6711.26	10714.42
CFR	4694.93	8712.84
PPFR	373.07	695.15
PCF	0.94	0.46
MFRC	0.91	0.91
QP	30.54	15.16
Qal	50.82	40.57
QR	20.28	25.41
QFR	35.55	32.99
ΔPFR	37.90	33.00

V.2.5.2 Calcul des nouvelles conversions :

Etage 1 : $2.QP1 = 61.08 \text{ m}^3/\text{j}$

Etage 2 : $1.QP2 = 15.16 \text{ m}^3/\text{j}$

Donc : $QPT = 76.24 \text{ m}^3/\text{j}$

Soit une alimentation :

$$QFT = \frac{QPT}{y_T} \quad Y_T = 75 \%$$

$QFT = 101.65 \text{ m}^3/\text{j}$

$$y1 = \frac{QP1}{QFT} * 100 = 60.09 \%$$

$$y2 = \frac{QP2}{QFT - QP1} * 100 = 37.36 \%$$

V.2.6 Calcul de nombre de perméateurs

❖ **Le débit spécifique du perméateur à la production :**

$$Q_{sp} = \frac{Q_{pt}}{2 + 1}$$

$$Q_{sp} = 25.41 \text{ m}^3/\text{j} / \text{perméateur.}$$

❖ **Calcul du nombre des perméateurs total de l'installation :**

$$NT = \frac{QWT}{QSP}$$

$$QWT = 57000 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$\text{D'où : } NT = \frac{57000}{25.41} = 2244 \text{ perméateurs}$$

❖ **Calcul du nombre de perméateurs dans chaque ligne :**

Le calcul se fait comme suite :

$$N = \frac{NT}{3} \approx 756 \text{ perméateurs}$$

$$N \approx 756 \text{ perméateurs} / \text{Unite.}$$

❖ **Calcul de la disposition par étage :**

$$\text{Étage 1 : } \frac{756 \times 2}{3} = 504 \text{ perm}$$

$$\text{Étage 2: } \frac{756}{3} = 252 \text{ perm}$$

V.2.7 Calculer différents débits

❖ **Calcul du débit de production :**

Donc le débit de production d'étage 1 devient :

$$QP1 = Qp1 * N1$$

$$Qp1 = 15390.37 \text{ m}^3/\text{j}$$

Donc le débit de production d'étage 2 devient :

$$QP2 = Qp2 * N2$$

$$Q_{p2} = 3819.49 \text{ m}^3/\text{j}$$

Donc le débit de production d'une ligne devient :

$$Q_{Pt} = Q_{P1} + Q_{P2}$$

$$Q_{Pt} = 19209.86 \text{ m}^3/\text{j}$$

Donc le débit de production totale devient :

$$Q_{PT} = 3 * Q_{Pt}$$

❖ **Calcul de débit de rejet :**

$$Q_{PT} = 57629.59 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{RT} = Q_{r2} * N2 * 3$$

$$Q_{RT} = 19210.05 \text{ m}^3/\text{j}$$

❖ **Calcul de conversion total :**

$$Y_T = \frac{Q_{PT}}{(Q_{PT} + Q_{RT})} * 100$$

$$Y_T = 75 \%$$

❖ **Calculer le débit d'alimentation :**

$$Q_F = \frac{Q_{PT}}{Y_T}$$

$$Q_F = 76839.63 \text{ m}^3/\text{j}$$

V.2.8 Calcul de la qualité de l'eau produite :

Nous raisonnons sur le perméateur **TM20D** dont le taux de passage des sels à travers la membrane (SP) est inférieur à 0.3%, sous les conditions standards de fonctionnement.

Le calcul du total des sels dissous se fera par la méthode suivante :

Etage 1 :

- ❖ **Facteur de correction du passage de sels :**

$$SPCF1 = \frac{CF0.CFR1}{PCF1.CF1.CFR0}$$

$$SPCF1 = 0.75$$

- ❖ **Taux de passage de sels :**

$$SP1 = SP0 * SPCF1$$

$$SP1 = 0.0022 = 0.22 \%$$

- ❖ **Les solides totaux dissous de perméat :**

$$TDSP1 = TDS * SP1$$

$$TDSP1 = 8.82 \text{ mg/l}$$

- ❖ **Les solides totaux dissous de rejet :**

$$TDSR1 = \frac{(TDS - Y * TDSP1)}{1 - y1}$$

$$TDSR1 = 9811.44 \text{ mg/l}$$

Etage 2:

- ❖ **Facteur de correction du passage de sels :**

$$SPCF2 = \frac{CF0.CFR2}{PCF2.CF2.CFR0}$$

$$SPCF2 = 1.12$$

- ❖ **Taux de passage de sels :**

$$SP2 = SP0 * SPCF2$$

$$SP2 = 0.0034 = 0.34 \%$$

- ❖ **Les solides totaux dissous de perméat :**

$$TDSP2 = TDSR1 * SP2$$

$$TDSP2 = 32.93 \text{ mg/l}$$

- ❖ **Les solides totaux dissous de rejet :**

$$TDSR2 = \frac{(TDSR1 - Y * TDSP2)}{1 - y2}$$

$$TDSR2 = 15624.42 \text{ mg/l}$$

❖ **Les solides totaux dissous total :**

$$TDS_t = \frac{QP1 * TDSP1 + QP2 * TDSP2}{QP_t}$$

$$TDS_t = 13.62 \text{ mg/l}$$

Le tableau V-5 résume les principaux résultats de calculs de l'installation d'osmose inverse.

Tableau V-5 : Résultats de calculs de l'installation d'osmose inverse.

Etage	Y (%)	Nombre de perméateurs par ligne	Qp (m ³ /j)	Nombre total	YT (%)	QPT(m ³ /j)	Nombre de ligne	TDS (mg/l)
1	60.09	504	15390.37	2268	75	57629.59	3	13.62
2	37.36	252	3819.49					

V.3 Le traitement de finition :

La phase finale de traitement dans une unité de déminéralisation joue un rôle crucial pour assurer la conformité de l'eau aux normes de qualité exigés pour son usage prévu. Cette étape vise à :

- ❖ Ajuster la composition chimique de l'eau
- ❖ Équilibrer son pH
- ❖ Éliminer les microorganismes
- ❖ Optimiser ses propriétés organoleptiques

Le processus comprend notamment la reminéralisation et la désinfection, garantissant ainsi une eau sûre et propre à la consommation.

V.3.1 Technologies de la reminéralisation :

La reminéralisation de l'eau déminéralisée est typiquement accomplie par trois groupes principaux de technologies, qui sont :

- ❖ **La reminéralisation chimique :** Processus qui sont basés sur l'addition directe des produits chimiques contenant du calcium ou du magnésium. (ALIAN, 2020)

- ❖ **Reminéralisation par mélange aux minerais d'une eau de source** : Cette technique de reminéralisation est réalisée par le mélange de l'eau dessalée à une partie de l'eau de source utilisée pour le dessalement, ou avec d'autres sources d'eau douce.

Cette pratique est fréquemment employée dans les usines de dessalement des eaux saumâtres par l'osmose inverse et les usines thermiques de dessalement.

- ❖ **Reminéralisation par dissolution des minerais naturels dans l'eau dessalée** : Soit par addition de calcium qui est une pierre à chaux (calcite) c'est-à-dire un minéral naturel composée essentiellement de carbonate de calcium. Soit par addition de dolomite $[CaMg(CO_3)_2]$, qui est un minéral naturel qui contient le carbonate de calcium et de magnésium. (ALIAN, 2020)

V.3.2 Reminéralisation des eaux osmosées de notre étude

Le logiciel IMS Design indique que l'eau produite présente une salinité très basse, s'élevant à seulement 61,8 mg/l. Cette faible teneur en sels rend l'eau impropre à la consommation humaine. En effet, les normes de qualité pour l'eau potable exigent une salinité comprise entre 500 mg/l et 1500 mg/l. Ainsi, malgré son apparente pureté, cette eau ne répond pas aux standards requis pour être considérée comme potable. Donc la méthode de reminéralisation par mélange aux minerais d'une eau de source est plus simple et recommandée pour les eaux à faible salinité, comme celles de notre étude.

V.3.2.1 Calcul de la quantité d'eau de mélange :

Le schéma de mélange est représenté dans la figure V-2 :

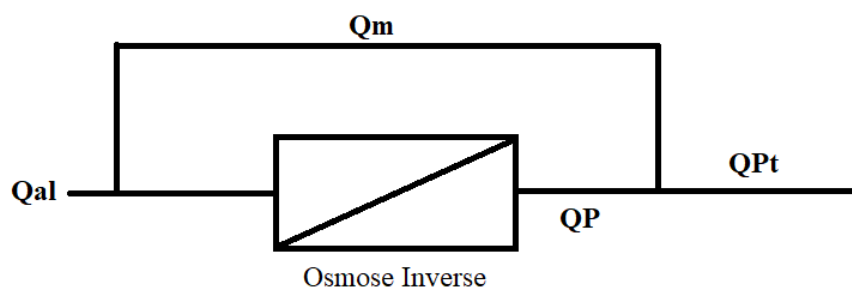


Figure V-2 : schéma de mélange.

Pour déterminer la valeur du débit d'eau de mélange Q_m qui alimente le réservoir de stockage ont appliqué la loi de conservation de masse telle que :

$$Q_p + Q_m = Q_{pt} \dots \dots \dots A$$

$$Q_p * C_p + Q_m * C_m = Q_{pt} * C_n \dots \dots \dots B$$

On remplace A en B on trouve :

$$Q_m = \frac{(CN - CP) * Q_p}{Cal - CN}$$

Avec ;

Cal : Salinité d'eau brute.

CP : Salinité d'eau produite.

CN : Salinité d'eau potable pour les normes algérienne $TDS_N = 500$ mg/l.

Qp : Débit d'eau produit par osmose inverse.

Qpt : Débit de production totale avec $TDS=500$ mg/l.

Qm : Débit de mélange

$$Q_m = 7375 \text{ m}^3/\text{j}$$

Donc le nouveau débit de la production de la station est égal :

$$Q_{PT} = Q_P + Q_m$$

$$Q_{PT} = 65004 \text{ m}^3/\text{j}$$

Calculer le débit d'alimentation de la station :

$$Q_{al_totale} = Q_{al_OI} + Q_m$$

Avec :

Qal_totale : Débit d'alimentation totale de la station.

Qal_OI : Débit d'alimentation d'osmose inverse.

$$Q_{al_totale} = 84215 \text{ m}^3/\text{j}$$

V.3.3 Conception de systèmes de désinfection :

Les systèmes de désinfection du perméat dans les usines de dessalement s'inspirent largement des méthodes utilisées dans les installations conventionnelles de traitement de l'eau. L'hypochlorite de sodium est le désinfectant le plus utilisé dans les usines de dessalement du monde. Pour plusieurs raisons :

- ❖ Efficacité contre les pathogènes : Il élimine efficacement les micro-organismes nocifs, rendant l'eau potable et sûre.

- ❖ Rémanence : Il maintient un niveau résiduel de chlore, prévenant la recontamination durant la distribution.
- ❖ Prévention des biofilms : Il empêche la formation de dépôts microbiens dans les conduites et équipements.
- ❖ Compatibilité : Il s'adapte bien aux systèmes où l'eau dessalée est mélangée à d'autres sources, assurant une désinfection continue.

