

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMÉRI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION

Département d'Hydraulique

Filière : Hydraulique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour Obtenir le Diplôme de **Master**

Spécialité : Ouvrages Hydrauliques

Thème

***Dimensionnement de la station de déminéralisation des eaux
Saumâtres de la nappe Albienne de la région de Djamaa de la
Willaya d'El Oued***

Réalisé par :

Mr ABDELKADER Said

Mr TOUKAL YANI

Encadré Par :

Mr KHATTAOUI Mohammed

Mme ALLACHE Lydia

Soutenu le 04/07/2024

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, je remercie sincèrement mon promoteur, Mr. KHATTAOUI Mohammed, pour son accompagnement et ses retours constructifs qui ont grandement enrichi ma réflexion durant ce projet ; on tient à exprimer notre reconnaissance cette fois au chef de département, que vous êtes pour votre acharnement et votre engagement constant. Toujours à l'écoute et au service de ses étudiants, sans oublier votre soutien indéfectible tout au long de notre parcours académique.

Je souhaite également remercier notre co-promotrice, Mme ALLACHE Lydia , sans qui ce travail n'aurait pas vu le jour pour. Pour son encadrement, ses précieux conseils et son soutien tout au long de ce projet. Sa disponibilité et son expertise ont été essentielles à l'aboutissement de ce travail.

On tient à exprimer notre sincère gratitude envers les professeurs et l'ensemble du département Hydraulique pour leur soutien inestimable tout au long de mon parcours académique. Leur expertise, leur dévouement et leur passion pour l'enseignement ont été des piliers essentiels de notre formation.

On est particulièrement reconnaissants envers AMENHYD Spa qui nous ont offert l'opportunité de réaliser ce mémoire au sein de leur organisation. Leur collaboration et leur confiance ont été déterminantes pour mener à bien cette étude.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, nous ont apporté leur aide et leur soutien durant la rédaction de ce mémoire.

Je dédie ce mémoire :

À mes parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour me permettre d'atteindre mes objectifs. Vous êtes ma force et ma source intarissable d'inspiration

À mon petit frère Hanine pour sa présence, sa complicité et son soutien moral tout au long de ce parcours. Tu es une source constante de joie et de motivation.

À mes grands-parents paternels, pour leur sagesse, leur affection et leurs encouragements. Votre fierté est ma plus belle récompense.

À la mémoire de mes grands-parents maternels que je n'ai jamais connus. Bien que je n'aie pas eu la chance de vous rencontrer, votre héritage et votre histoire font partie intégrante de ce que je suis devenu.

À mes oncles, à mes tantes, à mes cousins et à mes cousines, tant du côté maternel que paternel, pour leur bienveillance et leur soutien. Votre présence dans ma vie est un véritable trésor.

À mes amis, pour leur sincère amitié, leur écoute et les moments de détente si précieux. Votre soutien a rendu mon parcours plus agréable.

À mon binôme, pour sa précieuse collaboration, son soutien constant dans les moments difficiles tout au long de ce projet. Notre travail d'équipe a été essentiel à la réussite de ce mémoire.

À la mémoire de mes amis et proches partis trop tôt vers un monde meilleur. Vos souvenirs resteront à jamais gravés dans mon cœur et guideront mes pas.

À tous ceux qui ont cru en moi et m'ont encouragé tout au long de mes études.

Yani

Dédicace

A toi chère maman Fazia ;

Tu m'as donné la vie, la tendresse, et le courage pour réussir. Tout ce que je peux t'offrir ne pourras exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices et l'amour que vous me portez depuis mon enfance. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés le fruit de vos innombrables sacrifices, puisse dieu, le très haut, vous accorder la santé, le bonheur et une très longue vie.

A mes chère Frère et sœur Thanina ; Rayane et Rafik ;

Vous êtes ma source de joie et de bonheur, je vous remercie pour le soutien moral et l'encouragement que vous m'avez accordé. Je vous souhaite tout le bonheur que vous méritez

A mon chère binôme Yani ;

Merci d'avoir partagé ma joie et ma peine durant ces quatre longues années.

A ma chère section ;

Je tiens aussi à remercier mes chères camarades avec qui j'ai passé de bon moment émotionnel et qui mon aider dans ma carrière alors merci à vous Lydia, Sabrina, Sabrina, Nacerdine, Lounes.

A mes Professeurs ;

Je tiens a remercié tous mes professeur avec qui on a appris plains de chose et le plus essentielle ce qui on fait aimer cette spécialité.

Saïd

تتناول هذه الأطروحة مشكلة مياه الشرب في مدينة جامع بالصحراء السفلى الجزائرية. وفي مواجهة المناخ الجاف وعدم كفاية نوعية مياه الشرب الجوفية، تقترح الدراسة حلاً لإزالة المعادن من المياه قليلة الملوحة عن طريق التناضح العكسي.

إن تحليل السياق الجغرافي والخصائص الفيزيائية والكيميائية لطبقات المياه الجوفية في ألبين يبرر الحاجة إلى المعالجة. يتم اختيار التناضح العكسي لكفاءته وفعالته من حيث التكلفة وقدرته على التكيف مع الظروف المحلية.

يتم تفصيل حجم محطة المعالجة مع الأخذ بعين الاعتبار احتياجات المنطقة وخصوصيات الحفر الحالي. وتناقش مزايا وقيود هذه التقنية.

وتظهر النتائج فعالية التناضح العكسي في إنتاج المياه المطابقة لمعايير منظمة الصحة العالمية. ويبدو أن هذا الحل نموذج محتمل للمناطق الصحراوية الأخرى التي تواجه تحديات مماثلة.

Résumé

Ce mémoire examine la problématique de l'eau potable à Djamaa, dans le Bas Sahara algérien. Face au climat aride et à la qualité insuffisante des eaux potables souterraines, l'étude propose une solution de déminéralisation des eaux saumâtres par osmose inverse.

L'analyse du contexte géographique et des caractéristiques physico-chimiques des nappes albiennes justifie le besoin de traitement. L'osmose inverse est choisie pour son efficacité, sa rentabilité et son adaptabilité aux conditions locales.

Le dimensionnement d'une station de traitement est détaillé, prenant en compte les besoins de la région et les spécificités du forage existant. Les avantages et limites de la technique sont discutés.

Les résultats démontrent l'efficacité de l'osmose inverse pour produire une eau conforme aux normes de l'OMS. Cette solution apparaît comme un modèle potentiel pour d'autres régions sahariennes confrontées à des défis similaires.

Abstract

This dissertation examines the problem of drinking water in Djamaa, in the Algerian Lower Sahara. Faced with the arid climate and the insufficient quality of groundwater, the study proposes a solution for demineralization of brackish water by reverse osmosis.

The analysis of the geographical context and the physicochemical characteristics of the Albianaquifers justifies the need for treatment. Reverse osmosis is chosen for its efficiency, cost-effectiveness and adaptability to local conditions.

The sizing of a treatment station is detailed, taking into account the needs of the region and the specificities of the existing fodder. The advantages and limitations of the technique are discussed.

The results demonstrate the effectiveness of reverse osmosis in producing water that meets WHO standards. This solution appears to be a potential model for other Saharan regions facing similar challenges.

TABLE DES MATIERES

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale

Chapitre I : Présentation de la région d'étude

I.1. Introduction	1
I.2. Présentation de la région d'étude.....	1
I.3. Etude paramétré Climatique	4
I.3.1. Temperature	4
I.3.2. Precipitation	5
I.3.3. Humidité	6
I.3.4. Le vent	8
I.3.5. L'évaporation	9
I.4. Conclusion	10

Chapitre II : estimation des besoins

II.1. Introduction	11
II.2. Etude démographique	11
II.3. Estimation des besoins.....	12
II.3.1. Besoins domestique.....	12
II.3.2. Besoin d'équipements	14
II.3.3. Besoins industriels et agricoles	17
II.4. Besoin totale	18
II.5. Conclusion	18

Chapitre III : Etude de forage

III.1. Introduction	19
III.2. Contexte hydrogéologique générale	19
III.3. Présentation des nappes aquifères de la région d'EL OUED	20
III.3.1. Nappe Phréatique	21
III.3.2. Nappe du complexe terminal (CT).....	21

III.3.3. Nappe du continentale intercalaire (CI)	22
III.4. Technique de forage	23
III.4.1. Forage rotary.....	23
III.4.2. Fonctionnement appareille forage rotary.....	25
III.5. Equipement du forage.....	26
III.6. Données générales sur la nappe du continental intercalaire <<Albien>>	30
III.7. Conclusion.....	32
Chapitre IV : Qualité des eaux	
IV.1. Introduction	33
IV.2. Qualité des eaux potables	33
IV.2.1. L'indice de qualité des eaux souterraines (GWQI).....	33
IV.2.2. Méthode de calcul d'indice GWQI.....	33
IV.3. Paramètre des eaux naturelles.....	34
IV.3.1. Qualités chimiques de l'eau.....	35
IV.3.2. Qualités physico-chimiques de l'eau :.....	37
IV.4. Analyse physico-chimique de l'eau de forage.....	39
IV.5. Interprétation des résultats :.....	41
IV.6. Conclusion.....	41
Chapitre V : Les différentes technique de déminéralisation des eaux	
V.1. Introduction	42
V.2. Définition de la déminéralisation	42
V.3. Les différentes techniques et procédés de déminéralisation.....	43
V.3.1. Procédés de déminéralisation par changement de phase.....	43
V.3.1.1. La distillation	43
V.3.1.2. La congélation.....	46
V.3.2. Procédés de déminéralisation à membranes.....	46
V.3.2.1. L'osmose inverse	46
V.3.2.2. L'électrodialyse.....	47
V.3.3. Procédés de déminéralisation agissant sur les liassions	48
V.3.3.1. Extraction par solvant selectif.....	49
V.3.3.2. L'échange d'ions.....	49
V.4. Comparaison entre les différentes techniques de déminéralisation.....	50
V.5. Les stations de déminéralisation en Algérie	51
V.6. Les stations de déminéralisation de la wilaya d'El oued.....	52

V.7. Choix de la technique la plus convenable	52
V.7.1. Choix technique.....	53
V.7.2. Choix économique.....	54
V.8. Conclusion	54

Chapitre VI : Procédés de déminéralisation par Osmose Inverse

VI.1. Présentation de la station	55
VI.2 Prétraitement	57
VI.2.1 Prétraitement chimique	58
VI.2.1.1 Dimensionnement la conduite (forage)	58
VI.2.1.2 Injection de produit chimique (Anti-scalant et Chlorure ferrique) avant tour de refroidissement	59
VI.2.2 Tours de refroidissement	62
VI.2.2.1 Fonctionnement de ces tours	63
VI.2.3 Réservoir d'eau brute	64
VI.3 Traitement par Osmose Inverse	66
VI.3.1 Filtre bicouche	66
VI.3.1.1 Média filtrant	67
VI.3.1.2 Dimensionnement filtre bicouche	68
VI.3.2. Dimensionnement pompe d'alimentation filtre à sable	68
VI.3.2.1 Choix nombre de pompe	68
VI.3.2.2 Calcul perte de charge singulière d'un filtre à sable	68
VI.3.2.3 Calcul perte de charge de la conduite des filtres à sable	70
VI.3.2.4 Conduite d'aspiration de filtre à sable.....	71
VI.3.2.5 Conduite de refoulement du filtre à sable	72
VI.3.2.6 Conduite de refoulement (élargissement) du filtre à sable.....	73
VI.3.2.7 Conduite de refoulement par filtre à sable	74
VI.3.2.8 Choix des pompes	75
VI.3.3 Rétro lavage.....	78
VI.3.3.1 Calcul débit de lavage	78
VI.3.3.2 Dimensionnement pompe rétro lavage.....	78
VI.3.3.2.a Choix de pompe.....	78
VI.3.3.2.b Calcule perte de charge conduite d'aspiration	80
VI.3.3.3 Conduite de refoulement du rétro-lavage.....	81
VI.3.3.4 conduites de refoulement (élargissement) du rétro-lavage.....	81
VI.3.3.5 Perte de charge totale	82

VI.3.3.6 Choix des pompes	82
VI.3.3.7 Suppresseur d'air	84
VI.3.4. Réservoir Prétraité	85
VI.3.4.1. Dimensionnement du Réservoir	85
VI.3.4.2. Injection produit chimique (Anti-scalant, Bisulfite et Hypochlorite) avant filtre a cartouche	86
VI.3.5. Filtres à cartouche	89
VI.3.6. Dimensionnement pompe filtres à cartouche (basse pression)	90
VI.3.6.1. Perte de charge Conduite d'aspiration du filtre à cartouche	90
VI.3.6.2. Conduite de refoulement du filtre à cartouche	91
VI.3.6.3. Conduite de refoulement (élargissement) du filtre à cartouche	92
VI.3.6.4. Conduite refoulement pour un filtre à cartouche.....	93
VI.3.6.5. Perte de charge totale	94
VI.3.6.6. Choix des pompes	94
VI.3.7. Dimensionnement osmose inverse	94
VI.3.7.1. Choix des membranes	97
VI.3.8. Station de pompage (Haute Pression)	104
VI.3.8.1. Dimensionnement pompe haute pression.....	104
VI.3.8.1.a Conduite d'aspiration au niveau de la pompe haute pression	104
VI.3.8.1.b Conduite de refoulement	105
VI.3.8.1.c Perte de charge totale.....	106
VI.3.8.2.d Choix des pompes	106
VI.4. Dimensionnement CIP	109
VI.4.1. Dimensionnement pompe de CIP	109
VI.4.1.1. Conduite d'aspiration pompe CIP	109
VI.4.1.2. Conduite de refoulement	111
VI.4.1.3. Perte de charge totale.....	111
VI.5 Réservoir de rejet.....	112
VI.5.1. Dimensionnement réservoir de rejet.....	112
VI.6. Dimensionnement réservoir d'eau traité	112
VI.7. Les analyses d'eau traité	113

VI.8. Conclusion.....	114
-----------------------	-----

Chapitre VII : devis estimatif de la station de Déminéralisation

VII.1 Introduction.....	115
VII.2 L'investissement.....	116
VII.2.1 Coût de la construction de l'unité.....	116
VII.2.2 Cout de l'équipement principal et auxiliaire.....	118
VII.3 Coût d'Exploitation.....	119
VII.3.1 Coût de Consommation d'Energie.....	119
VII.3.2 Charge du personnel.....	120
VII.3.3 Coût d'Entretien.....	120
VII.3.4 Coût de Consommation des produits chimique.....	120
VII.3.5 Coût de Changement des Membranes.....	121
VII.4 Coût Global de la station.....	121
VII.5 Montant total avec la TVA.....	121
VII.6 Prix Unitaire du Mètre Cube d'Eau Traité.....	121
VII.7 Conclusion.....	122

Conclusion générale

Références bibliographiques

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Présentation de la région d'étude

Tableau I.1 : Moyenne mensuelles de la température de la région de Djamaa, 2019.	4
Tableau I.2 : Répartition des précipitations moyennes mensuelles de la région de Djamaa, 2019.	5
Tableau I.3 : Répartition annuelle de l'humidité la région de Djamaa, 2019.	7
Tableau I.4 : Répartition moyenne mensuelle de la vitesse du vent a djamaa 2019.	8
Tableau I.5 : Répartition de l'évaporation de la région de Djamaa 2019.	9