La dose recommandée est entre 2 et 10 mg/l afin d'assurer une désinfection efficace et durable, de la production à la distribution de l'eau potable. (AWWA, 2011)

Le logiciel IMS Design a calculé le dosage requis, établissant une quantité de 11.67 kg/h avec une concentration de 70 %.

- ❖ **Calculer le débit de base du produit requis :**

$$Q_n = \frac{C}{d}$$

Avec :

Q_n : débit nominal du produit l/h

C : consommation du produit Kg/h

d :Densité du produit (pour L'hypochlorite de sodium d= 0.12 kg/l)

Les données concernant l'injection de L'hypochlorite de sodium sont représentées dans le Tableau V-6 :

Tableau V-6 : Caractéristiques de L'hypochlorite de sodium utilisé.

Produit	L'hypochlorite de sodium
Densité (Kg/l)	0.12
Dose nécessaire au traitement (mg/l)	3
Débit nominal du produit requis (l/h)	96.67
Débit journalier (m3/j)	2.32

Bac de stockage:

Pour un stockage de la solution pendant une période de 10 jours, le réservoir devrait être conçu selon la relation suivante :

$$V = N_j * Q_j$$

$$V = 23.2 \text{ m}^3$$

Avec :

V = Volume de stockage (m³)

N_j = période de stockage (jour)

Q_j = Débit journalier (m³/j)

Tableau V-7 : Caractéristiques du système de dosage de L'hypochlorite de sodium.

Pompe doseuse	Bac de stockage
❖ Nombre: 2	❖ Nombre : 2
❖ Débit : 48 l/h	❖ Capacité : 12 m ³
❖ Pression: 5 bar	❖ Diamètre : 4 m

V.4 Les différentes étapes de la chaîne de prétraitement :

Le prétraitement est l'ensemble des opérations de correction effectuées sur l'eau d'alimentation avec le bon fonctionnement du système d'osmose inverse de point de vue physique, chimique et bactériologique et la prévention du colmatage.

Le prétraitement peut servir à :

- Éliminer les particules en suspension et les micro-organismes.
- Régler le pH.
- Empêcher le dépôt de sels à la surface des membranes.

Lorsque la source d'eau est déterminée, nous réalisons une analyse de l'eau complète et précise. C'est une étape importante pour la conception du système de prétraitement et du système d'osmose inverse entier, afin de déterminer le type et la taille du prétraitement.

Pour notre étude, nous avons opté pour le prétraitement suivant :

A) Le prétraitement chimique:

L'analyse de notre eau révèle un problème de dureté excessive :

La dureté de l'eau est mesurée à 154 °F, dépassant largement la norme recommandée de 50°F, Cette dureté élevée favorise la formation de dépôts calcaires qui se déposent sur la surface des membranes. Ces dépôts entraînent progressivement le colmatage des membranes, réduisant leur efficacité.

Pour prévenir ce phénomène de sédimentation et ses conséquences négatives, l'ajout d'un réactif chimique :

- ❖ **L'antiscalant ou le séquestrant :** L'antiscalant est important pour aider les membranes utilisées dans le système RO à ne pas être exposées à la formation de tartre (provoquant un encrassement) en retardant la réaction du magnésium, du bicarbonate et du calcium. En conséquence, le processus d'osmose inverse est terminé dans une durée plus courte, évitant ainsi l'encrassement.

B) Le prétraitement physique:

L'analyse de notre eau révèle deux problèmes principaux :

- ❖ Le niveau de turbidité est de 0,6 NTU, dépassant ainsi le seuil critique de 0,3 NTU nécessaire pour l'admission dans le système d'osmose inverse. (AWWA, 2011)
Cette valeur élevée indique une concentration importante de matières en suspension.

- ❖ La concentration en nitrates est élevée à 75 mg/l dépassé les normes de potabilité Algérienne, ce qui peut favoriser le développement de matières organiques dans l'eau.

Pour résoudre simultanément les problèmes de l'excès de matières en suspension et de la présence de matières organiques, l'eau brute doit passer à travers des filtres à sable et à anthracite, ainsi que des filtres à cartouches. L'eau se déplace verticalement dans ces filtres : elle entre par le haut et descend à travers les couches filtrantes, lesquelles retiennent les matières en suspension et les matières organiques dans les couches filtrantes.

À cet effet, et pour protéger les installations d'osmose inverse, nous avons prévu :

- ❖ Une filtration sur filtre à sable.
- ❖ Une microfiltration sur filtre à cartouches.

V.4.1 Filtre à sable

La filtration est un procédé physique visant à clarifier un liquide contenant des matières en suspension, en le faisant passer à travers un milieu poreux.

V.4.1.1 Filtres à sable rapide sous pression

Le filtre horizontal sous pression fonctionne avec une filtration à flux descendant à travers deux couches de médias :

- ❖ Une couche supérieure d'anthracite, le matériau le plus grossier, qui permet de retenir les matières en suspension.
- ❖ Une couche inférieure de sable, le matériau le plus fin, qui réduit l'Indice de Densité de Silt (SDI) et diminue ainsi les risques de colmatage des membranes d'osmose inverse.

Ce procédé permet un enlèvement de la couleur, de la turbidité, des particules en suspension, des bactéries et de certains goûts et odeurs.

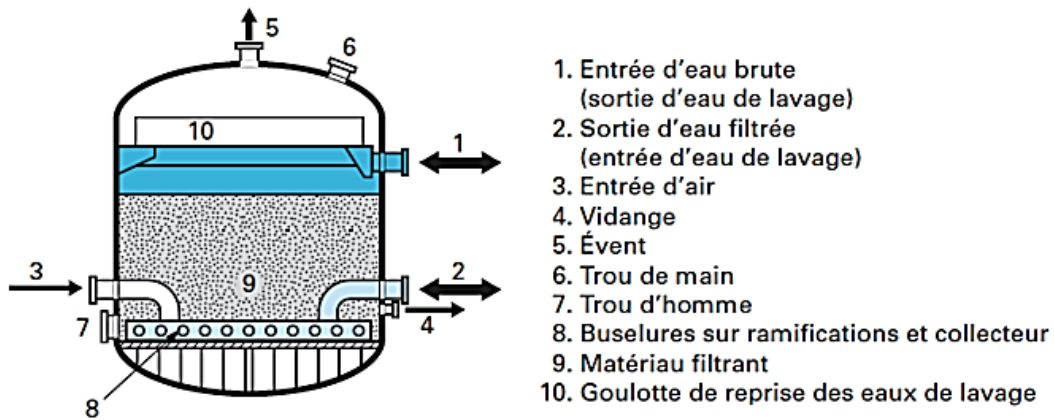


Figure V-3 : Schéma représentatif d'un filtre à sable horizontal à flux descendant.

L'efficacité d'un filtre est fortement influencée par le mode de régulation de son débit et du taux (vitesse) de filtration. On doit éviter dans la mesure du possible les brusques variations de débit. En ce sens, il est préférable que le filtre opère continuellement à débit réduit plutôt qu'en marche-arrêt fréquents à fort débit ; les filtres fermés sous pression acceptent des vitesses de filtration très élevées, elles varient de 5 à 20 m/h et la perte de charge peut atteindre 1,5 bar

V.4.1.1.1 Média filtrant

Le média filtrant représente le lit ou le milieu filtrant (figure V-4) :

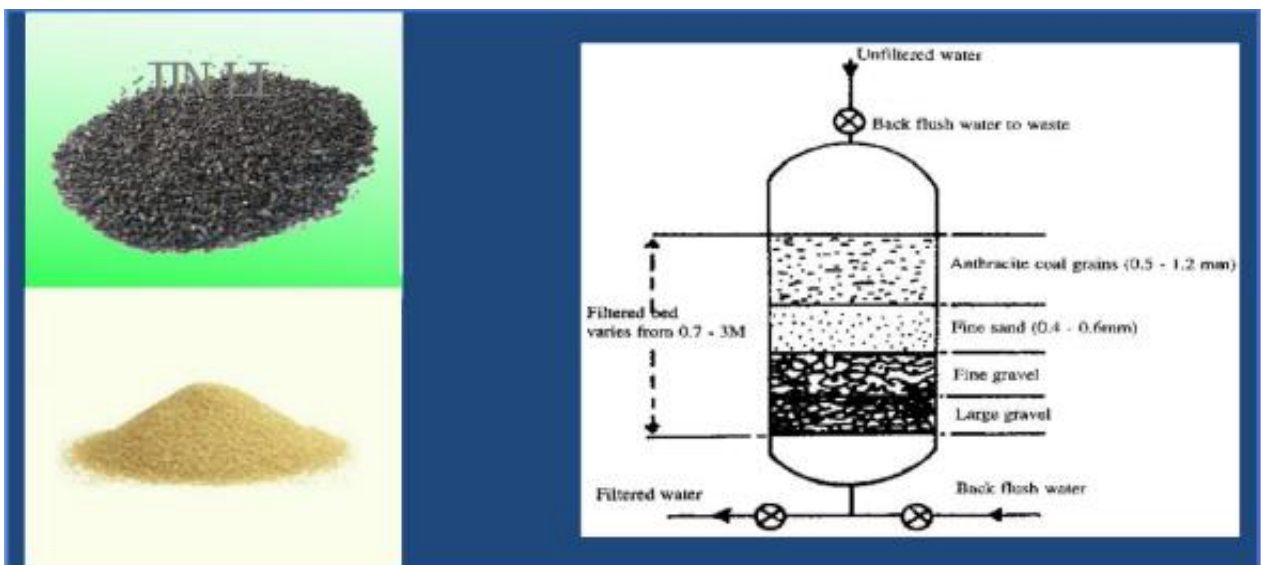


Figure V-4 : média filtrant de filtre à sable.

Le diamètre de sable adéquat à la filtration est sélectionné par un essai au laboratoire.

Nous tirerons cette information des filtres double média actuels.

A) Anthracite :

La couche supérieure du milieu filtrant est composée d'anthracite, avec une hauteur comprise entre 0,4 et 0,8 m. Sa taille effective varie de 0,8 à 2 mm, avec un coefficient d'uniformité entre 1,3 et 1,7 mm. L'anthracite est responsable de l'élimination des particules grossières ou préalablement oxydées, En raison de sa faible densité relative. (YOUTCHKOV, 2013)

B) Sable :

La couche inférieure du milieu filtrant est composée de sable, avec une hauteur comprise entre 0,8 et 2 m. Sa taille effective varie de 0,4 à 0,6 mm, avec un coefficient d'uniformité inférieur à 1,4 mm. Le rôle principal du sable est d'éliminer les fines particules résiduelles non captées par la couche supérieure d'anthracite. (YOUTCHKOV, 2013)

C) Gravier de support :

Le gravier de support situé sous la couche de sable est composé de graviers et possède une hauteur comprise entre 0,1 et 0,5 m. Sa taille effective varie de 3.15 à 8 mm, cette couche permet :

- ❖ De retenir le sable du milieu filtrant
- ❖ D'améliorer la répartition de l'eau de lavage dans les filtres

La constitution des filtres bicouche sable-anthracite offre une grande capacité de rétention car la porosité est élevée, ainsi qu'une répartition uniforme des grains après lavage.