Chapitre II : Estimation des besoins

Tableau II.1 : Evolution de la population en différentes horizons.	11
Tableau II.2 : Les coefficients β max.	13
Tableau II.3 : Calcul de Kh.	13
Tableau II.4 : Les besoins domestique pour les différents horizons.	13
Tableau II.5 : Les infrastructures scolaire, sanitaire, social, culturel, sportif et loisirs. (DHW, 2008).	14
Tableau II.6 : Les infrastructures scolaire, sanitaire, social, culturel, sportif et loisirs (DHW,2008).	15
Tableau II.7 : Les infrastructures scolaire, sanitaire, social, culturel, sportif et loisirs (DHW,2008).	16
Tableau II.8 : Consommation journalière en eau potable selon l'équipement.	17
Tableau II.9 : Besoins industriels pour une consommation journalière en eau potable selon de 30 m ³ /j/hect (dotation hydrique) (DHW. 2008).	17
Tableau II.10 : Les besoins d'industrie pour les différents horizons.	17
Tableau II.11 : Débit max pour les différents horizons.	18

Chapitre III : Etude de forage

Tableau II.1 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO, 1972) (ANRH).	20
Tableau III.1 : Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued. (D'après DHW, 2005). (ADE).	21
Tableau III.2 : les caractéristiques de forage.	30
Tableau III.3 : les caractéristiques de la nappe (ADE,2016).	31
Tableau III.4 : Caractéristique de l'exploitation (ADE,2016).	31
Tableau III.5 : Caractéristique de refroidisseur (ADE,2016).	31

Chapitre IV : Qualité des eaux

Tableau IV.1 : qualité des eaux souterraines selon GWQI.	34
Tableau IV.2 : Classification des eaux selon la conductivité électrique (Rodier, 2005).	38
Tableau IV.3 : Classification des eaux selon la dureté totale (Berne et al. 1991).	38
Suite de tableau classification des eaux selon la dureté totale (Berne et al. 1991).	39

Tableau IV.4 : Effet de l'excès des différents paramètres sur la santé des humains.....	39
Tableau IV.5 : Analyse eau brute interprété en code de couleur.....	40

Chapitre V : Les différentes techniques de déminéralisation des eaux

Tableau V.1 : Caractéristiques des techniques de dessalement s'appuyant sur la distillation.....	45
Tableau V.2 : Récapitulatif générale sur les déférentes technique de déminéralisation.....	50
Tableau V.3 : Caractéristiques des stations de déminéralisation des eaux à Ouargla (Algérienne des Eaux,2019).....	52
Tableau V.4 : Les différentes techniques de déminéralisation en termes de performances techniques.....	53
Tableau V.5 : Les différentes techniques de déminéralisation en termes d'implications économiques.....	54

Chapitre VI : Procédés de déminéralisation par Osmose Inverse

Tableau VI.1 : Injection produit chimique Anti-scalant.....	60
Tableau VI.2 : Fiche technique pompe doseuse d'anti-scalant.....	60
Tableau VI.3 : Injection produit chimique Chlorure ferrique.....	61
Tableau VI.4 : Fiche technique pompe doseuse chlorure ferrique.....	62
Tableau VI.5 : Caractéristique de tours de tours de refroidissement.....	63
Tableau VI.6 : Caractéristiques composantes de média filtrant.....	67
Tableau VI.7 : Caractéristique filtre bicouche.....	68
Tableau VI.8 : Perte de charge singulière des filtres à sable par rapport à la porosité.....	69
Tableau VI.9 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite d'aspiration d'alimentation des filtres.....	71
Tableau VI.10 . Calcul perte de charge totale de la conduite (conduite d'aspiration d'alimentation des filtres).....	72
Tableau VI.11 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite de refoulement d'alimentation des filtres).....	72
Tableau VI.12 : Calcule perte de charge totale de la conduite (conduite de refoulement d'alimentation des filtres).....	73
Tableau VI.13 : Choix de diamètre par rapport a la vitesse (conduite de refoulement (élargissement) des filtres).....	73
Tableau VI.14 : Calcul perte de charge total de la conduite (conduite de refoulement élargissement des filtres).....	74
Tableau VI.15 : Choix de diamètre intérieur de la conduite par rapport a la vitesse (conduite de refoulement d'alimentation par filtre).....	74
Tableau VI.16 : Calcul perte de charge totale de la conduite (conduite de refoulement d'alimentation par filtre).....	75
Tableau VI.17 : Récapitulatif filtre à sable.....	75
Tableau VI.18 : Descriptions de la pompe.....	76
Tableau VI.19 : Données techniques et caractéristique.....	77
Tableau VI.20 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport a la vitesse (conduite d'aspiration en retro lavage).....	79
Tableau VI.21 : Calcul perte de charge totale de la conduite (conduite d'aspiration en retro	

lavage).....	79
Tableau VI.21 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport a la vitesse (conduite de refoulement en retro lavage).....	80
Tableau VI.22 : Calcul perte de charge totale de la conduite (conduite de refoulement en retro-lavage)	80
Tableau VI.23 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport a la vitesse (conduite de refoulement (élargissement) de pompe retro-lavage.	81
Tableau VI.24 : Calcul perte de charge totale de la conduite (conduite de refoulement (élargissement) en retro-lavage	81
Tableau VI.25 : Récapitulatif Retro-Lavage (Eau).....	82
Tableau VI.26 : Descriptions de la pompe	83
Tableau VI.27 : Données techniques et caractéristique.....	83
Tableau VI.28 : Caractéristique des conduite de suppresseur d'air.....	85
Tableau VI.29 : Caractéristique suppresseur d'air.	85
Tableau VI.30 : Injection produit chimique anti-scalant.	86
Tableau VI.31 : Fiche technique pompe doseuse d'anti-scalant.	87
Tableau VI.32 : injection produit chimique bisulfite.....	87
Tableau VI.33 : Fiche technique pompe doseuse de bisulfite.	88
Tableau VI.34 : Injection produit chimique hypochlorite.	88
Tableau VI.35 : Fiche technique pompe doseuse d'hypochlorite.....	89
Tableau VI.36 : Caractéristique filtre a cartouche.....	90
Tableau VI.37 : Choix de du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite d'aspiration filtre à cartouche)	90
Tableau VI.38 : Calcul perte de charge totale de la conduite (conduite d'aspiration filtre a cartouche).....	91
Tableau VI.27 : Choix de du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite de refoulement filtre à cartouche)	91
Tableau VI.39 : Calcul perte de charge totale de la conduite (conduite de refoulement filtre a cartouche).	92
Tableau VI.40 : Choix de du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite de refoulement élargissement filtre à cartouche).	92
Tableau VI.41 : Calcul perte de charge totale de la conduite (conduite de refoulement élargissement filtre à cartouche).....	93
Tableau VI.42 : Choix de du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite de refoulement par un filtre à cartouche)	93
Tableau VI.43 : Calcul perte de charge totale de la conduite (conduite de refoulement par un filtre à cartouche).	94
Tableau VI.44 : Récapitulatif.	94
Tableau VI.45 : Description de la pompe.....	95
Tableau VI.46 : Données techniques et caractéristique.....	96
Tableau VI.47 : Choix de du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite d'aspiration pompe à haute pression).....	104
Tableau VI.48 : Calcul perte de charge totale de la conduite (conduite d'aspiration pompe haute pression).....	105

Tableau VI.49 : Choix de du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite de refoulement pompe à haute pression).....	105
Tableau VI.51 : Caractéristique de la pompe.	107
Tableau VI.50 : Calcul perte de charge totale de la conduite (conduite de refoulement pompe à haute pression).....	107
Tableau VI.52 : Caractéristique de la pompe.	108
Tableau VI.53 : Volume de cuve nécessaire au CIP.	109
Tableau VI.54 : Choix de du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite d'aspiration CIP)	110
Tableau VI.55 : Calcul perte de charge totale de la conduite (conduite d'aspiration CIP) ..	110
Tableau VI.56 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite de refoulement CIP).	111
Tableau VI.57 : Calcul perte de charge totale de la conduite (conduite de refoulement CIP).	111
Tableau VI.58 : Récapitulatif pompe CIP.	112
Tableau VI.59 : Analyse eau traité interprété en code decouleur.....	113

Chapitre VII : Devis estimatif de la station de Déminéralisation

Tableau VII.1 : Montant du système de forage et d'adduction d'eau brute.	117
Tableau VII.2 : Montant de l'ensemble du système énergétique et de pompage.....	119
Tableau VII.3 : Montrant de l'ensemble des salaires annuels.....	120

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Présentation de la région d'étude

Figure I.1 : Wilayas limitrophes de la wilaya d'El Oued.	2
Figure I.2 : Localisation de la Wilaya d'El Oued.	3
Figure I.3 : Carte du découpage administratif de la wilaya d'El OUED.	3
Figure I.4 : Température annuelle.	4
Figure I.5 : Précipitation annuelle.	6
Figure I.6 : Humidité annuelle.	8
Figure I.7 : La vitesse moyenne de vent annuelle.	9
Figure I.8 : L'Evaporation annuelle.	10

Chapitre II : Estimation des besoins

Figure II.1 : Graphe de l'évolution démographique pour différents horizons.	12
---	----

Chapitre III : Etude de forage

Figure III.1 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO, 1972) (ANRH).	20
Figure III.2 : dessin explicatif de fonctionnement de forage rotary.	24
Figure III.4 : Un trépan usé.	26
Figure III.5 : Schéma d'un tricône.	26
Figure III.3 : Trépan tricône typique, neuf.	26
Figure III.6 : tige de forage de la marque APAGEO.	27
Figure III.7 : table de rotation.	27
Figure III.8 : une moufle mobile.	28
Figure III.9 : schéma explicative de système de circulation de la boue.	28
Figure III.10 : un compresseur d'air.	29

Chapitre IV : Qualité des eaux

Figure IV.1 : Les étapes de calcul l'indice GWQI.	34
---	----

Chapitre V : Les différentes techniques de déminéralisation des eaux

Figure V.1 : Principales technique de déminéralisation.	42
Figure V.2 : Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) (le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres publier en 18/11/2003).	42
Figure V.3 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED) (le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres publier en 18/11/2003).	42
Figure V.4 : Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur (le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres publier en 18/11/2003).	45
Figure V.5 : le principe de fonctionnement de l'osmose.	47
Figure V.6 : Schéma explicative de fonctionnement de l'électrodialyse.	48
Figure V.7 : Schéma explicatif de fonctionnement de l'échange des ions.	49

Chapitre VI : Procédés de déminéralisation par Osmose Inverse

Figure VI.1 : Les étapes de station de déminéralisation par osmose inverse.....	55
Figure VI.2 : Principe de technique de la station de déminéralisation.	56
Figure VI.3 : Une conduite Le Polyester Renforcé en Verre.....	57
Figure VI.4 : Intérieur d'une conduite avant et après l'entartrage.....	58
Figure VI.5 : Schéma explicatif de l'injection de l'anti-scalant.	59
Figure VI.6 : Schéma explicatif de l'injection de Chlorure ferrique.	61
Figure VI.7 : Schéma explicatif de principe de fonctionnement de la tour de refroidissement.	63
Figure VI.8 : les déférente technique utilisée dans les tours à refroidissement.....	64
Figure VI.9 : exemple d'un réservoir d'eau brute.....	65
Figure VI.10 : Filtre bicouche vertical et horizontale.....	67
Figure VI.11 : Graphe colmatage des filtres par rapport à la porosité.....	70
Figure VI.12 : Courbes caractéristiques de l'installation.....	77
Figure VI.13 : Courbes caractéristique de l'installation.	83
Figure VI.14 : Filtres à cartouche.	89
Figure VI.15 : Courbes caractéristique de l'installation.	96
Figure VI.16 : Capture d'écran des technologies et de débit a utilisé.	98
Figure VI.17 : Capture d'écran de l'insertion des analyses de l'eau brute dans WAVE.....	99
Figure VI.18 : Capture d'écran de la dernière étape avant calcul.	100
Figure VI.19 : Capture des résultats de logiciel Wave (1/3).....	101
Figure VI.20 : Capture des résultats de logiciel Wave (2/3).....	102
Figure VI.20 : Capture des résultats de logiciel Wave (3/3).....	103
Figure VI.22 : Courbe caractéristique de l'installation.....	108

LISTE DES ABREVIATIONS

RGPH : recensement générale de la population et de la l'habitation

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

DRE : Direction des ressources en eau

ADE : Algérienne Des Eaux

DRE : Direction des ressources en eau de la wilaya

UNESCO : Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

CI : Continental Intercalaire

CT : Complexe Terminal

MRE : Ministère des ressources en eau

ENSH : École Nationale Supérieure d'Hydraulique

MES : Matières En Suspension

NTU : Néphélométrie Turbidité Unit

OI : Osmose Inverse

MSF : multiétage flash

ED : électro dialyse

NF : Nano filtration

MF : Microfiltration

PVC : chlorure de polyvinyle

MEC : membranes échangeuses de cations

MEA : membranes échangeuses d'anions

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PEHD : Polyéthylène haute densité

PRV : Polyester Renforcé de fibre de Verre

TA : Titre Alcalimétrique

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

TDS : Taux Des Sels Dissout

TH : Titre Hydrométrique (dureté totale)

PH : Le Potentiel D'hydrogène

R : Réserve

PID : Piping and Instrumentation Diagram

CIP : Cleaning in Place

Ant : Antenne

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est un élément vital, déterminant pour notre qualité de vie et notre survie. L'accès à l'eau potable, essentiel pour la santé, est désormais reconnu comme un droit humain fondamental. Longtemps considérée comme inépuisable, l'eau fait aujourd'hui l'objet d'inquiétudes croissantes. Des études prospectives révèlent une diminution alarmante des réserves hydriques à l'échelle de quelques décennies, particulièrement dans le Bassin Méditerranéen où la demande surpasse largement l'offre naturelle.

Face à ces défis, l'Algérie a entrepris d'importants chantiers : construction de barrages, mise en place de stations de dessalement, entre autres. Malgré ces efforts, le pays reste confronté à des problèmes cruciaux d'approvisionnement en eau, notamment dans les régions sahariennes qui représentent deux tiers de sa superficie. Avec des précipitations annuelles d'environ 60 mm, voire des années de sécheresse totale, ces zones illustrent l'urgence de gérer durablement cette ressource vitale.

La ville de Djamaa illustre ces défis hydriques. Le développement de cette région repose largement sur l'augmentation des ressources en eau potable. Les nappes albiennes présentes représentent une réserve considérable, mais leurs eaux ne sont pas directement utilisables en raison de leur température élevée et de leur forte teneur en minéraux.

Pour exploiter ces eaux, un traitement de déminéralisation s'impose. L'osmose inverse apparaît comme la solution la plus adaptée pour les eaux saumâtres dont la salinité est inférieure à 2500 ppm, offrant simplicité de mise en œuvre, facilité de maintenance et bon rendement de déminéralisation.

Dans ce contexte, une étude approfondie a été menée pour valider les calculs de dimensionnement d'une station de traitement par osmose inverse à Djamaa. Cette étude se structure en sept chapitres :

- ❖ Présentation des données de base caractérisant l'agglomération
- ❖ Estimation des besoins en eau potable
- ❖ Description des caractéristiques du puits de forage
- ❖ Analyses physico-chimiques des eaux saumâtres
- ❖ Vue d'ensemble des techniques de déminéralisation
- ❖ Étude de dimensionnement de la station basée sur le traitement par osmose inverse
- ❖ Devis estimatif de la station de déminéralisation

Cette approche méthodique vise à fournir une analyse complète et détaillée, mettant en valeur les compétences acquises tout en répondant aux exigences du projet. La mise en place d'une telle station nécessite un travail rigoureux, des compétences pointues et une expérience solide dans le domaine.

En conclusion, l'exploitation des nappes albiennes, couplée à un traitement approprié par osmose inverse, pourrait offrir une solution durable aux problèmes d'approvisionnement en eau potable de Djamaa et, plus largement, contribuer au développement des régions sahariennes algériennes. Cette étude s'inscrit dans une démarche cruciale pour relever les défis hydriques auxquels font face ces régions et assurer un accès durable à l'eau potable pour leurs populations.

Chapitre I :
Présentation de la région d'étude

I.1. Introduction

Dans ce chapitre on vise à analyser les défis et les potentialités de la commune de Djamaa. Il s'agit de proposer des solutions pour un développement durable de la commune, en tenant compte de ses caractéristiques spécifiques et de son environnement. La connaissance de la zone est un paramètre clé dans ce type d'étude, pour cela nous allons présenter la région de Djamaa.

I.2. Présentation de la région d'étude

El Oued ou Oued Souf, est une commune de la wilaya d'El Oued, dont elle est le chef-lieu. Elle est située dans le nord-est du Sahara algérien et à 212 km au nord-est de Ouargla et à 512 km au sud-est d'Alger. Souf, s'étend sur une superficie de 44.586,80 km². -Les limites géographiques : Elle est limitée : Au nord, par la wilaya de Khenchela ; Au sud-ouest, par la wilaya d'Ouargla ; A l'ouest, par la wilaya de Djelfa ; A l'est, par la Tunisie ; Au nord-est, par la wilaya de Tébessa ; Au nord-ouest, par la wilaya de Biskra. Comme le montre la figure 1.

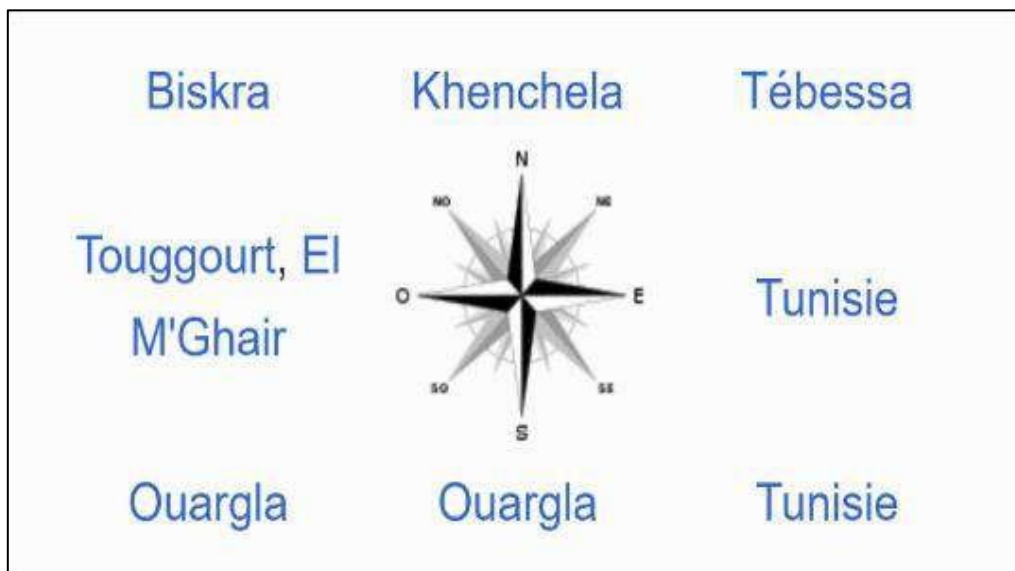


Figure I.1 : Wilayas limitrophes de la wilaya d'El Oued.

La ville d'El Oued, capitale du Souf, est surnommée « la ville aux mille coupes », les Algériens l'appellent « Oued Souf ». L'agglomération compte 187 000 habitants, dont 134 699 pour la seule commune d'El Oued (Selon le RGPH de 2008).[1]

La wilaya d'El Oued est une wilaya algérienne, ayant pour chef-lieu la ville éponyme d'El Oued, située au Sud-Est de l'Algérie. La wilaya existe depuis 1984, elle compte douze daïras et trente communes jusqu'en 2019, puis, respectivement, onze et vingt-deux depuis cette date à la suite de la création de la wilaya d'El M'Ghair.

Wilaya d'El Oued :

La wilaya d'El Oued, située au sud-est de l'Algérie, est connue pour ses paysages désertiques et ses oasis luxuriantes. Surnommée "la porte du Sahara" ou " la ville aux mille coupes », elle offre un contraste saisissant entre les dunes de sable et les palmeraies verdoyantes. La région est également riche en histoire et en culture, avec des traditions et un patrimoine unique.



Figure I.2 : Localisation de la Wilaya d'El Oued.

Djamaa est une commune située dans la wilaya d'El Oued. C'est une oasis importante qui se distingue par sa production de dattes et son architecture traditionnelle. La commune est également connue pour ses ksour, des villages fortifiés construits en pisé, qui témoignent de l'histoire riche de la région.

La commune de Djamaa, comme de nombreuses autres oasis en Algérie, fait face à de nombreux défis, notamment la désertification, la raréfaction de l'eau et la pauvreté.

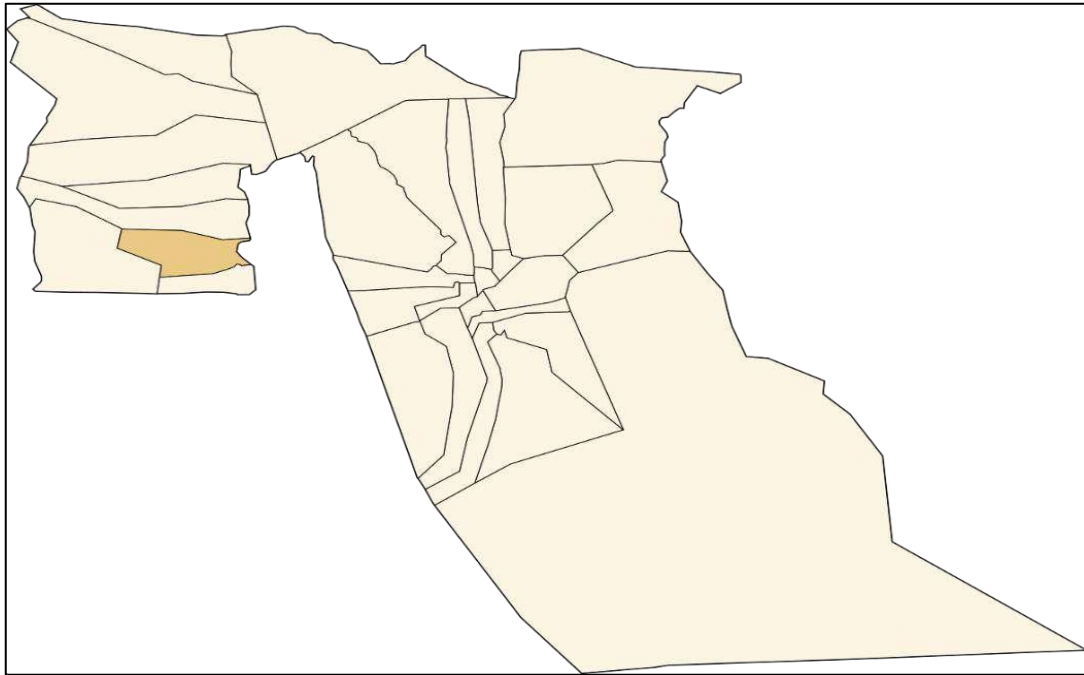


Figure I.3 : Carte du découpage administratif de la wilaya d'El OUED.

I.1. Etude paramétré Climatique

I.1.1. Température

La température est une grandeur physique qui mesure le degré ou l'intensité de la chaleur d'un objet ou d'un système.

La température s'exprime généralement en degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$), Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) ou Kelvin (K). L'échelle Celsius est largement utilisée, avec 0°C pour le point de congélation de l'eau et 100°C pour son point d'ébullition à pression atmosphérique normale.

La température est une notion fondamentale en physique, chimie et dans de nombreux autres domaines scientifiques et techniques. C'est une grandeur essentielle pour caractériser les états de la matière et les transferts d'énergie.

Oued Souf, a un climat désertique chaud et sec typique du Sahara. Les étés sont extrêmement chauds avec des températures pouvant dépasser facilement les 40°C, et les hivers sont doux avec des températures moyennes autour de 15-20°C le jour et pouvant descendre en dessous de 5°C la nuit.

Tableau I.1 : Moyenne mensuelles de la température de la région de Djamaa, 2019.

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOT	SEP	OCT	NOV	DEC	AN
Température Moyenne (°C)	9,9	11,8	16,4	21	25,7	30,2	33,3	32,7	28,6	23,1	15,5	10,8	21,58

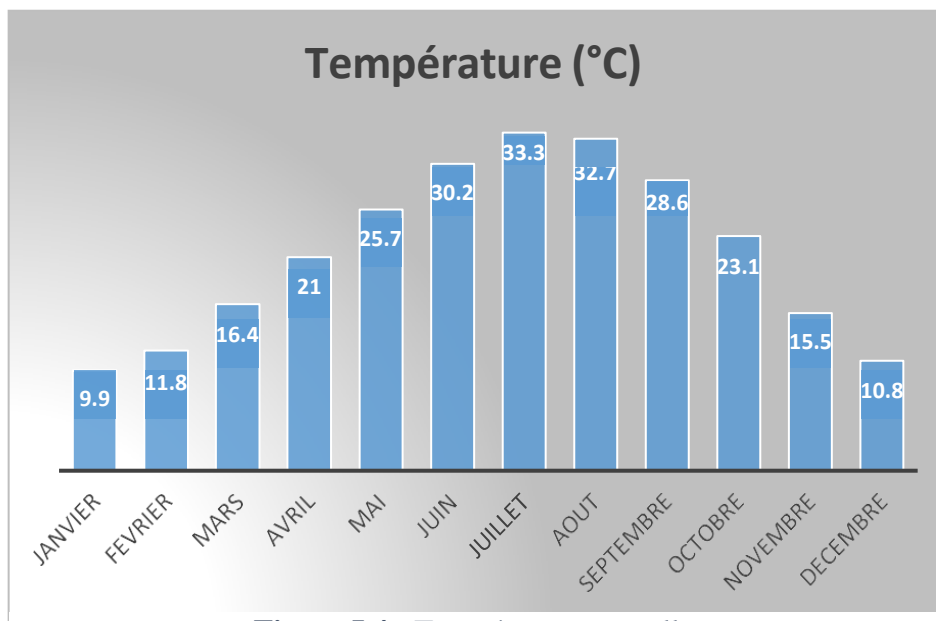


Figure I.4 : Température annuelle

I.1.2. Précipitation :

Les précipitations sont les apports d'eau météorique sous forme liquide ou solide à la surface de la Terre. Ces derniers sont de l'eau provenant des nuages et retombant sur le sol sous différentes formes (Pluie, Neige, Grêle, Bruine, Averse)

Elles se mesurent généralement en hauteur d'eau recueillie par unité de surface (mm ou cm) sur une période donnée (heure, jour, mois, année).

Dans la wilaya d'El Oued, les précipitations y sont généralement très faibles, avec des moyennes annuelles qui ne dépassent généralement pas 33 mm par an sur la majeure partie de la wilaya.

Plus précisément, pour la commune d'El Djamaa, située à une quarantaine de km au sud d'El Oued, on peut s'attendre à :

Des précipitations quasi nulles durant les mois d'été (juin à septembre)

Quelques précipitations irrégulières et généralement faibles du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril, période où surviennent la plupart des rares pluies.

Une moyenne annuelle de précipitations probablement inférieure à 30 mm

Tableau I.2 : Répartition des précipitations moyennes mensuelles de la région de Djamaa, 2019.

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOT	SEP	OCT	NOV	DEC	AN
Précipitations (mm)	13	4	8	8	3	1	0	1	6	5	8	8	5,42

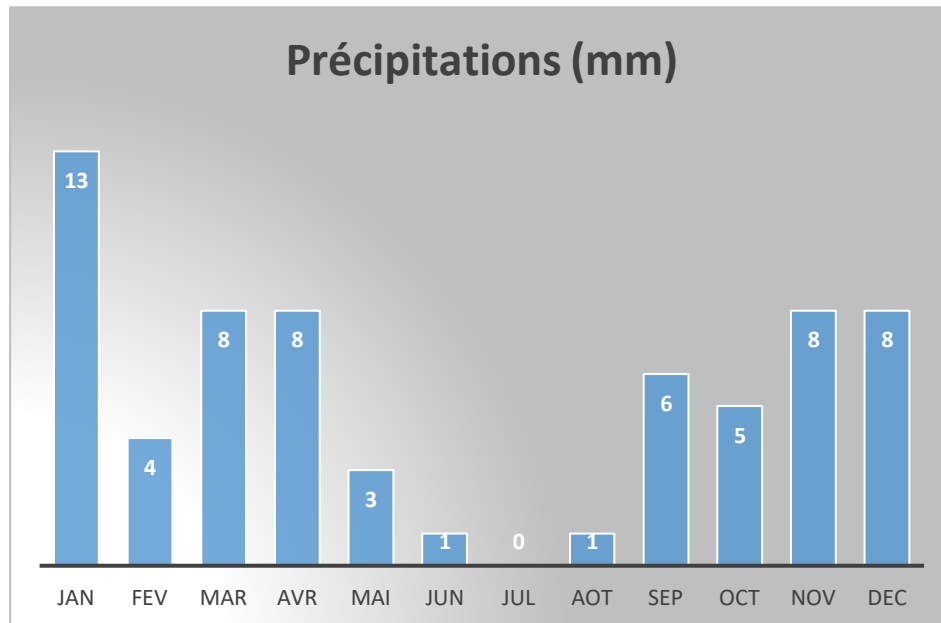


Figure I.5 : Précipitation annuelle.

I.1.3. Humidité :

L'humidité est une notion qui fait référence à la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air. Cette dernière représente la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère. Elle peut être mesurée de différentes manières :

L'humidité relative (HR) est le rapport entre la quantité de vapeur d'eau effectivement présente dans l'air et la quantité maximale que l'air peut contenir à cette température et pression. Elle s'exprime en pourcentage.

L'humidité absolue ou densité de vapeur d'eau est la masse de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air donné, exprimée généralement en $[g/m^3]$.

Un air très sec aura une faible humidité relative et absolue, tandis qu'un air humide et moite aura des valeurs d'humidité élevées.

L'humidité joue un rôle clé dans de nombreux processus atmosphériques comme la formation des nuages et des précipitations. Elle influence aussi le confort physiologique ressenti par les humains et les animaux.

Des taux d'humidité trop élevés favorisent la prolifération de moisissures tandis que l'air trop sec peut assécher les muqueuses. L'humidité est donc un paramètre environnemental important à prendre en compte.

Dans cette région, les niveaux d'humidité relative sont généralement très bas, souvent inférieurs à 30% en moyenne.

En été, avec les températures élevées dépassant fréquemment les 40°C, l'humidité relative descend à des valeurs extrêmement basses, parfois en dessous de 10%. L'air est alors très sec.

En hiver, les températures plus fraîches permettent une hausse modérée de l'humidité relative, qui peut atteindre 30 à 50% certains jours. Mais l'air reste globalement très sec la plupart du temps.

L'humidité absolue, soit la quantité de vapeur d'eau par m³ d'air, est-elle aussi très faible toute l'année en raison des températures élevées.

Les rares épisodes de pluie ou d'humidité élevée sont brefs et exceptionnels à Oued Souf. C'est un climat typique des régions désertiques les plus arides au monde.

Tableau I.3 : Répartition annuelle de l'humidité de Djamaa, 2019.