V.4.1.2 Calcule du filtre à sable :

Les données:

- ❖ Débit d'eau a traité pour aliment l'osmose inverse : **3202 m³/h**
- ❖ Débit d'eau a traité pour le melange : **307 m³/h**
- ❖ La viscosité dynamique du fluide : **0.001 Pa.s**
- ❖ Surface de la section transversale du filtre à sable : **60 m²**
- ❖ La vitesse de filtration (5 à 20 m/h), La vitesse de filtration est choisie de telle façon le régime de filtration reste en régime laminaire, nous avons pris : **7 m/h.**

A) La surface filtrante Sf :

Le calcul de la surface filtrante dépend du débit d'alimentation et de la vitesse de filtration, soit la formule suivante :

$$Sf = \frac{Qal}{V}$$

Avec :

Sf : Surface filtrante (m²).

Qal : d'alimentation (m³/h).

V : Vitesse de filtration (m/h).

$$Sf = 501.29 \text{ m}^2$$

B) Le nombre de filtres :

Le nombre de filtres à sable nécessaires est donné par la relation suivante :

$$NFS = \frac{Sf}{St}$$

Avec :

NFS : Nombres de filtres à sable.

Sf : Surface filtrante (m²).

St : Surface de la section transversale du filtre à sable (m²).

$$NFS = 9 \text{ filtres à sable}$$

Nombre de filtres à sable par unité :

$$NFSu = \frac{NFS}{Nu}$$

Avec :

Nu : Nombre de unite

$$NFSu = 3 \text{ filtres à sable par unité}$$

Par mesure de sécurité on prend toujours (NFS = 3 + 1) donc on obtient :

$$NFSu = 4 \text{ filtres à sable par unité}$$

C) Calcul de la perte de charge initiale dans le filtre à sable à trois couches de filtration

:

Pour calculer les pertes de charges, nous commençons d'abord par calculer le nombre de

Reynolds particulaire donné par l'équation :

$$Rep = \frac{\rho * Dp * V}{\mu}$$

ρ : Masse volumique de l'eau de filtration (1010 Kg/ m3).

Dp : diamètre de la particule en m

μ : Viscosité dynamique de l'eau (0.001 Pa.s).

V : Vitesse de filtration (5 à 20 m/h), nous avons pris 7 m/h.

La vitesse de filtration est choisie de telle façon le régime de filtration reste en régime laminaire.

Nous trouvons :

$Rep = 1.18$ pour le sable et 2.95 pour l'anthracite et 9.82 pour le gravies.

Ainsi, comme dans les trois cas $Rep < 10$, alors le régime d'écoulement dans le filtre est bien laminaire et les pertes de charges se calculent à l'aide de l'équation de **Blake-kozeny**

:

$$\Delta P = \frac{150 (1 - \varepsilon)^2 L}{Rep} \frac{L}{\varepsilon^3} \frac{\rho V^2}{Dp}$$

Avec :

Rep : nombre de Reynolds particulaire

ρ : Masse volumique de l'eau de filtration (1010 Kg/ m3).

ε : Porosité de la couche filtrante.

μ : Viscosité dynamique de l'eau (0.001 Pa.s).

V: Vitesse de filtration.

Les résultats de calcul presenter sur le tableau V-8 :

Tableau V-8 : Résultats de calcul de la perte de charge initiale dans le filtre à sable.

Couches de filtration		Caractéristiques physiques des couches			Vitesse de filtration	Nombre de Reynolds	Perte de charge	Perte de charge totale
		D mm	H (m)	Porosité ε (%)	V (m/h)	Rep	ΔP (Pa)	ΔP (Pa)
C1	Anthracite	1.5	0.8	0.55	7	2.95	126.22	9241.85
C2	Sable fin	0.6	2	0.4	7	1.18	9115	
C3	Gravier	5	0.2	0.65	7	9.82	1.04	

Ainsi, la perte de charge totale en mètres à travers le lit est :

$$\Delta P = \frac{\Delta P \text{ (Pa)}}{\rho * g}$$

$$\Delta P = 0.93 \text{ m} < 1 \text{ m} \text{ donc c'est une valeur acceptable}$$

C'est la perte de charge initiale du filtre à sable, elle augmente au fur et à mesure du cycle de filtration avec l'accumulation des MES dans les espaces inter-granulaire des couches de filtration (C1, C2, C3), cette accumulation engendre un colmatage progressif de la couche filtrante et par conséquent, une diminution de la porosité, et que d'après la relation de **Blake-kozeny** la perte de charge dans la couche filtrante augmente lorsque la porosité diminue.

D'après les produits normalisés commercialisés nous choisirons les filtres avec les caractéristiques suivantes :

Tableau V-9 : Caractéristiques du filtre à sable.

Type du média filtrant	Sable et anthracite
Vitesse de passage (m/h)	7
Pertes de charges (m)	0.93
Nombre de filtres / unité	4
Nombre de filtres total	12
Surface unitaire (m ²)	60
Diamètre (m)	5
Longueur (m)	12
Débit unitaire de chaque filtre m ³ /h	293

(YOUTCHKOV, 2013)

Donc le nombre de filtres nécessaires pour filtrer un débit d'eau de **3509 m³/h** est de **12** filtres à sable d'une surface filtrante de **60 m²**, chacune devra donc produire un débit de **293 m³/h**.

V.4.2 L'antiscalant ou le séquestrant :

L'addition d'acide inhibe la formation des carbonates de calcium mais reste malheureusement inefficace face aux autres types de tartes, en particulier les sulfates (CaSO₄, SrSO₄, BaSO₄, SiSO₄...). En général, trois inhibiteurs sont utilisés, l'hexametaphosphate de sodium (SHMP), les organophosphonates et les polyacrylates.

Les organophosphonates sont plus efficaces et plus stables que le SHMP. Les polyacrylates, quant à eux, sont caractérisés par une masse molaire très grande et connus par leur efficacité à réduire les sels de silice via un mécanisme de dispersion. (MOUMEN, 2015)

L'antiscalant sélectionné est un organophosphonate composé en particulier des acides carboxyliques (R-COOH) et des phosphates, et la dose recommandée est entre 2 et 5 mg/l.. (AWWA, 2011)

Le logiciel IMS Design a calculé le dosage requis, établissant une quantité de 8 kg/h avec une concentration de 40 % pour chaque train de traitement.

❖ Calculer le débit de base du produit requis :

$$Q_n = \frac{C}{d}$$

Avec :

Q_n : débit nominal du produit l/h

C : consommation du produit Kg/h

d :Densité du produit (pour l'antiscalent d= 1.2 kg/l)

Les données concernant l'injection de l'antiscalant sont représentées dans le tableau V-10 :

Tableau V-10 : Caractéristiques de l'antiscalant utilisé.

Produit	Anti-scalant
Densité (Kg/l)	1.2
Dose nécessaire au traitement (ppm)	3
Débit nominal du produit requis (l/h)	6.67
Débit journalier (l/j)	160

Le séquestrant est injecté juste avant l'arrivée des eaux au niveau des filtres à cartouches.

Bac de stockage :

Pour un stockage de la solution pendant une période de 10 jours, le réservoir devrait être conçu selon la relation suivante :

$$V = N_j * Q_j$$

Avec :

V = Volume de stockage (m³)

N_j = période de stockage (jour)

Q_j = Débit journalier (m³/j)

$$V = 1.6 \text{ m}^3$$

Les caractéristiques du système de dosage de l'antiscalant sont présentées dans le tableau V-11 :

Tableau V-11 : Caractéristiques du système de dosage de l'antiscalant.

Pompe doseuse	Bac de stockage
❖ Nombre: 2	❖ Nombre: 1
❖ Débit: 3.34 l/h	❖ Capacité: 2 m ³
❖ Pression: 5 bar	❖ Diamètre: 5 m

V.4.3 Filtration à cartouches 5 µm :

L'eau filtrée provenant des filtres sable, doit être filtrée à nouveau par une microfiltration constituée de filtres à cartouches de 5 µm, afin d'éliminer les microparticules de sable et impuretés qui ont pu traverser le filtre à sable et qui peuvent endommager les membranes d'osmose inverse par l'encrassement particulaire, est par conséquent la diminution de la production d'eau douce.

Les cartouches ou membranes de microfiltration, fonctionnent à flux horizontal (écoulement tangentielle) afin de réduire la perte de charge dans les membranes.

V.4.3.1 Calcul du nombre de cartouches et filtres à cartouches nécessaire à la station de déminéralisation :

Dans notre étude, nous nous appuyons sur l'utilisation de cartouches de filtration industrielles en meltblown polypropylène. Il présente les caractéristiques représentées dans le tableau V-12 :

Tableau V-12 : Caractéristiques techniques de la cartouche et filtre à cartouche.

Cartouche de microfiltration	
Matériau	Polypropylène
Longueur	1016 mm
Diamètre	64 mm
Degré de filtration	5 µm
Température de fonctionnement maximale	80°C
Pression différentielle maximale (perte de charge) pour le remplacement	2.5 bar (à 30°C)
Débit	2.4 m ³ /h
Filtre à cartouches	
Nombre de cartouches par filtre	98
Pression maximale	10 bar
Pression nominal	4 bar

(EATON, 2006)

Calculer le nombre de cartouches :

Le nombre de cartouches de la station de dessalement est calculé comme suit :

$$NC = \frac{Qf}{QC}$$

Avec :

NC: Nombre de cartouches.

Qf: Débit total à filtrer (provenant de la filtration granulaire) (m³/h).

QC: Débit unitaire de la cartouche (m³/h).

A) Calculer le nombre de filtres à cartouches :

Donc le nombre de filtres à cartouches à installés est : $NFC = \frac{NC}{98}$

Les résultats de calcul sont donnés sur le tableau V-13 :

Tableau V-13 : Résultats de calcul du nombre de cartouches et filtres à cartouche.

Débit total à filtrer	3202m ³ /h
Débit unitaire de la cartouche	2.4 m ³ /h
Nombre de cartouches	1334
Nombre de cartouches par filtres	98
Nombre de filtre a cartouches total	15
Nombre de filtre a cartouches/unité	5

Donc il faut 15 filtres à cartouches pour filtrer un débit de 3202 m³/h, soit 214m³/h par filtres à cartouche.

V.5 Choix des pompes intermédiaire:

Nous pouvons dimensionner les pompes pour pomper l'eau brute maintenant que nous avons calculé les pertes de charge dans les filtres.