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOT	SEP	OCT	NOV	DEC	AN
Humidité (%)	61	47	39	32	28	25	23	26	36	43	53	63	39,67

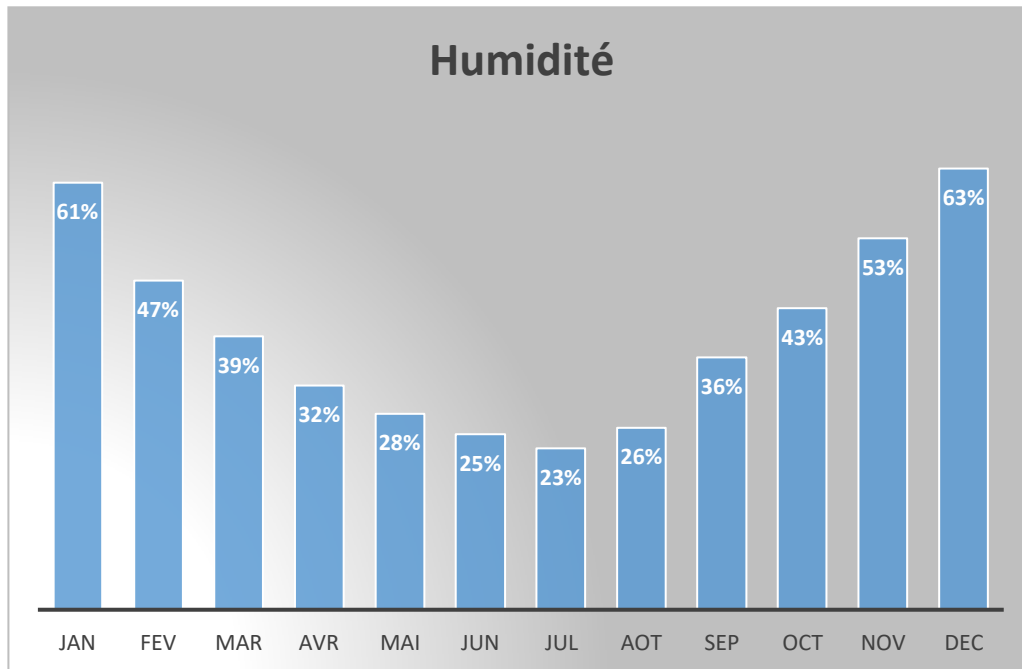


Figure I.6 : Humidité annuelle.

I.1.4. Le vent :

Selon le tableau I.7, nous remarquons que les vents sont fréquents durant toute l'année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant la période allant du mois d'avril jusqu'au mois de juin, avec un maximum de (3.08 m/s) durant le mois d'Avril. Les vents Est et Nord Est prédominent, puis avec un degré moindre ceux de direction Ouest et Sud-Ouest (Sirocco) caractérisés par une température élevée. Généralement, c'est au printemps que les vents sont les plus forts (période de pollinisation des palmiers), ils sont chargés de sables éoliens donnant au ciel une teinte jaune et peuvent durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse allant de 30 à 40 Km/h.

Tableau I.4 : Répartition moyenne mensuelle de la vitesse du vent a djamaa 2019.

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOT	SEP	OCT	NOV	DEC	AN
Vent (Vitesse moyenne [m/s])	1,83	2,34	2,85	3,08	3,07	2,92	2,45	2,17	2,2	1,69	1,6	1,56	2,31

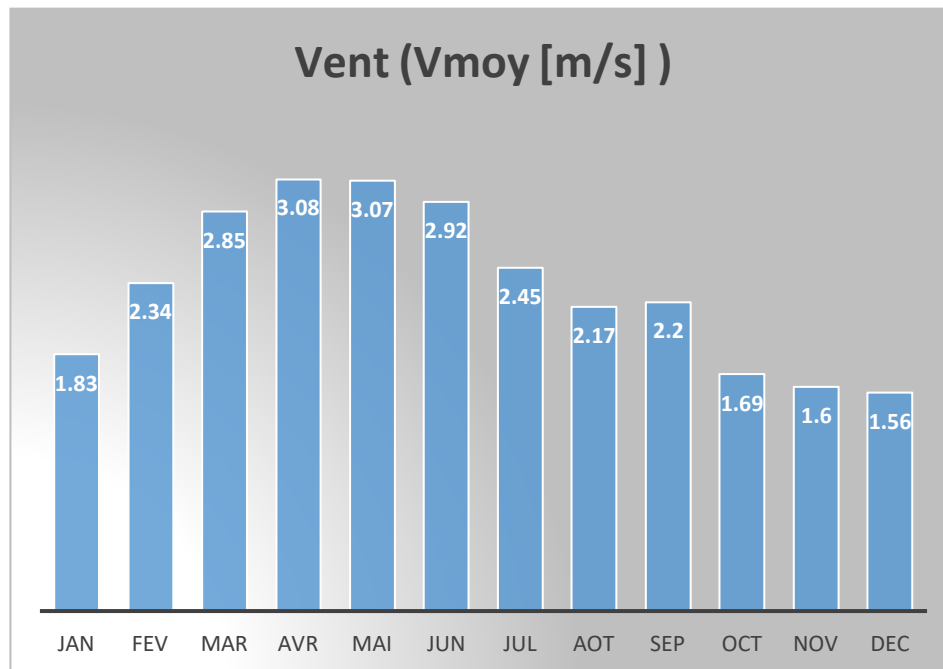


Figure I.7 : La vitesse moyenne annuelle.

I.1.5. L'évaporation

En zone aride, l'évaporation et la transpiration sont les mécanismes majeurs de perte en eau. Le tableau I 5 et la figure I 5 récapitulent les répartitions de l'évaporation dans la station année, 2019.

Tableau I.5 : Répartition de l'évaporation de la région de Djamaa 2019.

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOT	SEP	OCT	NOV	DEC	AN
EVA (mm)	184,2	144,8	105,2	87,3	80,3	93,1	167,7	203	288,5	337,7	361,5	321,3	15,35

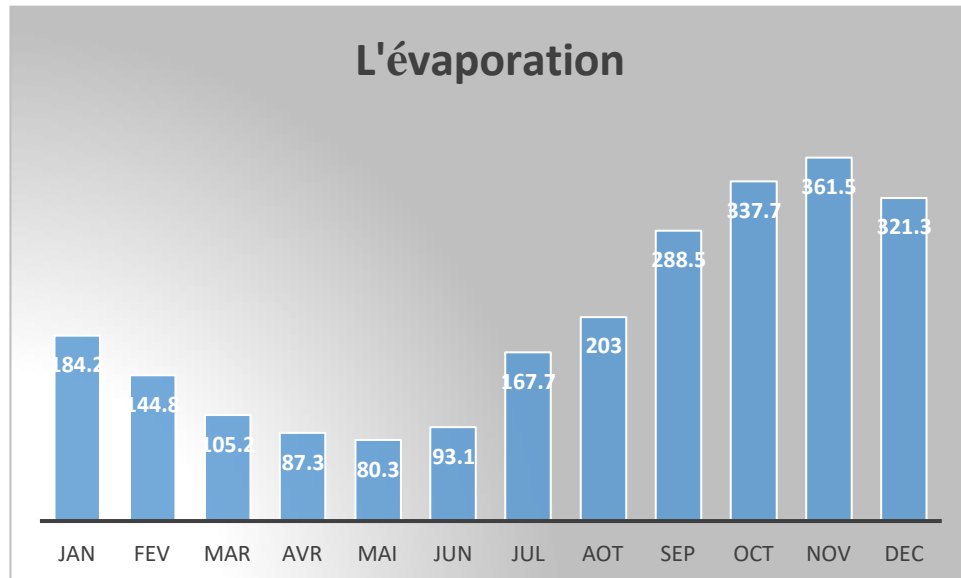


Figure I.8 : L'Évaporation annuelle

I.2. Conclusion

La région d'El Oued est située dans l'étage bioclimatique aride. Elle est caractérisée par la faiblesse de la pluviométrie, les fortes amplitudes thermiques, une intense évaporation ainsi que par l'existence de vents qui sont parfois violents et catastrophiques. Ces conditions climatiques extrêmes influencent fortement les activités agricoles et les modes de vie des habitants.

Chapitre II :
ESTIMATION DES BESOINS

II.1. Introduction

L'estimation des besoins est une étape cruciale dans la planification et la mise en œuvre d'un projet de déminéralisation des eaux. Cela permet de déterminer les capacités de traitement requises, les équipements nécessaires, les ressources humaines à mobiliser et les coûts associés au projet.

II.2. Etude démographique

Selon les données du recensement de 2008, la population de la ville de Djamaa était estimée à 34 818 habitants. (DRE, 2008).

En Algérie, la tendance démographique suit la loi des accroissements géométriques, conforme à la loi des intérêts composés.

$$P = P_0 \times (1 + r)^n \quad (\text{II.1})$$

-P : nombre d'habitants à l'horizon d'étude (l'année 2055 pour notre cas),

-P₀ : nombre d'habitants à l'année prise comme référence,

-r : taux d'accroissement, qui est égal à 2.72% pour la commune de Djamaa,

-n : nombre d'année entre l'année de référence et l'horizon d'étude

La variation de nombre d'habitant entre l'année de référence, l'horizon actuel et l'horizon d'étude est représenté dans le tableau suivant :

Tableau II.1 : Evolution de la population aux différents horizons.

L'an 2008 (référence)	Taux d'accroissement %	L'an 2024	L'an 2033	L'an 2055
34818	2,72	53492	68106	122911

D'après le tableau précédant le nombre d'habitant pour l'horizon d'étude de **long terme (2055)** est de **122911 habitants**

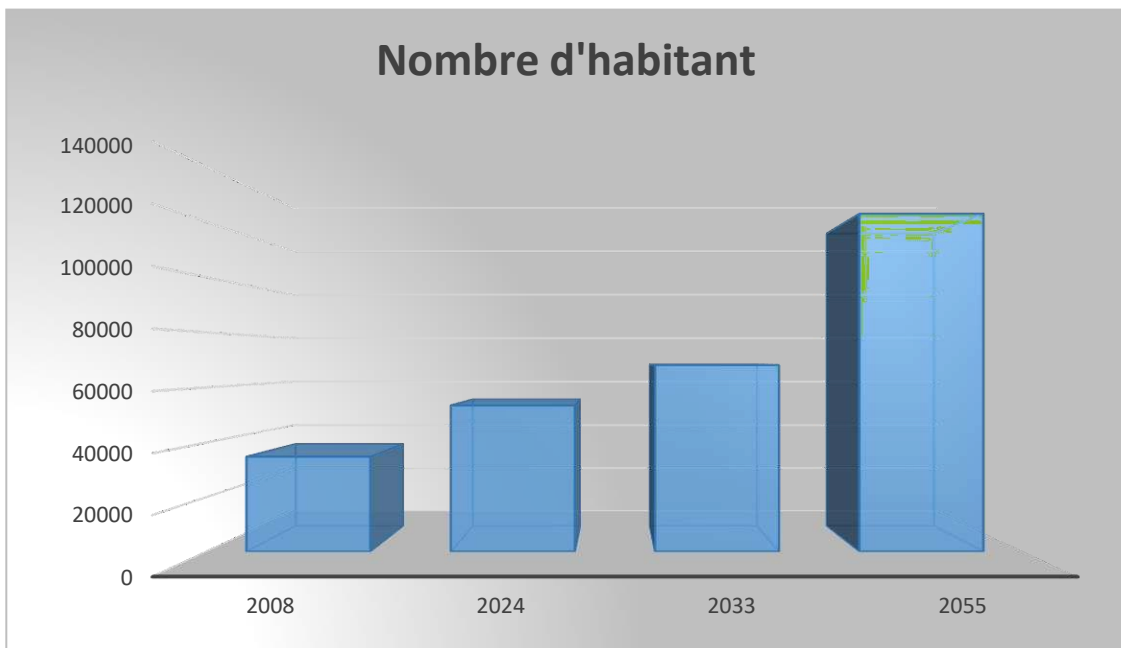


Figure II.1 : Graphe de l'évolution démographique pour différents horizons.

II.3. Estimation des besoins

II.3.1. Besoins domestique

Les besoins domestiques en eau se réfèrent à la quantité d'eau nécessaire pour répondre aux besoins quotidiens d'une maisonnée, tels que boire, cuisiner, se laver, nettoyer, et arroser les plantes. Les besoins en eau peuvent varier considérablement en fonction de facteurs tels que le nombre de personnes dans le ménage, le climat, les habitudes de consommation, et les équipements utilisés.

Pour estimer les besoins en eau, nous devons prendre une dotation qui est de 200 l/j/hab d'après la DRE D'El Oued. Ensuite utiliser les formules suivantes :

➤ Débit journalier moyens :

$$Q_{jmoy} = \frac{N \times Dot}{1000} \quad (II.2)$$

Avec :

-N : population horizon d'étude

-Dot : dotation hydrique (l/j/hab)

-Q j moy : Débit moyen journalier en m³/jour

➤ Débit journalier maximal :

$$Q_{jmax} = Q_{jmoy} \times K_j \quad (II.3)$$

Avec :

K_j : coefficient journalier max = 1.1 à 1.3, alors on prend la moyenne 1.2

➤ Débit horaire maximal :

$$Q_h \max = \frac{K_h \times Q_j \max}{24} \quad (m^3/h) \quad (II.4)$$

Avec :

- K_h : coefficient horaires max = $\alpha \max \times \beta \max$

- $\alpha \max$: 1.1 a 1.3 , alors on prend 1.3

- $\beta \max$: en fonction du nombre d'habitant

Tableau II.2 : Les coefficients $\beta \max$.

Populations	1000	1500	2000	6000	10000	20000	50000	100000	300000	> 300000
Q max	2	1.8	1.5	1.4	1.3	1.2	1.15	1.1	1.05	1.00

Tableau II.3 : Calcule de K_h .

Horizon	2008	2024	2033	2055
Population	34 818	53 492	68 106	122911
Q max	1.18	1.14	1.13	1.10
$\alpha \max$	1.30	1.30	1.30	1.30
Kh	1.53	1.48	1.47	1.43

Tableau II.4 : Les besoins domestique pour les différents horizons.

Horizon	2008	2024	2033	2055
Populations	34 818	53 492	68 106	122911
Débit moy (m^3/j)	6 963.6	10 139.4	13 621.2	18 796.2
Débit J max (m^3/j)	8 356.32	12 167.28	16 345.44	22 555.44
Kh	1.53	1.48	1.47	1.43
Debit h max (m^3/h)	532.71	750.31	1 001.15	1 343.92

II.3.2. Besoin d'équipements

Tableau II.5 : Les infrastructures scolaire, sanitaire, social, culturel, sportif et loisirs. (DHW, 2008).