Le schéma du pompage est illustré dans la (Figure V-5) :

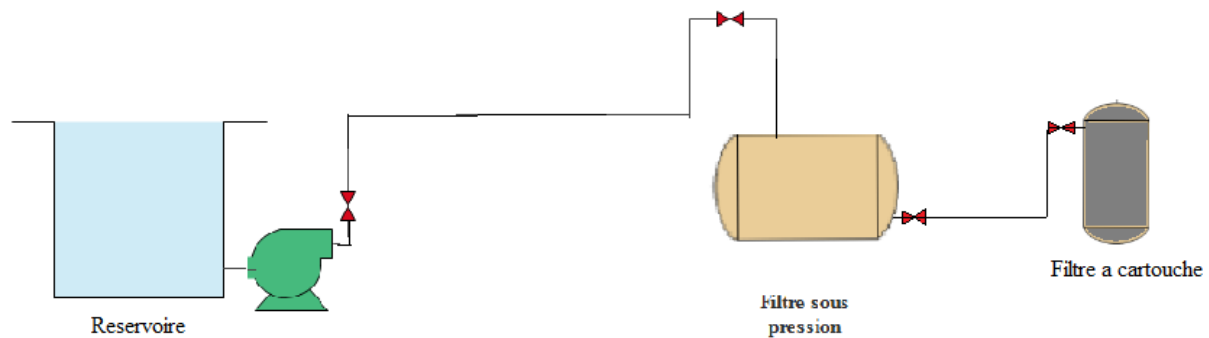


Figure V-5 : Schéma du pompage.

Pour calculer les pertes de charge linéaire, nous commençons par calculer la vitesse dans les conduites

V.5.1 Dimensionnement des conduites :

La vitesse d'écoulement de l'eau dans les conduites est préconisée entre 1 m/s et 3 m/s.

Nous choisirons une vitesse d'écoulement pour l'eau $ve = 2 \text{ m/s}$ et nous avons le débit d'eau brut est : $Qeau = 3509 \text{ m}^3/\text{h}$.

Nous travaillerons à la mise en place de trois unités de traitement supplémentaires pour la station qui fonctionneront en parallèle. Donc le débit de chaque unité est:

$$Qeau = 1170 \text{ m}^3/\text{h}$$

Donc le diamètre de la conduite d'eau $Deau$ est calculé par la relation :

$$D = \sqrt{\left(\frac{4 * Qeau}{\pi * ve}\right)}$$

Nous trouvons : $D = 0,46 \text{ m}$

Nous prenons un diamètre nominal : $DN = 500 \text{ mm}$

V.5.2 Les pertes de charge totales :

Nous prenons un diamètre nominal : $DN = 500 \text{ mm}$. Donc la vitesse corrigée est : $ve = 1.7 \text{ m/s}$

Après le calcul de la vitesse vient le calcul du nombre de Reynolds qui servira par la suite à la détermination du coefficient de perte de charge linéaire :

$$Rep = \frac{\rho * Ve * di}{\mu}$$

$$Rep = 858500 > 3000$$

Donc le régime d'écoulement est Turbulent.

Le coefficient de perte de charge λ dépend du type d'écoulement et de la qualité du tube. Dans ce cas le coefficient de perte de charge peut être estimé par le diagramme de **MOODY** (voir l'annexe 02) :

$$\lambda = 0.012$$

Les pertes de charges linéaires sont se calculent à l'aide de l'équation suivante :

$$\Delta H = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Avec :

$$L = 115 \text{ m}$$

$$\Delta H = 0.41 \text{ m}$$

Après avoir entamé le calcul des pertes de charges linéaires, vient ensuite le calcul des pertes de charges singulières. Les pertes de charges singulières sont égales à :

$$\Delta H_s = \left(\sum \xi * N \right) * \frac{V^2}{2g}$$

En effectuant une visite sur le terrain, nous avons pu énumérer les singularités dans le circuit de l'ancienne unité et ainsi nous pouvons, par similitude, effectuer le calcul. Ces désignations sont données dans le tableau V-14 :

Tableau V-14 : Nombre de singularités entre les pompes et OI.

Singularités	Nombre	Coefficient
Coudes 90°	8	0.75
Vanne	5	0.05
Clapet anti retour	1	2
Réducteur (Divergeant)	1	0.4

Ainsi, nous trouvons $\Delta H_S = 1.27 \text{ m}$

Finalement, les pertes de charge totales sont :

$$\Delta H_{\text{totale}} = \Delta H_s + \Delta H_l + \text{perte de charges dans les filtres}$$

$$\Delta H_{\text{totale}} = 2.61 \text{ m}$$

V.5.3 Calcul de la hauteur manométrique totale (HMT) :

Pompage intermédiaire est obligatoire à la sortie du décanteur pour garantir l'écoulement jusqu'au Pompage intermédiaire est obligatoire à la sortie du réservoir pour garantir l'écoulement jusqu'au bâtiment RO, donc :

- ❖ On adopte un filtre à sable pressurisé.
- ❖ Le pompage intermédiaire doit aussi garantir une pression minimale de 3 bars à l'entrée du filtre à cartouche et 3 bars aussi à l'entrée des pompes à haute pression dans le bâtiment RO.

$$HMT = Hg + \Delta H + Pg$$

Pg : Pression minimale à assurer (mce)

Hg : Hauteur géométrique (m).

On a une installation en charge, dont la hauteur géométrique est :

$$Hg = Hr - Ha$$

Avec :

Ha : Hauteur d'aspiration entre l'axe de la pompe et le plan d'eau d'aspiration.

Hr : Hauteur de refoulement entre l'axe de la pompe et le plan d'eau de refoulement.

$$Hg = 3 \text{ m}$$

$$HMT = 65.55 \text{ m}$$

La pompe doit être choisie en fonction des critères déterminants ci-après :

- ❖ Assurer le débit forcé (d'alimentation) et la charge (HMT).
- ❖ Calage de la pompe pour éviter le phénomène de cavitation.
- ❖ Nombre de pompe minimale.
- ❖ Meilleur rendement de la pompe.

- ❖ (NPSH)_r minimale.
- ❖ Puissance absorbée minimale.
- ❖ Vitesse de rotation de la pompe la plus élevée.

Les caractéristiques de la pompe sélectionnée sont indiquées dans le (Tableau V-15) :

Tableau V-15 : Les caractéristiques de la pompe choisie.

Nombre	Débit unitaire	HMT	Vitesse de rotation (tr/min)	Puissance de l'arbre (kw)	Model
3	1260	75	1450	304	MS 350S-16

V.6 Simulation par logiciel IMS Design

IMS-DESIGN est un logiciel de dimensionnement répondant aux exigences des professionnels et des experts du dessalement. Il offre des fonctionnalités de programme améliorées, des graphiques améliorés et comprend de nouvelles fonctionnalités, ce qui améliore la capacité de l'utilisateur à concevoir et à analyser rapidement et précisément des systèmes à base de membranes et à contrôler les données et les résultats obtenus lors de la séparation par osmose inverse, et cela dans le but de sélectionner la membrane et la configuration la plus performante selon la qualité et la quantité d'eau déminéralisée. Destiné aux différentes activités liées principalement au traitement des eaux destinées à alimenter les citoyens en eau potable. (SMITH, 2023)

V.6.1 Paramètre de fonctionnement de logiciel (IMS-Design)

- ❖ **Débit de production** : c'est la quantité d'eau produite par jour (m^3/jrs)
- ❖ **Taux de conversion** : Le taux ou facteur de conversion est le rapport du débit de perméat au débit d'alimentation Y. Le taux de conversion est très variable en fonction de la qualité désirée, de la qualité de la ressource disponible, et en particulier du risque lié à la précipitation des sels minéraux en surface de membrane.
- ❖ **Qualité d'eau brute** : c'est les analyses de salinité de l'eau brut (TDS) et le pH

Nous avons réalisé une simulation de traitement d'eau saumâtre à l'aide du logiciel de calcul IMS-Design dans le but de produire **65 000 m³/j** de l'eau potable avec un taux de conversion de **75 %**.

V.6.2 Etapes de simulation

V.6.2.1 Analyse :

Dans cette étape, on introduit les concentrations des ions de l'eau brute.

Cations		Anions			
	mg/l	mg/l CaCO3			
Ca	324.00	810.00	HCO3	232.00	190.16
Mg	183.00	750.00	SO4	1530.00	1593.75
Na	720.00	1565.22	Cl	812.00	1145.28
K	46.00	58.83	F	0.00	0.00
NH4	0.00	0.00	NO3	75.52	60.90
Ba	0.000	0.00	PO4	0.00	0.00
Sr	0.000	0.00	SiO2	0.00	
			B	0.00	
Total, meq/l		63.68	Total, meq/l		59.82

Saturations	
Calculated TDS	3923 mg/l
Osmotic pressure	2.0 bar
Ca3(PO4)2 SI	0.00
CCPP	48.35 mg/l
Langlier SI	0.4
CaSO4	43.9 %
BaSO4	0.0 %
SrSO4	0.0 %
CaF2	0.0 %
Silica	0.0 %

Figure V-6 : interface du logiciel IMS-Design pour l'étape analyse.

V.6.2.2 Dimensionnement :

Cette étape implique l'ajout de conditions, la sélection du type de membrane, la détermination du nombre de membranes nécessaires, ainsi que le choix de l'arrangement optimal de l'unité osmose inverse.

Trains		Pass1	
pH alimentation		7.40	
Taux de conversion perméat	%	75.00	
flux / train perméat.	m3/d	19210.0	
Flux moyen	lmh	28.4	
Débit alimentation	m3/d	25613.3	
Débit rejet	m3/d	6403.3	

Système		
Débit de production total de l'usine	m3/d	65004.00
Nombre de trains		3

Spécifications du système		
Type d'élément	l'étage 1	l'étage 2
	CPA3	CPA3
Eléments / Tube	6	6
Nombre de tubes	84	42

Figure V-7 : interface du logiciel IMS-Design pour l'étape de sélection et de dimensionnement.

V.6.3 Résultats obtenus par logiciel :

L'étude de dimensionnement a été réalisée en utilisant le logiciel IMS-Design, qui permet une simulation précise des différentes étapes du processus de traitement.

La figure V-8 représenter les conditions détaillées de cette simulation :

Mélange perméat			
Nom du projet	Dimensionnement MFE		page : 1/4
Calculé par	Ayoub	flux / train perméat	19210.0 m3/d
Débit Pompe HP	1067.11 m3/h	le flux total du produit	65004.00 m3/d
Pression alimentation	18.9 bar	Number of trains	3
Température alimentation	20.0 °C(68.0°F)	écoulement de feau brute / train	28071.3 m3/d
pH eau alimentation	7.40	Taux de conversion perméat	75.00 %
Dosage produit chimique, mg/l, -	None	Débit de mélange	21668.0 m3/d
Energie spécifique	0.87 kwh/m3	Age élément	5.0 années
NDP pass	14.3 bar	Déclin du flux %, par an	5.0
Flux moyen	28.4 lmh	Coefficient de colmatage	0.77
		Perte de flux par an,%	7.0 %
		Perte de charge canalisation inter-étage	0.207 bar
		Type alimentation	Eau saumâtre de forage faible colmatage

Figure V-8 : les conditions détaillées de simulation.

Les résultats détaillés des paramètres de mesure à chaque étage, incluant les débits, flux, pressions différentielles, et concentrations de solutés, représentés dans la figure V-9

Pass -	Perm.	Débit / Tube Aliment		Flux	DP	Flux	Bêta	pression par étage			Perm.	Elément	Elément	PV# x
Etage	Débit	ation	Conc			max		Perm.	Boost	Conc	TDS	Type	Quantité	Elem #
	m3/h	m3/h	m3/h	lmh	bar	lmh		bar	bar	bar	mg/l			
1-1	594.9	12.7	5.6	31.7	1.1	35.1	1.17	0	0	17.8	40	CPA3	504	84 x 6M
1-2	206.1	11.2	6.3	22.1	1	26	1.1	0	0	16.6	121.5	CPA3	252	42 x 6M

Figure V-9 : les résultats des calculs à chaque étage.