Nature	infrastructure	Nombre	S (m ²)	Capacité	Unité	Norme	Débit moy (m ³ /j)
Equipementscolaire	Ecole primaire	11	-	5204	l/j/élève	10	52,04
	CEM	5	-	3240	l/j/élève	10	32,4
	Lycée	4	-	3485	l/j/élève	10	34,85
	CFPA	1	-	766	l/j/élève	10	7,66
	Centre	1	2400	-	l/j/m ²	100	240
	Institution BADR	1	885	-	l/j/m ²	10	8,85
	Crèche	1	1628	-	l/j/élève	30	48,84
	Cantine	1	433	5204	l/j/élève	10	52,04
	Bibliothèque	1	582	-	l/j/m ²	5	2,91
	Inspection	1	254,3	-	l/j/m ²	5	1,2715
Equipementsanitaire	Hôpital	1	-	80	l/j/lit	300	24
	agence national	1	6667	-	l/j/lit	10	66,67
	salle de soin	3	1141	-	l/j/m ²	10	11,41
	pharmacie	8	128	-	l/j/m ²	5	0,64
Equipement social, culturel, sportif et loisirs	mosquée	13	-	11606	l/j/per	20	232,12
	centre culturel	1	4700	-	l/j/m ²	5	23,5
	auberge de jeune	1	7700	80	l/j/per	30	2,4
	maison de jeune	1	1500	-	l/j/m ²	5	7,5
	club de jeune	1	900	-	l/j/m ²	5	4,5
	stade communal	1	38600	-	l/j/m ²	5	193
	matico	6	7239	-	l/j/m ²	5	36,195
	salle omnisport	1	21200	-	l/j/m ²	5	106
	piscine	1	10000	-	l/j/m ²	5	50
	club wiam	1	30	-	l/j/m ²	5	0,15
	antenne scout	1	155	-	l/j/m ²	5	0,775
	jardin public	1	9400	-	l/j/m ²	5	47
air public	1	16038	-	l/j/m ²	5	80,19	

Tableau II.6 : Les infrastructures scolaire, sanitaire, social, culturel, sportif et loisirs
(DHW,2008).

Nature	infrastructure	Nombre	S (m ²)	Capacité	Unité	Norme	Q moy.j (m ³ /j)
Equipement commerciaux asservissement	station transport	2	41144	-	l/j/m ²	5	205,72
	station transport	1	1000	-	l/j/m ²	5	5
	parc communal	1	8831	-	l/j/m ²	5	44,155
	parc Algerie	1	1600	-	l/j/m ²	5	8
	Parc de	5	42600	-	l/j/m ²	5	213
	station - service	3	6000	-	l/j/m ²	5	30
	station lavage	5	4306	80	l/j/voiture	5	0,4
	station transport	2	41144	-	l/j/m ²	5	205,72
	station transport	1	1000	-	l/j/m ²	5	5
	parc communal	1	8931	-	l/j/m ²	5	44,655
	hangar	5	500	-	l/j/m ²	5	2,5
	abattoire	1	460	100	l/j/tete	100	10
	centre	1	500	-	l/j/m ²	5	2,5
	locaux	2	16560	-	l/j/m ²	5	82,8
	boulangerie	8	320	7000	l/j/KgPain	2	14
	degraissage	1	40	20	l/j/KgLavage	100	2
	restaurants	8	400	150	l/j/pers	20	3
	douche	2	-	40	l/j/pers	25	1
	Drivassion de	1	600	-	l/j/m ²	5	3
	union general	1	700	-	l/j/m ²	5	3,5
	CDARS	1	1500	-	l/j/m ²	5	7,5
	Centre financier	1	100	-	l/j/m ²	5	0,5
	inspection des Imp	1	100	-	l/j/m ²	5	0,5
	recette	1	100	-	l/j/m ²	5	0,5
	hangar	5	500	-	l/j/m ²	5	2,5
	abattoire	1	460	100	l/j/tete	100	10
	centre	1	500	-	l/j/m ²	5	2,5
	locaux	2	16560	-	l/j/m ²	5	82,8
	tresor	1	100	-	l/j/m ²	5	0,5
	bank BADR	1	1000	-	l/j/m ²	5	5
stock EI	1	1600	-	l/j/m ²	5	8	
souk journalier	1	100	-	l/j/m ²	5	0,5	
souk journalier	1	90200	-	l/j/m ²	5	451	

Tableau II.7 : Les infrastructures scolaire, sanitaire, social, culturel, sportif et loisirs (DHW,2008).

Nature	infrastructure	Nombre	S (m ²)	Capacité	Unité	Norme	Débit moy (m ³ /j)
Equipement administrative et sécuritaire	Siege DAIRA	1	5100	-	l/j/m ²	5	25,5
	siège APC	1	5200	-	l/j/m ²	5	26
	Antenne APC	1	200	-	l/j/m ²	5	1
	Subdivision de l'urbanisme	1	4100	-	l/j/m ²	5	20,5
	Subdiv de l'hydraulique	1	5600	-	l/j/m ²	5	28
	Subdiv de TP	1	4400	-	l/j/m ²	5	22
	Ant agence foncier	1	2600	-	l/j/m ²	5	13
	Subdiv de l'agriculture	1	700	-	l/j/m ²	5	3,5
	subdiv circonscrit des forets et chambre	1	700	-	l/j/m ²	5	3,5
	Ant Algérie poste	2	1134	-	l/j/m ²	5	5,67
	Ant Algérie télécom agence commerciale	1	1900	-	l/j/m ²	5	9,5
	Ant Sonal gaz	2	600	-	l/j/m ²	5	3
	chambre d'hôtes	1	1200	-	l/j/m ²	5	6
	inspection de travail	1	686	-	l/j/m ²	5	3,43
	cour de justice	1	11600	-	l/j/m ²	5	58
	section des sourd et muets	1	641	-	l/j/m ²	5	3,205
	société nationale des assurances	1	700	-	l/j/m ²	5	3,5
	Ant casoral	1	1400	-	l/j/m ²	5	7
	Ant casnos	1	971	-	l/j/m ²	5	4,855
	musée moudjahidine	1	300	-	l/j/m ²	5	1,5
	Ant CNR	1	30	-	l/j/m ²	5	0,15
	Ant Mutuelle agriculture	1	30	-	l/j/m ²	5	0,15
	ONID	1	28600	-	l/j/m ²	5	143
	Caserne militaire	1	1800	-	l/j/m ²	5	9
	Ant gendarmerie	2	10089	-	l/j/m ²	5	50,445
	Ant Police	1	1200	-	l/j/m ²	5	6
Garde communal	1	1300	-	l/j/m ²	5	6,5	
Ant protection civil	1	2100	-	l/j/m ²	5	10,5	

Pour estimer les besoins en équipement, nous prenons en compte que ces besoins représentent 30% des besoins domestiques pour chaque période donnée.

Tableau II.8 : Consommation journalière en eau potable selon l'équipement.

Horizon	2008	2024	2033	2045
Débit moyen journalier (m ³ /j)	2938,52	3548,79	4767,42	5638,86
Débit j max (m ³ /j)	3526,22	4258,548	5720,9	6766,63
Débit h max (m ³ /h)	224,79	262,61	350,35	403,17

II.3.3. Besoins industriels et agricoles

Les entreprises industrielles et agricoles ont besoin d'une quantité d'eau importante pour leur fonctionnement. La qualité d'eau exigée est différente d'une industrie à une autre en fonction du type du produit fabriqué ou transformé.

Tableau II.9 : Besoins industriels pour une consommation journalière en eau potable selon une dotation de 30 m³/j/hect (dotation hydrique) (DHW. 2008).

Nature	Infrastructure	Nombre	Superficie (hec)	Dotation		Débit moyen (m ³ /j)
				unite	Norme	
industriel	Usine de dattes	1	0,32	m ³ /j/hect	30	9,6
	Usine de dattes OND	1	0,96	m ³ /j/hect	30	28,8
	Usine de brique	1	5	m ³ /j/hect	30	150
	usine de carton	1	2	m ³ /j/hect	30	60
	zone d'activité	1	26	m ³ /j/hect	30	780
TOTALE						1028,4

Tableau II.10 : Les besoins d'industrie pour les différents horizons.

Horizon	2008	2024	2033	2055
Débit moyen journalier (m ³ /j)	1028,4	1028,4	1028,4	1028,4
Débit j max (m ³ /j)	1234,08	1234,08	1234,08	1234,08
Débit h max (m ³ /h)	125,26	154,26	154,26	154,26

II.4. Besoin totale

Tableau II.11 : Débit max pour les différents horizons.

Horizons	2008	2024	2033	2055
Débit j max (m ³ /j)	13236,62	17779,9	23420,42	30676,15

II.5. Conclusion

Il a été constaté qu'il en résulte un déficit en eau potable entre la consommation maximale évaluée en 2055 et la ressource disponible. Le déficit devient plus important, mettant ainsi en péril la satisfaction des besoins de la population et exacerbant les tensions autour de la gestion des ressources hydriques.

Chapitre III :
ETUDE DE FORAGE

III.1. Introduction

L'étude de forage est une discipline essentielle dans les domaines de la géologie, de l'ingénierie pétrolière et gazière, ainsi que de la recherche scientifique. Elle se concentre sur l'analyse, la planification et l'exécution des opérations de forage dans le but d'extraire des ressources naturelles telles que le pétrole, le gaz naturel ou l'eau, ou encore pour des études géotechniques et environnementales.

L'étude de forage implique plusieurs étapes clés. Tout d'abord, une analyse géologique approfondie est réalisée pour identifier les zones potentielles où les ressources pourraient être trouvées. Ensuite, les ingénieurs planifient le forage en déterminant le type d'équipement nécessaire, la profondeur du puits, l'angle de forage, etc.

Cette étude est cruciale pour garantir la sécurité, l'efficacité et la durabilité des opérations de forage. Elle permet également de minimiser les impacts environnementaux en optimisant la conception du puits et en gérant adéquatement les déchets et les émissions.

III.2. Contexte hydrogéologique générale

L'hydrogéologie est la science qui étudie les eaux souterraines, leur distribution, leur circulation et leurs propriétés physiques et chimiques. Le contexte hydrogéologique général d'une région dépend de plusieurs facteurs, notamment la géologie, le climat, la topographie et les activités humaines.

- **Géologie** : La nature des roches et des sols a une influence majeure sur la capacité d'une région à stocker et à transmettre l'eau souterraine. Par exemple, les roches sédimentaires poreuses comme le sable et le grès sont généralement de bons aquifères, tandis que les roches métamorphiques et ignées comme le granit et le schiste sont moins perméables.
- **Climat** : Les précipitations et la température influencent la quantité d'eau qui peut s'infiltrer dans le sol et recharger les nappes souterraines. Dans les régions arides, l'évaporation peut être si élevée que peu d'eau atteint les nappes phréatiques.
- **Topographie** : Le relief peut affecter la direction et la vitesse de l'écoulement de l'eau souterraine. Par exemple, dans les vallées, l'eau souterraine a tendance à s'accumuler, formant des nappes phréatiques.
- **Activités humaines** : L'extraction d'eau souterraine, l'irrigation, l'urbanisation et la pollution peuvent tous affecter le contexte hydrogéologique d'une région.

D'après les études hydrogéologiques effectuées dans le passé par CORNET (1961 et 1964), L'UNESCO (1972), MARGAT (1992), la coupe schématique (Figure (II-1)) établie à partir des coupes de sondages, nous observons l'existence de deux types de nappes (nappe libre et captive).

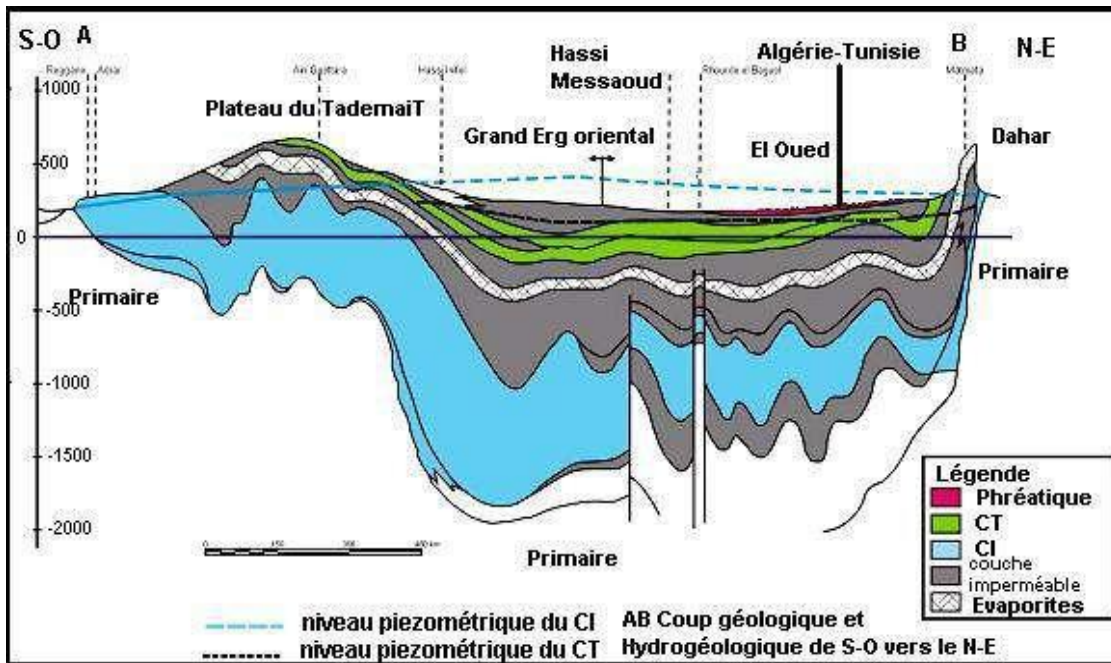


Figure III.1 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO, 1972) (ANRH).

Remarque :

L'étude du contexte hydrogéologique est importante pour la gestion durable des ressources en eau, en particulier dans les régions où l'eau est rare ou où la demande en eau est élevée.

III.3. Présentation des nappes aquifères de la région d'EL OUED

Les ressources en eau de la wilaya d'El-Oued sont assez importantes, avec trois types d'aquifères. L'une est libre, c'est-à-dire la nappe phréatique, tandis que les deux autres sont captives, c'est-à-dire les nappes multicouches du complexe terminal et la nappe du continental intercalaire. Comme presque tout le Sahara septentrional la superposition des Aquifères est similaire à celle du tableau III.1 ci-dessous, dressant et récapitulant les systèmes aquifères du haut en bas.

Tableau III.1 : Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued. (D'après DHW, 2005). (ADE).

Nature hydrogéologique		Nature lithologique	Étage	Ère	
Niveau perméable	Nappe phréatique	sable	Quaternaire		
Niveau Imperméable		argiles			
1 nappe des sables semi-perméable	Complexe terminale (CT)	sable	Pliocène		Tertiaire
		Argiles gypseuses			
2 nappes des sables		Sables grossiers, graviers	Pontien	Miocène	
Niveau imperméable		Argiles lagunaires, marnes	Moyen	Éocène	
Nappe des calcaires (perméables)		Calcaire fissuré	Inférieur		
Semi-perméable			Sénonien carbonaté		
Niveau imperméable	Nappe Continental Intercalaire (CI)	Évaporites, argiles	Sénonien agunaire	Crétacé	Secondaire
Niveau perméable		Argiles, marne	Cénomaniens		
Semi-perméable		Sables et Grés	Albien		
Niveau perméable		Calcaire, marne	Aptien		
Niveau perméable		Calcaire, sable	Barrémien		

III.3.1. Nappe Phréatique

Cette nappe se trouve dans des dépôts sableux fins de type éolien d'âge quaternaire, présents dans toute la wilaya. Elle est composée d'une partie supérieure, de sables dunaires, tandis que la partie inférieure est composée de formations argilo-évaporitiques, créant ainsi le toit imperméable de la nappe sous-jacente du complexe Terminal. La nappe phréatique peut atteindre une profondeur de 80 mètres, ce qui diffère d'une zone à l'autre. Elle s'étend sur environ 54 mètres du sud de la zone d'étude jusqu'à la région de Guemmar, puis diminue vers le nord pour atteindre une vingtaine de mètres au nord de la zone d'étude. (DRE)

Dans certaines parties de la vallée, cette nappe a posé un problème à l'environnement et à l'agriculture.

III.3.2. Nappe du complexe terminal (CT)

C'est une nappe à plusieurs canapés. Les trois couches de CT dans la région sont les couches des sables d'âge Mio-pliocène et Pontien, pontien, tandis que la dernière est celle des calcaires d'âge Sénono-Éocène.