On observe que le flux et les pressions se situent dans les plages attendues, et que l'utilisation des modules Torray est appropriée pour le niveau de TDS indiqué.

La dose d'anti-scalant nécessaire pour éviter la précipitation des sels à la surface de la membrane est représentée dans la figure V-10.

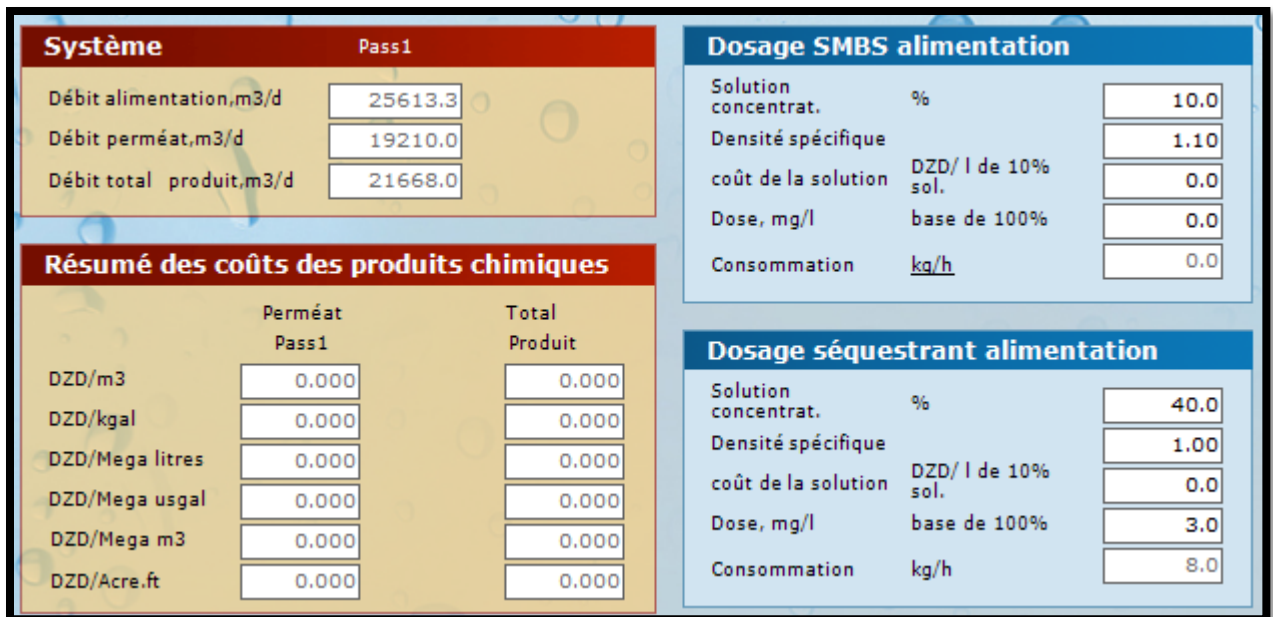


Figure V-10 : interface du logiciel IMS-Design pour l'étape exigence chimique.

La figure V-11 représente la dose d'hypochlorite de sodium nécessaire pour désinfecter l'eau de perméat.

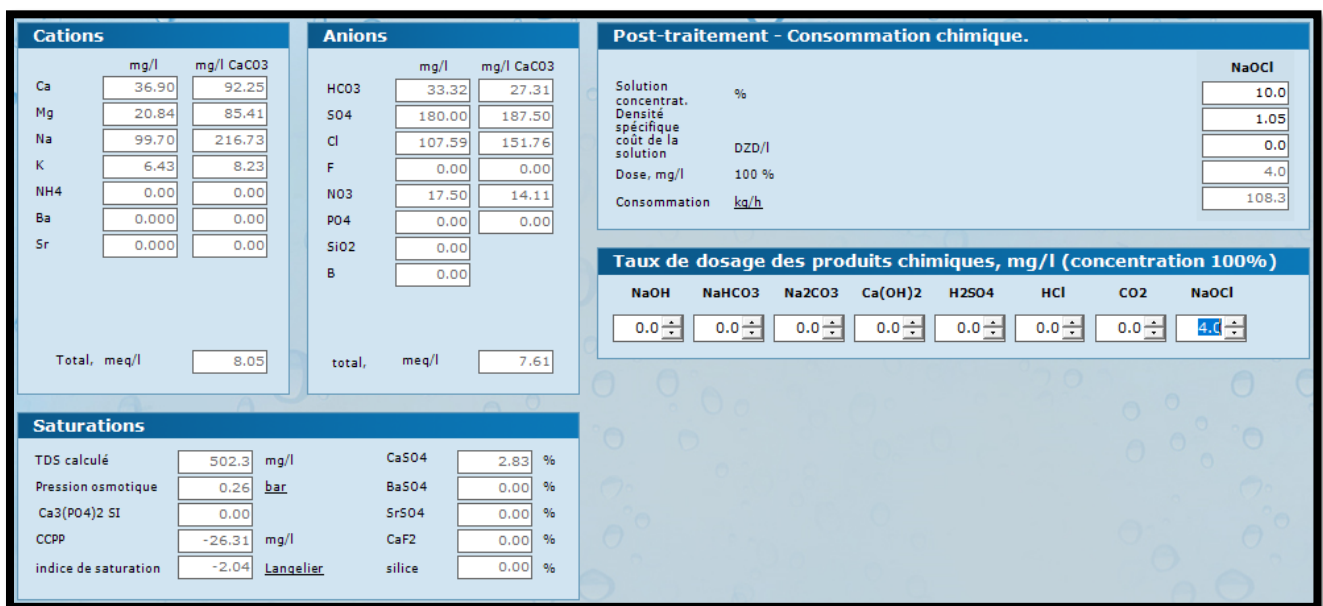


Figure V-11 : interface du logiciel IMS-Design pour l'étape post-traitement.

La figure V-12 présente les résultats détaillés de la simulation d'une station de déminéralisation par osmose inverse. Elle comprend les débits, les pressions, les concentrations de solutés (TDS), les valeurs de pH, et la conductivité électrique (Econd) à chaque étape du traitement de l'eau.

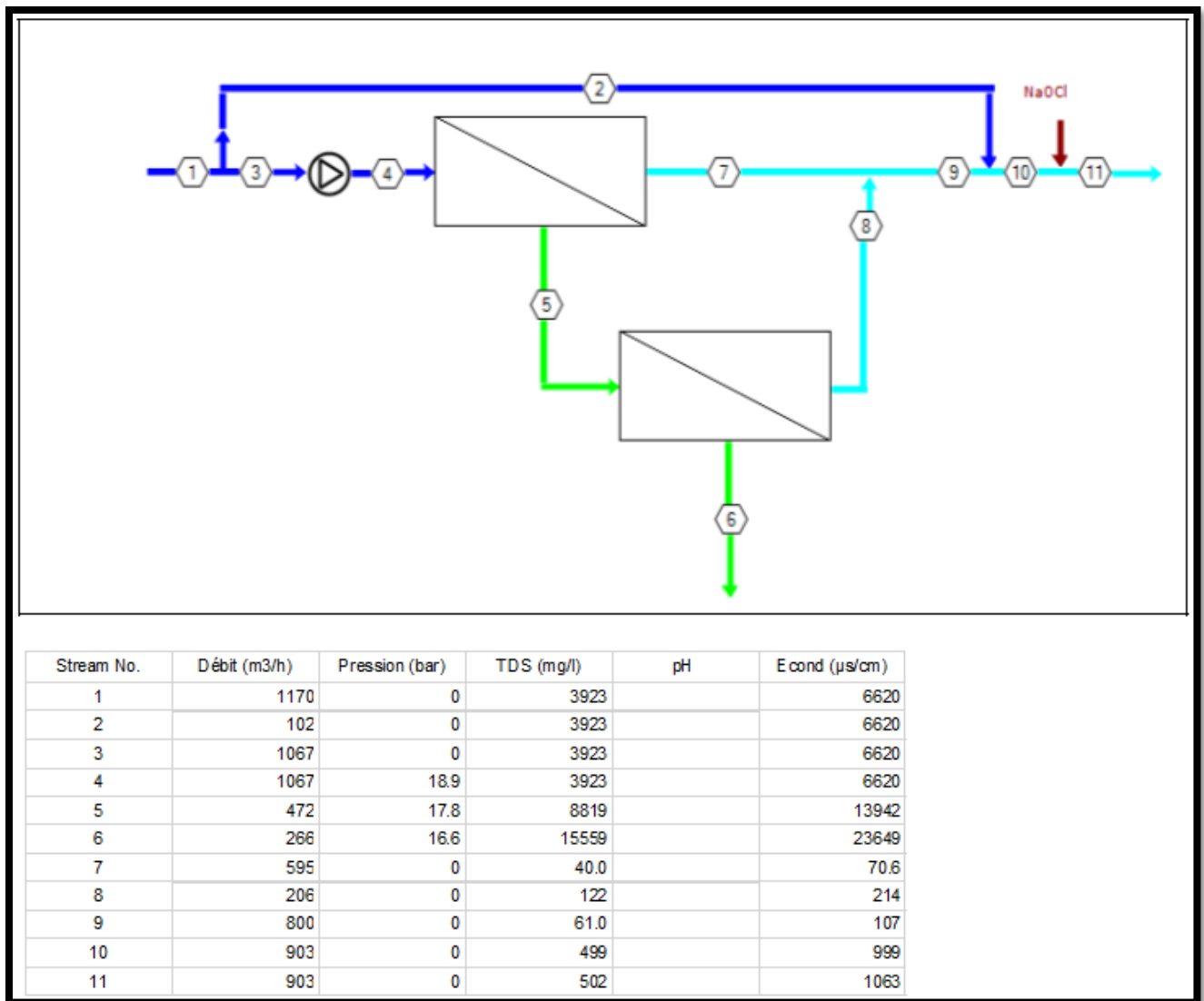


Figure V-12 : Configuration de système avec reminéralisation.

Les résultats montrent une amélioration de la qualité de l'eau tout au long du processus de déminéralisation par osmose inverse. On observe une pression atteignant 18.9 bar avant le processus de dessalement, garantissant une séparation efficace des solutés. Cette simulation démontre la capacité du système à fournir de l'eau potable répondant aux normes de qualité, en tenant compte des variations de flux, de pression et de concentrations de solutés tout au long du processus.

La figure V-13 affiche les données sur la qualité de l'eau pour différentes étapes de traitement de l'eau, notamment l'eau brute, l'eau d'alimentation, l'eau de perméat, le concentré de 1er étage, le concentré de 2e étage et le produit mélangé, et les saturations de différents composés.

Ion (mg/l)	Eau brute	Eau alimentation	imprégner l'eau	Concentrat-1	Concentrat-2	Blended Product
Dureté, CaCO3	1580.00	1580.00	0.788	3524.9	8253.3	177.68
Ca	324.00	324.00	0.183	732.1	1298.8	38.90
Mg	183.00	183.00	0.092	413.5	733.6	20.84
Na	720.00	720.00	18.935	1811.8	2830.3	98.46
K	46.00	46.00	1.372	102.8	180.3	6.43
NH4	0.00	0.00	0.000	0.0	0.0	0.00
Ba	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00
Sr	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00
H	0.00	0.00	0.001	0.0	0.0	0.00
CO3	0.84	0.84	0.000	4.0	14.8	0.07
HCO3	232.00	232.00	7.819	518.2	905.5	33.32
SO4	1530.00	1530.00	7.283	3451.8	8113.5	180.00
Cl	812.00	812.00	15.313	1822.5	3210.1	105.69
F	0.00	0.00	0.000	0.0	0.0	0.00
NO3	75.52	75.52	10.079	182.2	272.5	17.50
PO4	0.00	0.00	0.000	0.0	0.0	0.00
OH	0.00	0.00	0.000	0.0	0.0	0.00
SiO2	0.00	0.00	0.000	0.0	0.0	0.00
B	0.00	0.00	0.000	0.0	0.0	0.00
CO2	12.58	12.58	12.58	12.58	12.58	12.58
NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	3923.16	3923.16	61.04	8818.76	15559.14	499.22
pH	7.40	7.40	6.02	7.72	7.93	6.62
Saturations	Eau brute	Eau alimentation	Concentrat	Limites		
CaSO4 / ksp * 100, %	44	44	250	400		
SrSO4 / ksp * 100, %	0	0	0	1200		
BaSO4 / ksp * 100, %	0	0	0	10000		
SiO2 saturation, %	0	0	0	140		
CaF2 / ksp * 100, %	0	0	0	50000		
Ca3 (PO4) 2 indice de saturation	0.0	0.0	0.0	2.4		
CCPP, mg/l	48.35	48.35	541.31	850		
Langelier indice de saturation	0.44	0.44	2.11	2.8		
Force ionique	0.09	0.09	0.37			
Pression osmotique, bar	2.0	2.0	7.9			

Figure V-13 : la qualité de l'eau pour différentes étapes du traitement de l'eau.

Cette analyse détaillée aide à comprendre l'efficacité du processus de traitement de l'eau, Nous notons également que la qualité de l'eau produite est propre à la consommation humaine car elle répond aux normes de sécurité et de qualité fixées par ministère algérien des ressources en eaux.

V.6.4 Pompe haute-pression :

Les pompes haute-pression d'alimentation des modules d'osmose inverse sont cruciales pour fournir la pression nécessaire à la filtration, assurant ainsi la séparation efficace des sels et contaminants dissous. Elles maintiennent un débit constant, optimisent l'efficacité du système en maximisant la récupération d'eau pure. Cela garantit une production d'eau déminéralisée de haute qualité dans une station de déminéralisation.

La pompe doit être choisie en fonction des critères déterminants ci-après :

- ❖ Assurer le débit forcé (d'alimentation) et la charge (HMT).
- ❖ Calage de la pompe pour éviter le phénomène de cavitation.
- ❖ Nombre de pompe minimale.

- ❖ Meilleur rendement de la pompe.
- ❖ (NPSH)_r minimale.
- ❖ Puissance absorbe minimale.
- ❖ Vitesse de rotation de la pompe la plus élevé.

Dans le cas de notre étude nous allons utiliser **trois pompes haute-pression** ayant les caractéristiques suivantes :

Tableau IV.12 : Caractéristiques des pompes haute-pression

Type de pompe	Nombre des pompes	Débit des pompes	Pression des pompes	Puissance
Haute-pression	3+1	1067 m ³ /h	20 bars	928.29 Kw

V.7 Le processus de chaîne de déminéralisation :

Notre station sera principalement équipée d'une chaîne de traitement composée de :

- ❖ Des postes de prétraitement chimique.
- ❖ Des postes de prétraitement physique comportant :
 - 12 filtres à sable horizontaux
 - 15 filtres à cartouches constitués chacun par 98 cartouches
- ❖ Une unité d'osmose inverse à deux étages et à trois lignes composées en tout de 2268 modules.
- ❖ Un poste de reminéralisation.

Bien sûr sans oublier de citer l'ensemble des systèmes de pompage utilisés, les réservoirs et les bâches d'eau de différentes capacités.

La figure V-14 montre la chaîne de traitement d'un train de déminéralisation :

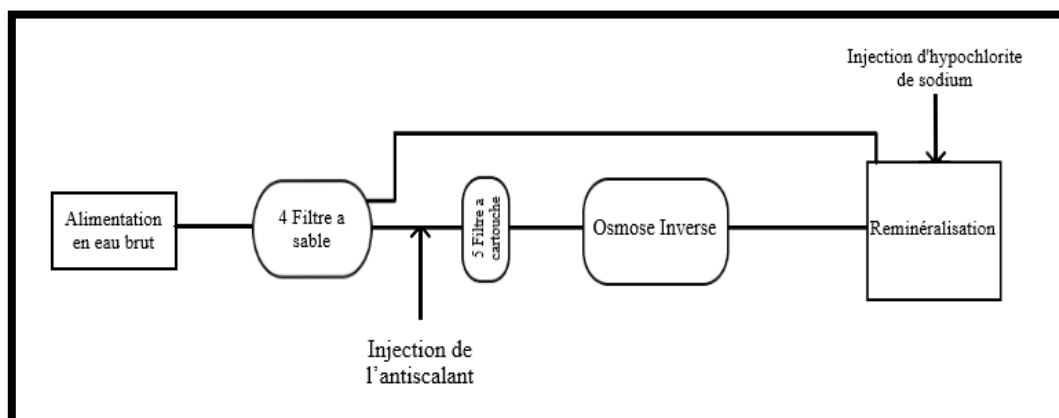


Figure V-14 : Schéma explicatif de l'unité de déminéralisation.

Conclusion :

À la fin de ce chapitre, nous avons finalisé le dimensionnement de l'extension de la station de déminéralisation étudiée en suivant des étapes de calcul bien définies. Cette extension, avec une capacité de production de 65000 m³/j, alimente les réservoirs voisins en eau destinée exclusivement à un usage domestique.

CHAPITRE VI

Devis estimatif pour l'extension de la station de déminéralisation de Tindouf

CHAPITRE VI

Devis estimatif pour l'extension de la station de déminéralisation de Tindouf

Introduction :

L'étude économique est une étape cruciale dans la réalisation d'un projet, car elle permet d'évaluer la faisabilité financière. Cette analyse aide à décider du lancement du projet en se basant sur les gains attendus, les coûts d'investissement et le retour sur investissement. Nous effectuerons une analyse financière du projet étudié précédemment.

VI.1 Devis quantitatif et estimatif :

L'estimation précise des coûts d'exploitation nécessite la prise en compte de multiples facteurs opérationnels. Parmi ces éléments clés figurent la consommation d'énergie électrique, l'utilisation de consommables et les dépenses de maintenance, entre autres. Une compréhension approfondie et une gestion rigoureuse de ces différents postes sont essentielles pour établir un calcul fiable des dépenses d'exploitation. Cette approche globale permet d'obtenir une valeur de consommation représentative et réaliste.

VI.2 Calcul économique

Le calcul économique repose sur une quantification précise de tous les éléments considérés. Cette approche implique l'attribution de valeurs numériques à chaque aspect du projet, permettant ainsi d'obtenir une estimation chiffrée du coût total final.

VI.2.1 Estimation des coûts d'investissement

L'investissement total comprend le coût de la construction de l'unité et le coût de l'équipement principal et auxiliaire et donné par la relation suivante :

$$C_{inv} = C1 + C2 + C3 + C4 + C5$$

Avec :

C1 : Coût du prétraitement

C2 : Coût des réservoirs

C3 : Coût de la tuyauterie

C4 : Coût de l'équipement principal

C5 : Coût imprévu

❖ **Coût d'investissement du prétraitement :**

Le coût d'investissement du prétraitement est représenté dans le tableau VI-1 :

Tableau VI-1 : Coût d'investissement du prétraitement.

Equipement	Quantité	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA))
Filtre à sable	12	2352655	28231860
Filtre à cartouches	15	1251980.55	18779708.25
Total			47011568.25

❖ **Coût d'investissement du réservoir :**

La station contient un groupe de réservoirs dont le coût est représenté dans le tableau VI-2 :

Tableau VI-2 : Coût d'investissement du réservoir.

Equipement	Quantité m ³	Prix total (DA))
Réservoir brut	18000	252000000
Réservoir traité	16000	224000000
Réservoir rejet	5000	100000000
Réservoir anti-scalent	2	60000
Réservoir Hypochlorite de sodium	2×12	500000
Total		576560000

Le tableau VI-3 donne le montant de la mise en place de cette partie de la station

Tableau VI-3 : Montant de l'ensemble de la tuyauterie et des accessoires.

Service	Matériel	Quantité	Prix unitaire (Da)	Prix total (Da)
Du réservoir d'eau brute vers le système d'osmose	FRP	115 ml	2882.92	331535.8
Manomètre		45U	43243.81	4324381
Débitmètre		25U	28829.21	2882921
Total				7538838

❖ **Coût de l'équipement principal et auxiliaire :**

Ce coût regroupe le prix des membranes d'osmose inverse et le prix du système de pompage.

❖ **Coût d'investissement du système d'osmose :**

Tableau VI-4 : Coût d'investissement des systèmes d'osmoseur.

Total	Quantité	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA))
Tubes des pression	378	880000	332640000
Membranes	2268	350000	793800000
Total			1126440000

Le tableau VI-5 résume le nombre et le type des pompes ainsi que leur coût :

Tableau VI-5 : Coût d'investissement de systèmes pompage.

Type de pompe	Quantité	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA))
Pompe centrifuge	8	981663	7853304
Pompe d'évacuation	2	500000	1000000
Pompe haute pression	4	2070000	8280000
Pompe doseuse	6	180000	1080000
Total			18213304

Donc la valeur de l'équipement principal et auxiliaire est de :

$$C \text{ équipement} = C \text{ membranes} + C \text{ sys pompage}$$

$$C \text{ équipement d'osmoseur} = 1144653304 \text{ DA}$$

En additionnant les quatre montants calculés, nous obtenons le coût total de l'investissement.

$$C_{inv} = C \text{ prétraitement} + C \text{ réservoirs} + C \text{ tuyauterie} + C \text{ équipement}$$

$$C_{inv} = 1775763702 \text{ DA}$$

❖ **Coût imprévu**

Le coût imprévu est de 10% du prix d'investissement :

$$C_{impr} = 0.1 \times C_{inv}$$

$$C_{impr} = 177576370.2 \text{ DA}$$

Donc le coût total de l'investissement de notre station est :

$$C_{inv} = C \text{ prétraitement} + C \text{ réservoirs} + C \text{ tuyauterie} + C \text{ équipement} + C_{imprévu}$$

$$C_{inv} = 1953340072 \text{ DA}$$

VI.2.2 Coût d'Exploitation :

Le cout d'exploitation comprend le cout de consommation d'énergie, le cout du personnel et d'entretien, le cout de la consommation des produits chimiques, ainsi que le cout de changement des membranes.