❖ Nappe de sable :

- **Nappe Mio-pliocène** : Les sables captifs sous les orverts imperméables forment des réservoirs constituant cette couche d'état de Mio-Pliocène. Ils sont composés de sables argileux, argileux, marneux et gitan, avec des profondeurs allant de 180 à 400 mètres. La nappe sous-jacente est constituée d'un substrat argileux, similaire à la nappe calcaire du Complexe Terminal.
- **Nappe du Pontien** : Théâtre Pontien (Eocènes supérieur) est la deuxième nappe de zibeline, qui se trouve entre la première et la nappe de calcaires. Elle est profonde de 400 à 600 mètres. Quelques forages dans la région de Hamraia, Reguiba et Hassi Khalifa captent cette dernière. (DRE)

NB : Dans la région du Souf, plus de 60 forages exploitent les sables et graviers du Pontien.

❖ **Nappe des calcaires (Éocène et Sénonien) :**

Il s'agit d'une nappe non sollicitée, sa structure géologique n'est pas intendante. Elle est constituée de formation calcaire datant de l'éocène inférieur. Le fil supérieur est en contact avec l'éocène moyen composé d'argile lagunaire et fil inférieur en contact avec le sénonien lagunaire composé d'évaporites et d'argile (Éocène moyen à sénonien carbonaté). Deux niveaux rigides identifiables classent des eaux souterraines, il y a un banc de nature calcaire et un autre composé de calcaires gypseux et poudingues. Au-dessus de ces deux bancs, on retrouve les sables grossiers et graviers siliceux du Pontien.

Dans cette région, le niveau hydrostatique de la nappe CT varie de 10 à 60 mètres en fonction des zones. Le débit extrait pour cette nappe à la fin de l'année 1998 est de 78 Hm³.

III.3.3. Nappe du continentale intercalaire (CI)

Les formations continentales du Crétacé inférieur sont donc désignées par CT. Située entre deux cycles sédimentaires, cette période est marquée par une régression marine suivie d'une transgression du Crétacé supérieur. L'intervalle stratigraphique entre la base du Trias et le sommet de l'Albien est occupé par le continental intercalaire, qui est le plus grand aquifère. Sa lithologie est principalement composée de sables et de grès, parfois argileux. Son mur et son toit sont composés d'épaisses couches d'argile qui lui confèrent le caractère captif. Les formations du Crétacé inférieur (Albien et Barrémien) contiennent le réservoir du Continental intercalaire. Elle est profonde entre 1600 et 2000 mètres. On peut atteindre une épaisseur utile de 900 m.

Cette nappe revêt une grande importance en raison de son volume important, qui se traduit par une extension considérable (600 000 km²) et une épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. Ce système aquifère présente un grand intérêt en fournissant de grandes quantités d'eau de qualité supérieure par rapport à la nappe précédente. Aujourd'hui, cet aquifère est utilisé pour fournir de l'eau potable aux villes et pour irriguer les zones agricoles.

Trois forages sont utilisés pour exploiter cette nappe dans la région du Souf, dont deux pour l'approvisionnement en eau potable et le 3eme pour l'irrigation. Le débit d'exploitation par forage est de 200 litres par seconde. Les eaux de la nappe de CI ont une température extrêmement élevée, pouvant atteindre 60 °C. (DRE)

III.4. Technique de forage

Le terme "technique de forage" désigne les techniques et les procédés employés pour percer le sol ou la roche afin d'extraire des ressources comme l'eau, le pétrole, le gaz naturel ou les minéraux. Selon les conditions géologiques, ces techniques diffèrent selon la profondeur de forage, le type de matériau à traverser et l'objectif spécifique du forage. Le forage rotatif, le forage percussion, le forage à circulation inversée, le forage horizontal dirigé et le forage à la boue sont les techniques de forage les plus fréquentes. Chaque approche possède ses propres bénéfices, contraintes et applications particulières et est choisie en fonction des exigences du projet et des particularités du site.

III.4.1. Forage rotary

Le forage rotary est le procédé le plus couramment utilisé, il a notamment fait ses preuves dans le domaine de la recherche pétrolière.

Un outil (trépan) monté au bout d'une ligne de sonde (tiges vissées les unes aux autres) est animé d'un mouvement de rotation de vitesse variable et d'un mouvement translation verticale sous l'effet d'une partie du poids de la ligne de sonde ou d'une pression hydraulique.

Le mouvement de rotation est transmis au train de tiges et à l'outil par un moteur situé sur la machine de forage en tête de puits. Les tiges sont creuses et permettent l'injection de boue au fond du forage.

Légende :

1. Réservoir de boue 2. Shakers de schiste 3. Ligne d'aspiration (pompe à boue) 4. Pompe à boue 5. Moteur ou source d'alimentation 6. Tuyau vibrant 7. Dessins (girlandes) 8. Stoppe 9. Kelly tuyau 10. Bec-de-oie 11. Bloc de voyage 12. Ligne de forage 13. Bloc couronne 14. Derrick 15. Plateau de singe 16. Stand (de tuyau de forage) 17. Râtelier à tuyaux (étage) 18. Pivotant (Sur les plates-formes plus récentes, cela peut être remplacé par un lecteur supérieur) 19. Kelly drive 20. Table rotative 21. Plancher de forage 22. Bell mamelon 23. Préventeur d'éclatement (BOP) Annulaire 24. Pare-soufflage (BOP) vérin de tuyau et vérin de cisaillement 25. Drill string 26. Bêtise 27. Tête de boîtier 28. Ligne de débit

III.4.2. Fonctionnement de l'appareille forage rotary

La technique forage rotary consiste à utiliser la rotation d'un outil de forage afin de creuser un trou dans le sol. L'appareil de forage rotatif est composé de divers éléments essentiels :

1. Le trépan est l'instrument qui entre en contact direct avec le sol et le découpe afin de créer le trou. Il y a plusieurs sortes de trépan selon la nature du sol à forer.
2. Les tiges de forage sont utilisées pour connecter le trépan à la table de rotation et diffuser la rotation vers le trépan. En général, elles sont réalisées en acier et peuvent varier en termes de longueur.
3. La rotation de la table : elle est responsable de la rotation des tiges de forage et du trépan. Le moteur qu'elle utilise est électrique ou hydraulique.
4. Le moufle se compose d'une série de poulies et de câbles qui facilitent la levée et la dépose des tiges de forage et du trépan.
5. La boue de forage est une substance liquide qui est introduite dans le trou de forage afin de lubrifier le trépan, de refroidir la zone de forage et d'éliminer les débris.

Son Fonctionnement :

Le début du forage consiste à descendre le trépan dans le trou de forage en utilisant le moufle, un appareil de levage. Après l'installation, la table de rotation est mise en marche, ce qui entraîne la rotation du trépan. Entre-temps, le trépan est maintenu contre le fond du trou par la pression de la boue de forage, ce qui garantit un forage efficace. Le trépan, muni de dents ou d'inserts en carbure, écrase le sol ou la roche au fur et à mesure de sa rotation, ce qui permet de creuser progressivement le trou de forage. Le trépan est remonté à la surface avec le moufle

lorsqu'il est usé ou inefficace et remplacé par un nouveau trépan. Ce processus de remplacement est renouvelé jusqu'à ce que la profondeur désirée soit atteinte, garantissant ainsi succès de l'opération de forage.

III.5. Equipement du forage

1. Le trépan : est un instrument qui entre en contact direct avec le sol et le découpe afin de créer le trou. Il y a plusieurs types de trépan selon la nature du terrain.



Figure III.3 : Trépan tricône typique, neuf.



Figure III.4 : Un trépan usé.

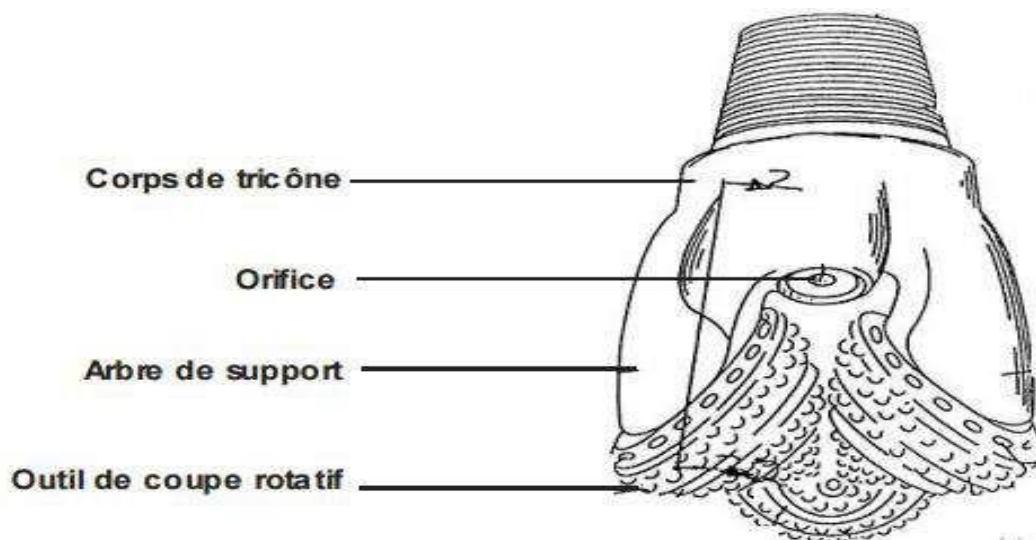


Figure III.5 : Schéma d'un tricône.

2. Les tiges de forage : sont utilisées pour connecter le trépan à la table de rotation et diffuser la rotation vers le trépan. En général, elles sont réalisées en acier et peuvent varier en termes de longueur.



Figure III.6 : tige de forage de la marque APAGEO.

3. Table rotative : Elle est responsable de la rotation des tiges de forage et du trépan. Le moteur qu'elle utilise est électrique ou hydraulique.

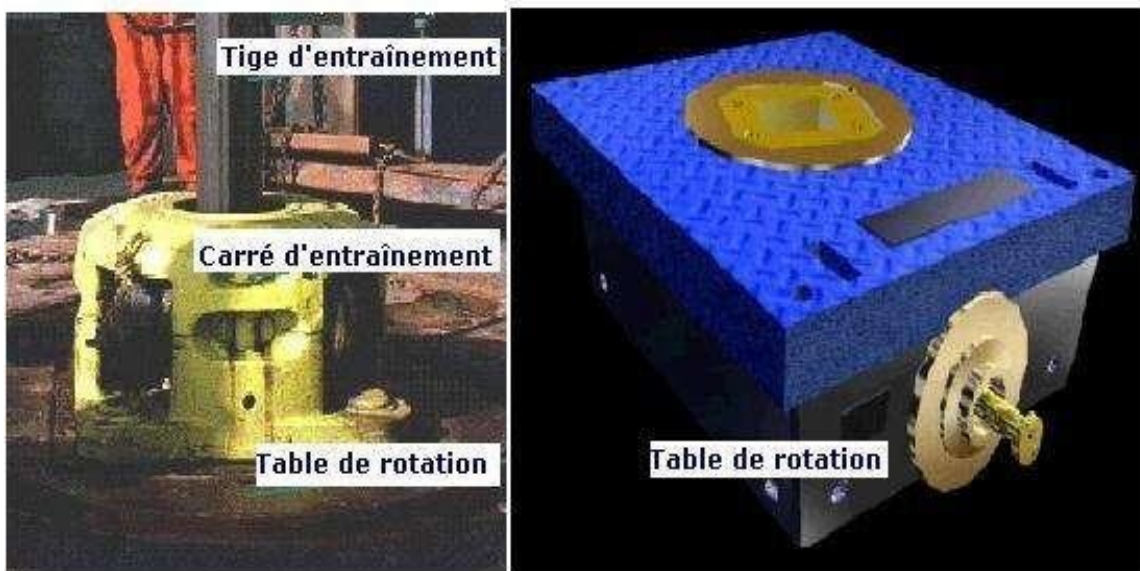


Figure III.7 : table de rotation.

4. Le moufle : est un dispositif qui comprend des poulies et des câbles qui permettent de faire monter et descendre les tiges de forage ainsi que le trépan.

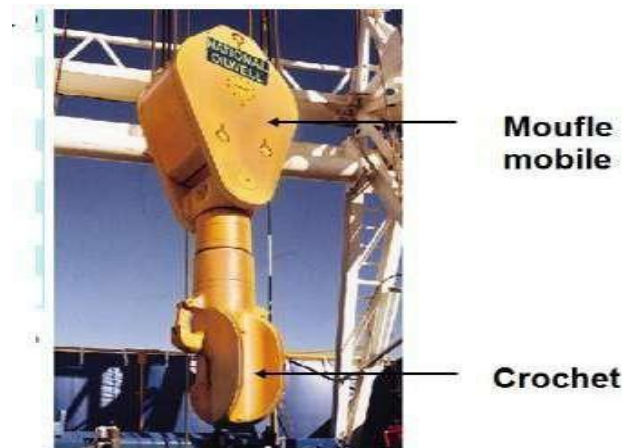


Figure III.8 : une moufle mobile.

5. La boue de forage est utilisée pour lubrifier le trépan, refroidir la zone de forage et évacuer les débris au niveau du trou foré.

En plus de ces éléments clés, il est possible d'ajouter d'autres équipements à un forage rotary en fonction de la complexité du terrain ou de la profondeur visée. Par exemple, on peut mentionner :

- Un derrick est un ensemble de treillis métalliques qui assure le support et la direction des tiges de forage.
- Un système de circulation de la boue : Ce système permet l'introduction de la boue fraîche dans le trou et d'évacuer la boue contaminée en surface.

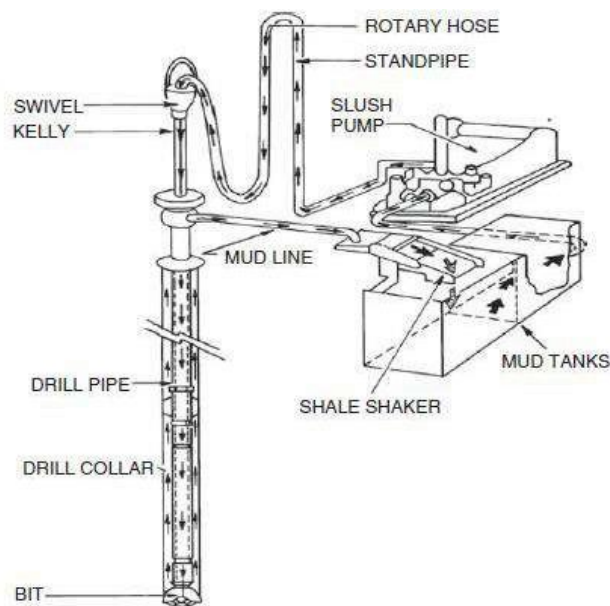


Figure III.9 : schéma explicative de système de circulation de la boue.

- Un compresseur d'air : utilisé dans le cas d'un forage rotatif à air comprimé.



Figure III.10 : un compresseur d'air.

III.5.1. Installation du chantier de forage

L'installation du chantier de forage rotatif est une phase essentielle pour assurer la sécurité et l'efficacité du processus de forage. Cette étape comprend plusieurs phases importantes à considérer dans le chantier :

- Choix de la plateforme : La sélection du site de forage est cruciale pour diverses raisons. L'accessibilité revêt une importance capitale afin de faciliter l'accès aux camions et aux engins de construction sur le site. En outre, il est nécessaire que l'espace disponible soit suffisant pour supporter le matériel de forage et les installations auxiliaires. Il est également essentiel que le sol soit stable afin de supporter le poids du matériel de forage, tandis que les aspects environnementaux doivent être pris en considération afin de réduire au minimum l'impact sur l'environnement local.
- Mise en place du site : Avant d'installer le matériel, il est nécessaire de préparer le site de forage. Cela nécessite de niveler le terrain afin de garantir la stabilité du matériel, de dégager la zone de tout obstacle et éventuellement de mettre en place des fondations pour renforcer la stabilité, en particulier sur des sols instables.