❖ Coût de Consommation d'Energie:

Le cout de consommation d'énergie calculé par la relation suivante :

$$C_{en} = Q_{pt} \times 365 \times d \times fu \times \frac{P_{fon}}{P_e \times M_e \times Y_t} \times Te \left(\frac{1}{Y_t} - 1 \right) \times \frac{P_{en}}{3600}$$

Avec :

Cen: Coût de consommation d'énergie.

Qpt: Débit de production en **m³/j**.

d: Densité d'alimentation du système.

Fu: Coefficient d'utilisation du centre de dessalement en **%**.

Pfon: Pression de fonctionnement en **Kpas**.

Pe: Rendement de fonctionnement des pompes en **%**.

Me: Rendement de fonctionnement des moteurs **%**.

Yt: Coefficient d'écoulement en **%**.

Te : Rendement de générateur en **%**.

Pen: Coût unitaire d'énergie en **DA/KWh**.

On prend :

$$P_{en} = 7.74 \text{ DA/KWh}$$

$$P_{fon} = 9750 \text{ Kpas.}$$

$$P_e = 0,8$$

$$M_e = 0,8$$

$$Te = 0,8$$

$$Yt = 60\%$$

$$d = 0.8$$

$$fu = 0.8$$

$$Cen = 442103038 \text{ DA/an}$$

❖ **Charge du personnel :**

C'est le total des salaires de tout le personnel pendant une année entière.

Tableau VI-6 : Montant de l'ensemble des salaires annuels.

Fonction	Nombre	Durée (mois)	Salaire par personne par mois (DA)	Salaire total (DA)
Ingénieur	3	12	130000	1560000
Opérateur	6	12	100000	1200000
Laborantins	2	12	110000	1320000
Agent de sécurité	4	12	60000	720000
Ouvrier	4	12	65000	780000
Total				5580000

❖ **Coût d'Entretien**

Le cout d'entretien annuel de l'ensemble de la station revient à 5% du prix d'investissement :

$$Cent = 0.05 \times Cinv$$

$$Cent = 97667003.6 \text{ DA}$$

❖ **Coût de Consommation des produits chimique**

Tableau VI-7 : Coût de la consommation des produits chimiques.

Produit chimique	La consommation (Kg)	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA))
Anti-scalant	70080	1730	121238400
Hypochlorite de sodium	102229.2	145	14823234
Total			136061634

❖ **Coût de Changement des Membranes :**

La durée de vie de la membrane est de cinq ans environ pour notre cas, et le prix unitaire est de 350000 DA/module.

$$C_{cm} = \frac{Pu \times N}{N_{années}}$$

$$C_{cm} = 158760000 \text{ DA/ans}$$

Donc le coût total d'exploitation donne comme suit :

$$C_{exp} = C_{energie} + C_{charge} + C_{entretien} + C_c + C_{cm}$$

$$C_{exp} = 840171675.6 \text{ DA}$$

VI.2.3 Coût Global de la station

$$CT = C_{investissement} + C_{exploitation}$$

$$CT = 2793511748 \text{ DA}$$

❖ **Montant total avec la TVA :**

Taux de la TVA = 19%

$$\text{Montant de la TVA} = 0.19 \times CT = 530\,767\,232 \text{ DA}$$

$$\text{Montant de la TTC} = CT + \text{TVA} = 3\,324\,278\,980 \text{ DA}$$

Donc le montant total de la station avec la TVA est : 3 324 278 980 soit Trois milliards trois cent vingt-quatre millions deux cent soixante-dix-huit mille neuf cent quatre-vingts dinar Algérien

VI.2.4 Prix unitaire du mètre Cube d'eau traité

$$Pr = \frac{TTC}{Q_{PT} \times N}$$

Avec :

Pr : Prix unitaire d'un mètre cube d'eau traité.

Q_{PT} : Débit journalier produit en m³/j.

TTC : Coût global de la station de dessalement toutes taxes comprises.

N : Nombre des jours d'année (365 jours).

Donc :

$$\mathbf{Pr = 140.12 \text{ DA/m}^3}$$

Donc le prix unitaire du mètre Cube d'eau traité est 140.12 DA soit Cent quarante virgule douze dinar Algérien

Conclusion :

Notre étude révèle que le coût de production d'un mètre cube d'eau déminéralisée par notre installation s'élève à **140.12 DA/m³**. Ce tarif s'avère compétitif comparé au prix de l'eau potable conventionnelle. Cette performance économique s'explique principalement par la faible consommation énergétique du procédé d'osmose inverse. Ce résultat conforte notre choix technologique, validant l'efficacité de cette méthode de déminéralisation.

Par ailleurs, nous avons établi une estimation globale des coûts de réalisation et d'exploitation de l'installation. Le montant total s'élève approximativement à **3 324 278 980 DA** avec taxes comprises.

CONCLUSION GENERALE

La ville des Tindouf est située du Sud-Ouest de l'Algérie, elle compte une population à long terme d'environ 593550 habitants en la 2050 cette explosion démographique est due essentiellement à la transformation de la région à une zone industrielle très importante. La région est caractérisée par un climat saharien aride avec un été très chaud et un hiver relativement froid.

L'analyse litho stratigraphique révèle que le système hydrogéologique de la région est gravement déficitaire en eau, étant tributaire d'un seul aquifère, celui de Hassi Abdellah. C'est pour cette raison que le projet de transfert d'eau sud-sud, depuis la nappe du Continental intercalaire de la wilaya d'Adrar.

La qualité d'eau de la nappe albien dans la wilaya d'Adrar présente une salinité de 3423 mg/l dépassant les normes de potabilité Algérienne. En raison de ces caractéristiques, l'utilisation de ces eaux pour l'alimentation en eau potable sans traitement préalable est déconseillée, par conséquent, il est nécessaire de procéder à une amélioration de sa qualité par une déminéralisation ; nous avons choisis le procédé d'osmose inverse, justifié par choix est fait déminéralisation utilisant des procédés avant de distribuer cette eau aux consommateurs.

C'est pourquoi nous avons dimensionné l'extension de la station de déminéralisation d'eau saumâtre de Tindouf à une capacité de 65 000 m³/j, afin de combler le déficit hydrique dont souffre la ville et d'améliorer la qualité de l'eau potable. Cela a été réalisé après une présentation de la région, visant à identifier les sources d'eau non conventionnelles disponibles et à déterminer les besoins en eau des consommateurs, ainsi qu'à étudier le fonctionnement de la station existante pour identifier et résoudre les problèmes pouvant diminuer sa capacité de production.

La chaîne de prétraitement qu'on a adopté pour notre cas se compose en principe de filtres à sables et de filtres à cartouches, sans oublier de mentionner le prétraitement chimique.

A l'issue de cette étude, nous avons pu constater l'efficacité de la technique de l'osmose inverse dans la déminéralisation des eaux saumâtres, d'où les valeurs faibles en salinité, et une minéralisation inférieure qui correspondent aux normes de ministère algérien des ressources en eaux à la sortie de station.

Quelques recommandations que nous les considérons nécessaire afin de compléter notre étude et régler le problème d'eau à Tindouf :

- Procéder à une l'étude et la réalisation du projet de transfert d'eau vers Tindouf.
- Compléter notre étude par une étude très détailler et précise sur la qualité d'eau une fois les point d'eau seront bien déterminées.

En somme, ce projet d'extension de la station de déminéralisation par osmose inverse à Tindouf représente une solution prometteuse pour faire face aux défis hydriques de la région. Il allie innovation technologique et gestion durable des ressources, ouvrant ainsi la voie à une meilleure qualité de vie pour la population locale et au développement futur de cette zone industrielle en pleine expansion.

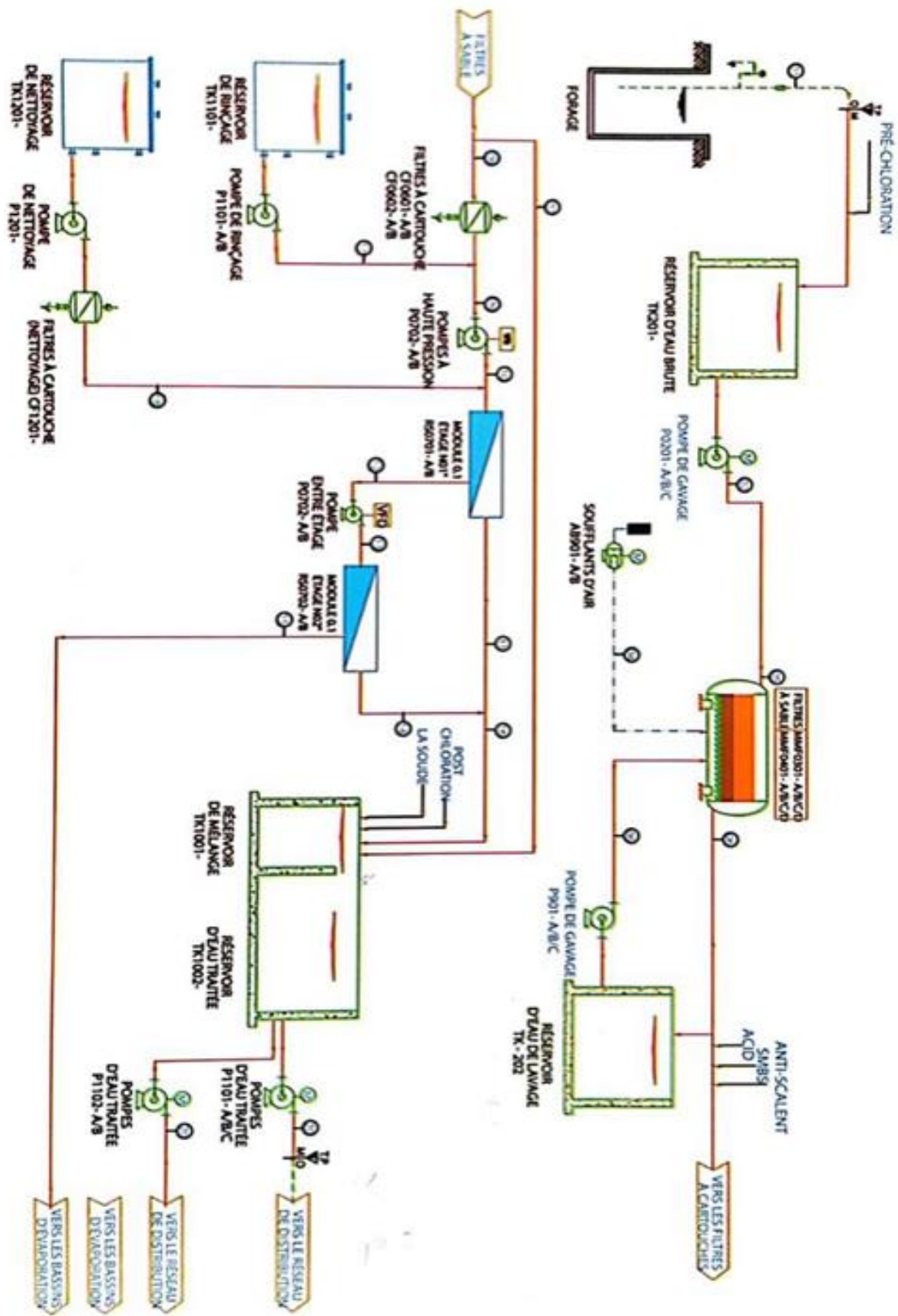
Références bibliographiques

1. ALIAN, A. L. (2020, December 15). Remineralization of desalinated water: Methods and environmental impact.
2. ANIREF. (2018). Monographie de la wilaya de TINDOUF.
3. AWWA, A. W. (2011). REVERSE OSMOSIS AND NANOFILTRATION. Manual of Water Supply Practices.
4. BAKER, R. W. (2012). Membrane Technology and Applications . John Wiley & Sons.
5. Bank, W. (2019). The Role of Desalination in an Increasingly Water-Scarce World. Washington.
6. BERSI, M. (2016). Cartographie et mode de mise en place des dykes et des sills de la province magmatique de l'Atlantique central (CAMP) dans le bassin de Tindouf. THESE de DOCTORAT, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène, 12-13.
7. Carte de Tindouf. (2023, mars 24). Récupéré sur Gifex.com: <https://gifex.com/fr/fichier/carte-de-tindouf/>
8. Climate Change Knowledge Portal. (2024, juillet 7). Récupéré sur <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/algeria/climate-data-historical>
9. DANIS, P. (2003, juin 10). Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur, p. 15.
10. DARDOUR, S. (2007). Contribution à l'optimisation du couplage des réacteurs nucléaires aux procédés de dessalement. Thèse de Doctorat UNIVERSITE PAUL CEZANNE – AIX MARSEILLE III, 13.
11. EATON. (2006). Corps de filtres à cartouches. Allemagne: Eaton.
12. HADJALI, Y. (2012). Yassine Impact des stations de dessalement de l'Eau de mer sur le littoral cas de la Station de la Plage EL Hilel (AIN Témouchent). Mémoire de Master ,Université de Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 22-23.
13. Journal officiel. (2014). Journal officiel de la république algérienne, 15-17.

14. JUERY, J.-M. B. (2002, Décembre). Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau. FONDS NATIONAL POUR LE DEVELOPPEMENT DES ADDUCTIONS D'EAU, 19.
15. l'OMS, R. s. (1981). La technologie appropriée de déminéralisation de l'eau potable. Bureau régionale de l'Europe Copenhague.
16. LAHNIK, O. F. (2019). Essais de nouveaux matériaux pour le dessalement d'eau saumâtre : cas de pouzzolane (basalte d'Ourika). Memoire de master, Licence Sciences et Techniques, MARRAKECHE, 3.
17. LOURGUIOUI, M. (2019). Etude pétrographique et sédimentologique du Viséen supérieur-Serpukhovien du flanc Nord du bassin de Tindouf (Sahara Algérien). Mémoire de MASTER, Université Mouloud Mammeri, 11.
18. MEDIANI, I. R. (2020). Evaluation de la qualité des eaux des puits à usage agricole dans la région d'adjar. Université Ahmed Draïa Adrar, Mémoire de Master.
19. MOUDJEB, M. (2015). ETUDE DE LA STATION DE DESSALEMENT. MEMOIRE DE MAGISTER , Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf ,Oran.
20. MOUMEN, A. (2015). Etude et dimensionnement des unités d'osmose inverse. ECOLE MOHAMMADIA D'INGNIEURS, Mémoire de Projet de Fin d'Etudes.
21. MULDER, M. (1996). Basic Principles of Membrane Technology. Kluwer Academic.
22. OMAR, B. (2016). Etude hydrogéologique et hydrochimique de foggara dans la région Touat (Adrar).
23. RENAUDIN, V. (2003, November 18). saumâtres, Le dessalement de l'eau de mer et des eaux. Culture Sciences Chimie.
24. SETTOU, D. (2013). étude hydrogéologique et hydro chimique de LA nappe du continentale intercalaire dans la région du Touat wilaya Adrar. thèse maste.
25. SMITH, J. (2023). Advanced software tools for desalination system design: IMS-DESIGN. Journal of Water Process Engineering.
26. STRATHMANN, H. (2001). Membrane separation processes: Current relevance and future opportunities. AIChE Journal, pp. 1077-1087.

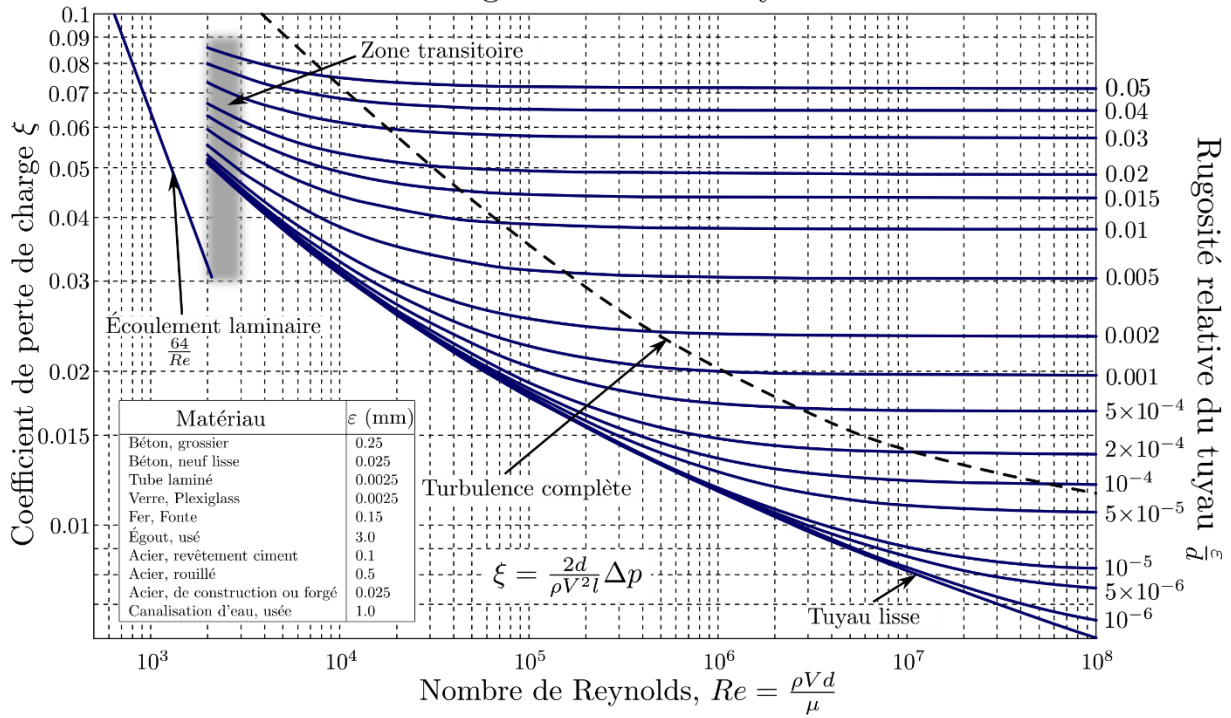
27. TATA-DUCRU, F. (2009, Janvier). Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes. Agence Française de Développement, pp. 6-8.
28. UNESCO. (2020). The United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change.
29. UNESCO. (2020). The United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change. World Water Assessment Programme.
30. UNESCO. (1972). Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional.
31. WITTMANN, E. (2016, Juin 9). Dessalement d'eau de mer par osmose inverse. Veolia, Département Technique & Performance. Saint-Martin.
32. YOUTCHKOV, N. (2013). DESALINATION ENGINEERING PLANNING AND DESIGN.

Annexes

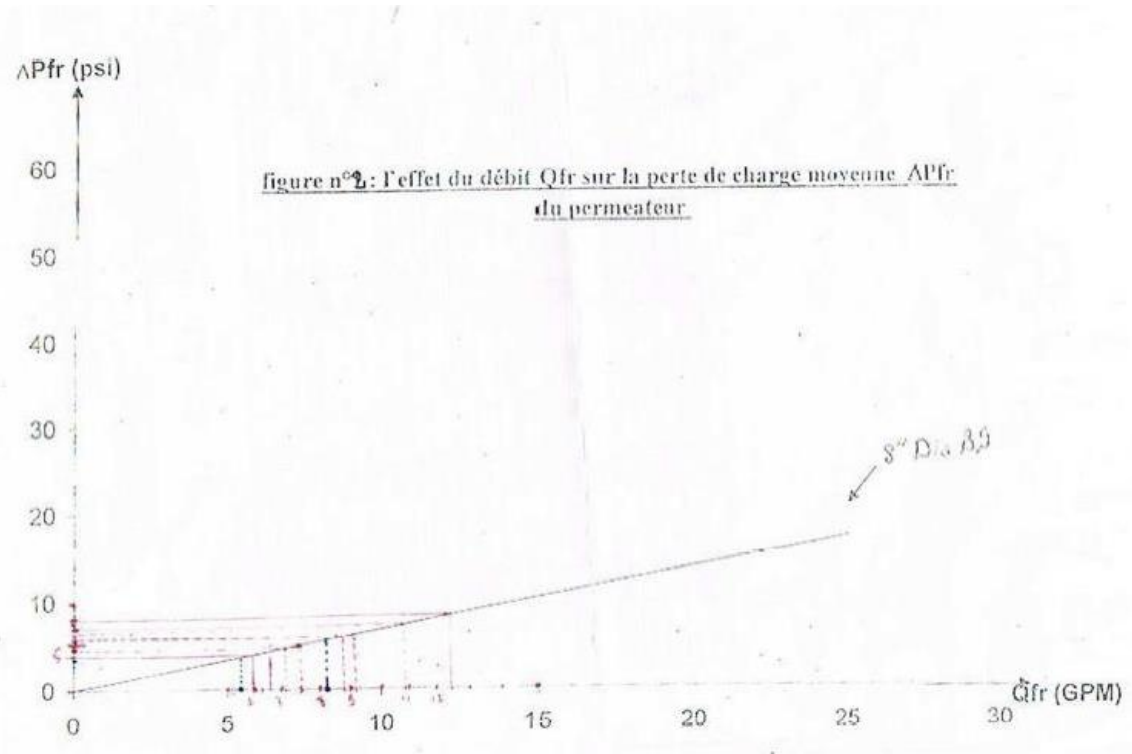


Annexe 01 : Schéma du processus de déminéralisation.

Diagramme de Moody



Annexe 02 : Diagramme de Moody



Annexe 03 : L'effet du débit Q_{fr} sur la perte de charge moyenne ΔP_{fr}

Annexe 04 : Facture de correction du flux de rétention de la membrane en fonction de la Pression, de la température et du temps

Pression de fonctionnement en (psi)	Température (C°)	Capacité	Durée de vie de la membrane (1ans)	Durée de vie de la membrane (3ans)
400	5	0.55	0.914	0.9
	10	0.64	0.907	0.89
	15	0.74	0.891	0.872
	20	0.86	0.868	0.845
	25	1	0.828	0.8
	30	1.16	0.767	0.73
	35	1.34	0.675	0.629
300	5	0.4	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	0.91	0.894
	30	0.5	0.871	0.848
	35	0.58	0.807	0.776