- Mise en place du matériel de forage : Différentes parties essentielles du matériel de forage Rotary sont incluses, notamment la machine de forage, le trépan, les tiges de forage, la table de rotation, l'unité d'alimentation et le système de circulation de la boue. Il est crucial d'avoir ces équipements afin de réaliser le trou de forage et de maintenir le processus de forage.
- Mise en service et évaluation : Avant de commencer le forage, il est nécessaire de mettre en service et de tester le matériel afin de vérifier son bon fonctionnement et d'ajuster les paramètres si besoin. Cela aide à assurer une opération de forage performante et sûre.
- Sécurité : L'importance de la sécurité est primordiale lors du forage Rotary. Il est nécessaire de mettre en œuvre des mesures de sécurité, comme la mise en place de clôtures de sécurité, la création d'un plan d'urgence et la formation du personnel afin de prévenir les accidents et de préserver la santé des employés.

En résumé, la mise en place du chantier de forage rotary nécessite une série d'étapes essentielles afin de garantir le succès et la sécurité de l'opération de forage, tout en réduisant au minimum les conséquences sur l'environnement et en respectant les normes de sécurité.

III.6. Données générales sur la nappe du continental intercalaire

<<Albien>>

Les ressources sont mobilisées à partir de forage du complexe intercalaire artésien situé au niveau de la commune de Djamaa. L'alimentation en eau potable est assurée par un forage pour le chef-lieu de la commune dont les caractéristiques sont les suivantes :

Tableau III.2 : les caractéristiques de forage.

	Coordonnées			Prof (m)	Niveau Statique	Niveau Dynamique	Débit Mobilisé (l/s)	Débit Exploité (l/s)	HMT (m)	Date Mise En Service
	X	Y	Z							
Albien Djamaa	5°58'55"	33°32'54"	43	1839	/	/	130	468	Artésien	1984

Tableau III.3 : les caractéristiques de la nappe (ADE,2016).

Caractéristiques	Valeurs
Profondeur	1839 mL
Epaisseur moyenne	400 m
Epaisseur utile	320 m
Porosité	12%
Granulométrie	Nappe de calcaire
Niveau statique	Artésien : 15 bars
Débit moyen attendu	150 l/s
Température moyenne	57 °C
Salinité des eaux	2 000 mg/l

Tableau III.4 : Caractéristique de l'exploitation (ADE,2016).

Caractéristiques	Valeurs
Débit d'exploitation	180 l/s
Température	57 °C
Écartement entre les puits	2 000 ml

Tableau III.5 : Caractéristique de refroidisseur (ADE,2016).

Caractéristiques	Valeurs
Type de réfrigérant	Préfabriqué
Nombre des cellules	2
Hauteur de la tour	9,45 m
Hauteur de l'entrée d'eau	8,45 m
Nombre des ventilateurs	2
Capacité du bassin	1 000 m ³
Débit a refroidir	1 667 m ³ /h
Température de l'eau	60 °C
Température de l'eau refroidie	< 30 °C

III.7. Conclusion

La mise en place d'un forage est une tâche complexe, car il est essentiel de bien le réaliser en utilisant la technique de forage appropriée et en respectant les étapes de réalisation. Cela constitue la première étape vers une exploitation et une gestion améliorée de cet ouvrage. Ainsi, une conception adéquate d'un forage simplifie le suivi et le diagnostic des pannes et des dysfonctionnements ultérieurement.

Chapitre IV :
QUALITE DES EAUX

IV.1. Introduction

L'eau joue un rôle crucial dans la survie de la planète, jouant un rôle essentiel dans la santé des êtres humains, la diversité biologique et le bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Toutefois, en raison de la croissance de l'urbanisation et de l'activité industrielle, la qualité de nos ressources en eau est devenue une véritable préoccupation. Ce travail aborde l'importance de surveiller et de préserver la qualité des eaux, en soulignant les principaux éléments polluants et les approches de gestion durable pour préserver cette ressource précieuse.

IV.2. Qualité des eaux potables

La qualité de l'eau est un enjeu majeur de santé publique et de développement durable, car une eau de mauvaise qualité peut causer des maladies, des perturbations écologiques et des coûts économiques importants.

IV.2.1. L'indice de qualité des eaux souterraines (GWQI)

Il s'agit d'une méthode cruciale pour évaluer la qualité des eaux souterraines et leur capacité à être consommées. On définit le GWQI comme une méthode d'évaluation qui offre une évaluation globale de l'impact de divers paramètres de qualité de l'eau sur la qualité globale de l'eau destinée à la consommation humaine. L'évaluation de l'impact des activités naturelles et humaines sur la qualité de l'eau (GWQI) a été réalisée en utilisant différents paramètres chimiques des eaux souterraines.

The Ground Water Quality Index a été largement employé pour évaluer la qualité des eaux souterraines, ce qui en fait un outil très précieux pour transmettre des informations sur la qualité globale de l'eau. La qualité de l'eau varie considérablement en fonction du type et de la quantité de sels dissous. Ces sels sont d'origine naturelle.

IV.2.2. Méthode de calcul d'indice GWQI

Le calcul du GWQI se déroule en trois étapes. Tout d'abord, chaque paramètre reçoit un poids (w_i) en fonction de son impact sur la qualité globale de l'eau. Le paramètre nitrate, crucial dans cette évaluation, peut recevoir un poids maximal de 5.

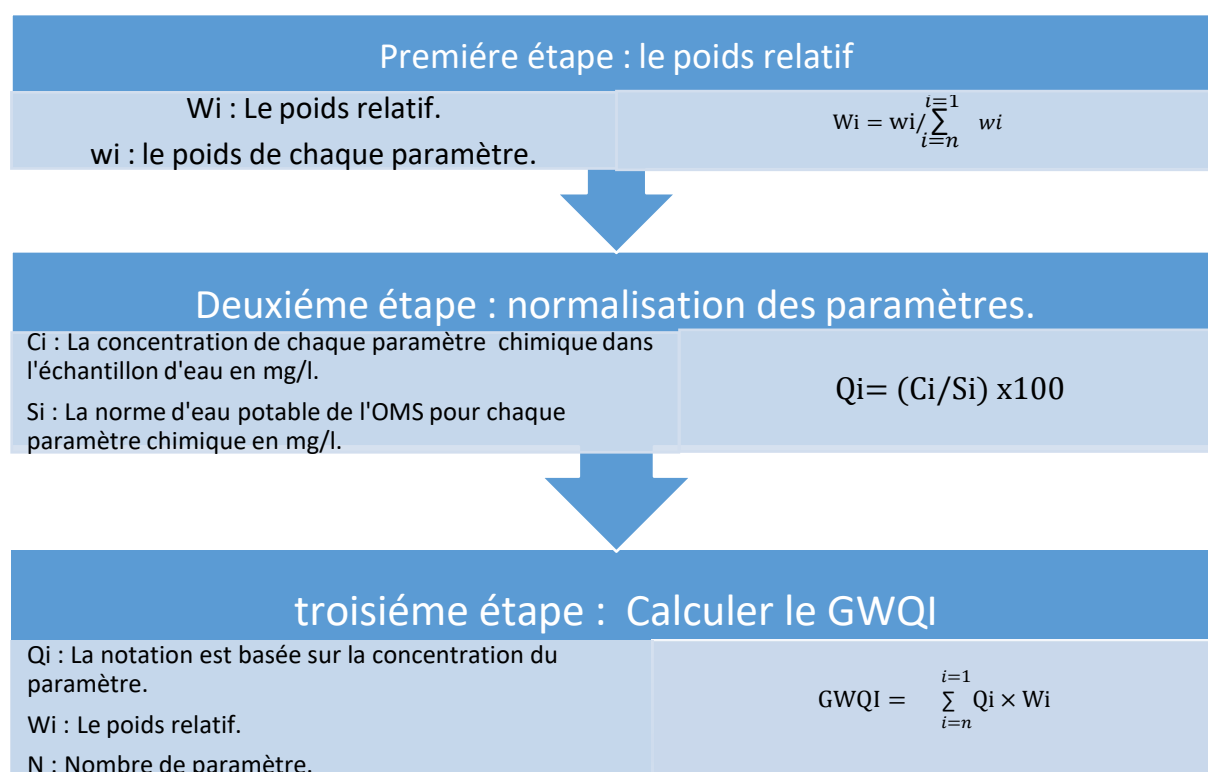


Figure IV.1 : Les étapes de calcul l'indice (GWQI).

Tableau IV.1 : qualité des eaux souterraines selon (GWQI.)

Class indice	Type d'eau
< 50	Excellent
50-100	Bonne
100-200	Médiocre
200-300	Très Médiocre
300 <	Non Potable

IV.3. Paramètre des eaux naturelles

La qualité de l'eau dans son environnement naturel est évaluée en utilisant des paramètres d'eau naturelle tels que la température, le pH, la conductivité, les concentrations d'oxygène, les nutriments, les métaux lourds et les polluants organiques, avec des normes établies qui évaluent leur impact sur la qualité des eaux.

IV.3.1. Qualités chimiques de l'eau

1. Calcium :

- Définition : Un minéral essentiel pour la formation et la santé des os et des dents, ainsi que pour la coagulation sanguine, la fonction musculaire et nerveuse.
- Impact sur la santé : Le calcium est vital pour maintenir la densité osseuse et prévenir l'ostéoporose. Il est également nécessaire pour la transmission nerveuse et la contraction musculaire.

2. Magnésium :

- Définition : Un minéral nécessaire au fonctionnement de nombreuses enzymes, à la santé des os, au contrôle de la pression artérielle et à la régulation du taux de sucre dans le sang.
- Impact sur la santé : Le magnésium joue un rôle crucial dans de nombreuses réactions biochimiques, contribuant à la santé cardiaque, musculaire et nerveuse. Un déficit peut causer des crampes musculaires et des problèmes cardiovasculaires.

3. Sodium :

- Définition : Un électrolyte présent dans le sel de table et essentiel à l'équilibre hydrique, à la pression sanguine et à la fonction nerveuse.
- Impact sur la santé : Une consommation excessive de sodium peut augmenter la pression artérielle et augmenter le risque de maladies cardiovasculaires. Cependant, il est nécessaire à de nombreuses fonctions corporelles.

4. Potassium :

- Définition : Un électrolyte important pour l'équilibre hydrique, la fonction nerveuse et musculaire, ainsi que pour le maintien de la pression artérielle.
- Impact sur la santé : Le potassium aide à réguler la pression artérielle, à maintenir un rythme cardiaque régulier et à prévenir les crampes musculaires. Une carence peut entraîner des problèmes cardiaques et musculaires.

5. Chlorure :

- Définition : Un anion essentiel pour l'équilibre électrolytique, la digestion (comme composant de l'acide chlorhydrique dans l'estomac) et le maintien de la pression osmotique.

- Impact sur la santé : Le chlorure est nécessaire à l'équilibre acido-basique, à la digestion et à la régulation de la pression osmotique. Son excès ou sa carence peut perturber ces fonctions.

6. Sulfate :

- Définition : Un anion présent dans divers composés, important pour la formation de protéines, le métabolisme des glucides et la détoxification.
- Impact sur la santé : Le sulfate contribue à de nombreux processus biologiques, notamment la production d'énergie, la synthèse des protéines et la désintoxication. Son rôle précis dans la santé humaine est complexe.

7. Bicarbonate :

- Définition : Un ion impliqué dans la régulation du pH sanguin et la neutralisation des acides dans le corps.
- Impact sur la santé : Le bicarbonate aide à maintenir l'équilibre acido-basique du corps. Des niveaux inadéquats peuvent entraîner des déséquilibres acido-basiques, affectant le fonctionnement des organes.

8. Nitrate et Nitrite :

- Définition : Des composés azotés présents dans l'eau, les aliments et l'environnement, utilisés comme additifs alimentaires et impliqués dans divers processus biologiques.
- Impact sur la santé : Les nitrates et nitrites sont impliqués dans le métabolisme de l'azote et peuvent être convertis en composés potentiellement toxiques. Une exposition excessive peut être liée à des problèmes de santé, notamment des risques pour la santé cardiovasculaire.

9. Phosphate :

- Définition : Un ion essentiel à la formation des os et des dents, au métabolisme énergétique et à la régulation des enzymes.
- Impact sur la santé : Le phosphate est crucial pour la santé osseuse et la production d'énergie cellulaire. Des déséquilibres peuvent affecter la santé osseuse et le métabolisme.

10. Zinc :

- Définition : Un oligo-élément important pour le système immunitaire, la croissance, la cicatrisation des plaies, le métabolisme et la fonction cognitive.

- Impact sur la santé : Le zinc est nécessaire à de nombreuses fonctions corporelles, notamment la réponse immunitaire, la croissance cellulaire et la régulation hormonale. Un déficit peut entraîner des problèmes de santé divers.

11. Aluminium :

- Définition : Un métal présent dans de nombreux produits et environnements, utilisé dans l'industrie et certains médicaments.
- Impact sur la santé : L'exposition à des niveaux élevés d'aluminium peut être toxique pour le système nerveux et est associée à des maladies comme la maladie d'Alzheimer. Cependant, à des niveaux normaux, il n'est généralement pas nocif.

12. Magnésite :

- Définition : Un minéral composé principalement de carbonate de magnésium, utilisé dans l'industrie et parfois en médecine.
- Impact sur la santé : La magnésite en tant que minéral n'est généralement pas utilisée directement pour la santé humaine, mais elle peut être impliquée dans divers processus industriels et chimiques. Son impact spécifique sur la santé dépend de son utilisation et de son exposition.

IV.3.2. Qualités physico-chimiques de l'eau :

- Température : Les variations saisonnières de température peuvent affecter les eaux de surface, entraînant la croissance de micro-organismes, des goûts désagréables et une augmentation de la couleur et de la turbidité. Selon la revue officielle des normes de l'eau de la République algérienne, l'eau est de qualité excellente lorsque la température se situe entre 20 et 22 °C. ([JORA, 2014](#)).
- Potentiel Hydrogène (pH) : Le pH est une mesure de l'acidité ou de la basicité d'une solution, basée sur la concentration en ions hydrogène (H^+). Plus le pH est bas, plus la solution est acide ; plus le pH est élevé, plus la solution est basique (ou alcaline). Sur une échelle de 0 à 14, le PH est neutre si sa valeur est égale à 7, en dessous de cette valeur il est acide ; et au-dessus le PH est basique. Cette mesure est utilisée en chimie, en biologie et en médecine pour évaluer les propriétés des substances et influencer les réactions chimiques et biologiques.
- Conductivité électrique : La conductivité des eaux potables est inversement liée à la concentration en sels minéraux dissous, exprimée en $\mu S/cm$. Il permet d'apprécier le degré

de minéralisation de l'eau, où la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. Les classifications en fonction de la conductivité sont : eau déminéralisée ($0.05\mu\text{S}/\text{cm}$), eau de pluie ($10\text{-}80\ \mu\text{S}/\text{cm}$), eau peu minéralisée ($80\text{-}100\ \mu\text{S}/\text{cm}$), eau moyennement minéralisée ($300\text{-}500\ \mu\text{S}/\text{cm}$), eau saline ($1000\text{-}3000\ \mu\text{S}/\text{cm}$), et eau de mer ($3000\ \mu\text{S}/\text{cm}$).

Tableau IV.2 : Classification des eaux selon la conductivité électrique (Rodier, 2005).

Type d'eau	Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Résistivité
Eau pure	< 23	>30000
Eau douce peu minéralisée	100 à 200	5000 à 10000
Eau de minéralisation Moyenne	250 à 500	2000 à 40000
Eau très minéralisée	1000 à 20000	400 à 1000

- Turbidité : La turbidité est une caractéristique optique de l'eau qui provoque la diffraction ou l'absorption de la lumière par des particules en suspension, plutôt que sa transmission directe. Elle est généralement causée par des substances en suspension et des particules colloïdales naturelles, telles que les acides humiques, les particules de dégradation des plantes ou les déchets organiques provenant de l'industrie, de l'agriculture et des zones urbaines. La turbidité est l'opposé de la limpidité.
- Dureté totale (TH) : La dureté d'une eau, également appelée titre hydrotimétrique, est une mesure qui est liée à la concentration totale des ions calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+} (ions alcalino-terreux). La dureté est principalement causée par les ions calcium et magnésium, avec parfois l'ajout d'ions fer et aluminium. Cette concentration est exprimée en milliéquivalents de CaCO_3 . On la donne également fréquemment en degrés français.

Tableau IV.3 : Classification des eaux selon la dureté totale (Berne et al. 1991) [4]

TH en degrés français (°F)	Spécificité de l'eau
0 à 6	Eau très douce
6 à 15	Eau douce

Suite tableau de classification des eaux selon la dureté totale
(Berne et al. 1991).

TH en degrés français (°F)	Spécificité de l'eau
15 à 30	Eau moyennement dure
30 à plus	Eau très dure

- L'odeur : est causée par la présence de substances organiques ou inorganiques, comme les algues, les bactéries, les produits chimiques ou les minéraux, qui entraînent l'odeur de l'eau. À titre d'exemple, une sensation de chlore peut suggérer une concentration élevée de désinfectant dans l'eau, tandis qu'une sensation de soufre peut suggérer la présence de bactéries qui réduisent le sulfate. Il y a des odeurs qui peuvent être désagréables, mais qui ne présentent pas forcément de danger pour la santé.
- La couleur : Il existe différents facteurs qui peuvent influencer la couleur de l'eau, comme la présence de substances en suspension, de minéraux, de métaux ou de matières organiques. On considère généralement que l'eau est claire et incolore, tandis qu'une eau trouble ou colorée peut signaler la présence de contaminants. Par exemple, une eau jaune ou brune peut renfermer des tanins issus de la décomposition de matières végétales, tandis qu'une eau verte ou bleue peut renfermer des algues ou des cyanobactéries.

IV.4. Analyse physico-chimique de l'eau de forage

La connaissance des caractéristiques physicochimique de l'eau est indispensable pour se prononcer sur sa qualité, pour cela une analyse physico-chimique de cette eau au laboratoire a été réalisée, lorsque la concentration des différents paramètres dépasse les normes maximales admissibles, l'eau a des conséquences nocives sur la santé publique.

Tableau IV.4 : Effet de l'excès des différents paramètres sur la santé des humains.

Paramètres	Normes	Effets
PH	6,5-8,5	PH basique diminue l'efficacité de la désinfection
T	25°C	Élevée, favorise la croissance microbienne
Chlore	0,2-0,6 mg/l	>1 peut entraîné des effets cancérigènes
Turbidité	5 NTU	Protège les micro-organismes contre la désinfection
Nitrates	50 mg/l	Risque de méthémoglobinémie infantile
Nitrites	0,1 mg/l	Risque de méthémoglobinémie infantile
Azotes	0,5 mg/l	Développement des bactéries génératrices de mauvais goût

Suite de tableau effet de l'excès des différents paramètres sur la santé des humains.

RS	2000 mg/l	Goût désagréable
Magnésium	150 mg/l	Combiné au SO ₄ génère goût
Dureté TH	500 mg/l CaCO ₃	Diminue l'infarctus du myocarde
Sodium	250 mg/l	A concentration élevée gêne les hypertendus, hypertension, des problèmes cardiaque
Potassium	15 mg/l	Entraîne goût
Chlorures	600 mg/l	Saveur désagréable, effet laxatif
Sulfates	400 mg/l	Trouble gastro-intestinaux
Aluminium	0,2 mg/l	Désordre neurologique
Cuivre	1 mg/l	Saveur désagréable
Fer	0,3 mg/l	Saveur désagréable, favorise le développement des bactéries
Manganèse	0,5 mg/l	Saveur désagréable, favorise le développement des bactéries
Cadmium	0,05 mg/l	Maladies d'ITAI ITAI
Chrome	0,05 mg/l	Nécrose du foie, néphrite
Cyanures	0,05 mg/l	Peuvent être mortels à une dose élevée
Fluorures	1,5 mg/l	Altération dentaire et fluorose du squelette
Plomb	0,05 mg/l	Saturnisme

Tableau IV.5 : Analyse d'eau brute interprété en code de couleur.

Paramètres Organique	Unité	Eau Brute	Norme Algérienne
Couleur	mg/l platine	200	15
Odeur a 25°C	Taux dilution	20	4
Saveur a 25°C	Taux dilution	-	4
SDI	mg/l platine	1893,99	-
Concentration en ion hydrogéné	PH	7,13	>6,5 et < 9
Conductivité a 25°C	S/cm	2604	2800
Température	°C	60	25
Turbidité	NTU	0,5	5
TDS	mg/l	1600	100
Résidu sec à 105°C	mg/l	1849,2	2000
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	0,04	0,5
Nitrites (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,03	0,2
Phosphore (P)	mg/l	-	5
Calcium (Ca ²⁺)	mg/l	232	200
Magnésium (Mg ²⁺)	mg/l	95,95	60
Dureté totale (TH)	mg/l CaCO ₃	741	500
Sodium (Na ⁺)	mg/l	222,5	200
Potassium (K ⁺)	mg/l	35,96	12
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	420,65	500
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/l	654,2	400
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/l	0,38	50
Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	mg/l CaCO ₃	130	65

Hydrogénocarbonate (HCO_3^-)	mg/l	231,85	300
La légende :	Très mauvais	Moyennement Mauvais	Acceptable

IV.5. Interprétation des résultats :

D'après les données du Tableau IV 5, on remarque que :

- Certains éléments ont des concentrations très élevés surtout SO_4^{2-} et Na^{2+} , ce qui donne à l'eau le goût salé et la rend de moindre qualité.
- La salinité des eaux des forages est comprise entre 1000 à 5000 mg/l ce qui implique que cette eau est classifiée saumâtre.
- Pour la minéralisation vue la conductivité des eaux analysées, on peut dire que cette eau à une forte minéralisation.
- La température de l'eau est très élevée ce qui implique que les eaux ne peuvent pas être consommées qu'après être refroidies. Elle peut également être un facteur qui contribue à l'accroissement de l'entartrage des conduites.

IV.6. Conclusion

L'analyse des résultats obtenus a montré que les eaux concernées par cette étude ne peuvent être utilisées pour l'approvisionnement en eau potable (AEP), un traitement s'avère nécessaire avant distribution aux consommateurs. Ce traitement doit être rigoureux et adapté afin d'éliminer les contaminants identifiés et garantir la sécurité sanitaire de l'eau distribuée.

Chapitre V :

Les différentes techniques de déminéralisation des eaux

V.1. Introduction

Le processus de déminéralisation de l'eau joue un rôle crucial dans de multiples secteurs, allant de la production d'eau potable à l'industrie chimique. Les méthodes de déminéralisation ont pour objectif d'éliminer les ions minéraux présents dans l'eau, comme le calcium, le magnésium, le sodium et le chlorure, qui peuvent avoir, à des concentrations élevées, des conséquences néfastes sur les processus industriels, les équipements et même sur la santé humaine.

V.2. Définition de la déminéralisation

La déminéralisation de l'eau consiste à faire disparaître les ions minéraux de l'eau, comme le calcium, le magnésium, le sodium et le chlorure. Dans certains cas, ces ions minéraux peuvent présenter des conséquences néfastes, car ils peuvent engendrer des problèmes tels que l'entartrage des équipements, la dégradation de la qualité de l'eau potable, ou encore des réactions indésirables dans les fabrications. De cette manière, la déminéralisation permet d'obtenir de l'eau sans ou avec une concentration diminuée de ces ions, en fonction des exigences particulières de l'application en question.

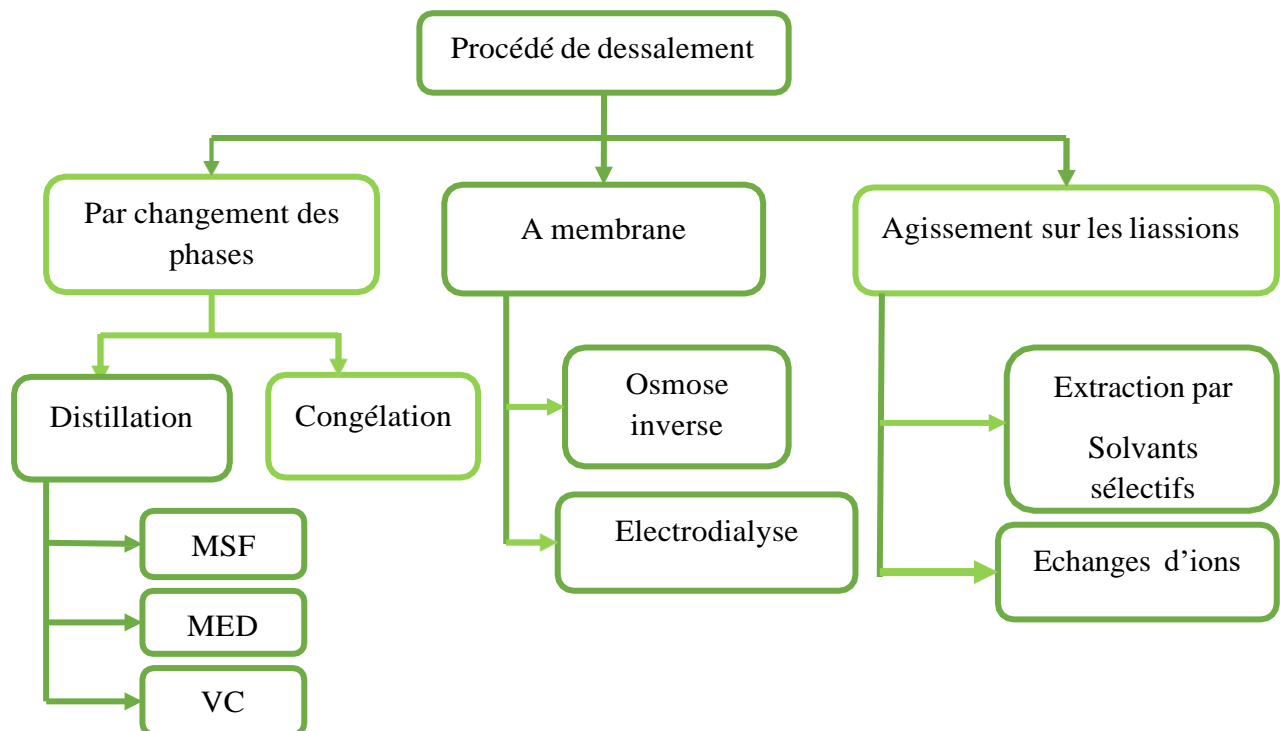


Figure V.1 : Principales techniques de déminéralisation.

V.3. Les différentes techniques et procédés de déminéralisation

La déminéralisation de l'eau est un processus de traitement qui permet d'éliminer les ions minéraux dissous dans l'eau, tels que le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, le chlore et les sulfates. Ces ions minéraux peuvent affecter la qualité de l'eau en provoquant des dépôts de tartre, en altérant le goût et l'odeur de l'eau, en obstruant les canalisations et en réduisant l'efficacité des équipements industriels. Il y a plusieurs méthodes et techniques pour déminéraliser l'eau, chacune présentant ses propres avantages et inconvénients en fonction des besoins et des applications.

V.3.1. Procédés de déminéralisation par changement de phase

Les procédés de déminéralisation par changement de phase sont des méthodes de traitement de l'eau qui utilisent des changements de phase pour éliminer les ions minéraux dissous dans l'eau. Ces procédés comprennent la distillation et la congélation.

V.3.1.1. La distillation

La distillation est un procédé de déminéralisation de l'eau qui consiste à chauffer l'eau pour produire de la vapeur, puis à la condenser pour obtenir de l'eau pure. Les impuretés et les ions minéraux sont laissés derrière lorsque l'eau est transformée en vapeur. Cette technique est efficace pour éliminer les impuretés volatiles et non volatiles de l'eau, mais elle est coûteuse et énergivore. Il existe trois types de distillation :

- **Distillation MSF (Flash Multi-Stage) :** Il s'agit d'un processus qui consiste à chauffer l'eau de mer à différentes températures et pressions à travers une série d'étapes. À chaque étape, l'eau s'évapore de manière rapide (éclair) lorsque la pression baisse. Par la suite, on condense la vapeur d'eau afin d'obtenir de l'eau douce.

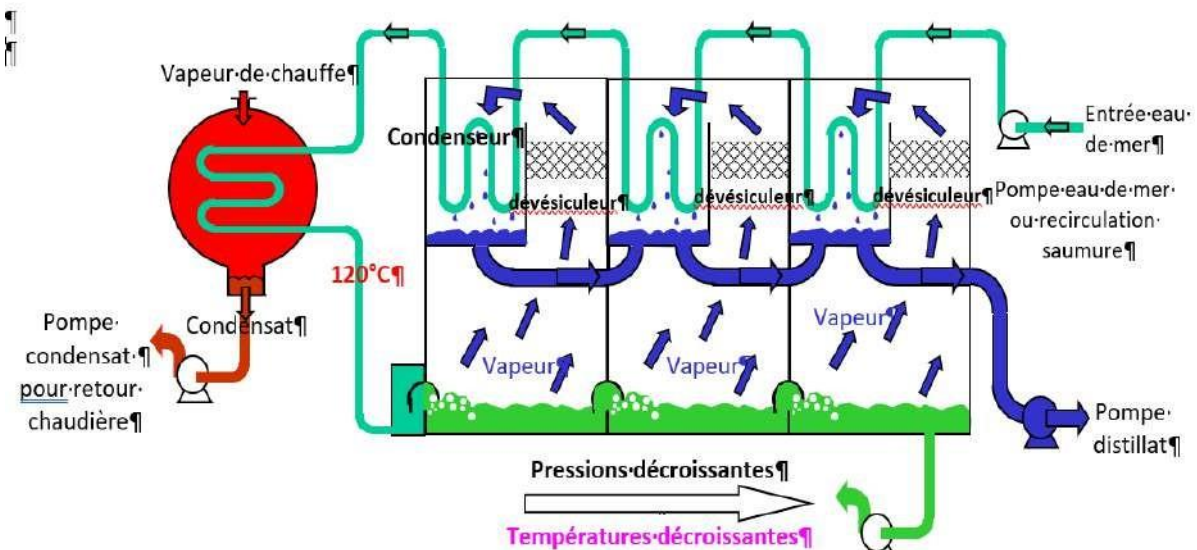


Figure V.2 : Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) (le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres publié par Viviane Renaudin, en 18/11/2003).

- Distillation MED (Distillation à plusieurs effets) : Au cours de cette procédure, l'eau de mer est chauffée à travers différentes étapes (unités de distillation). La température et la pression de chaque effet varient, ce qui permet à l'eau de s'évaporer à chaque étape. Entre les effets, l'énergie thermique est réutilisée afin d'améliorer l'efficacité du processus.

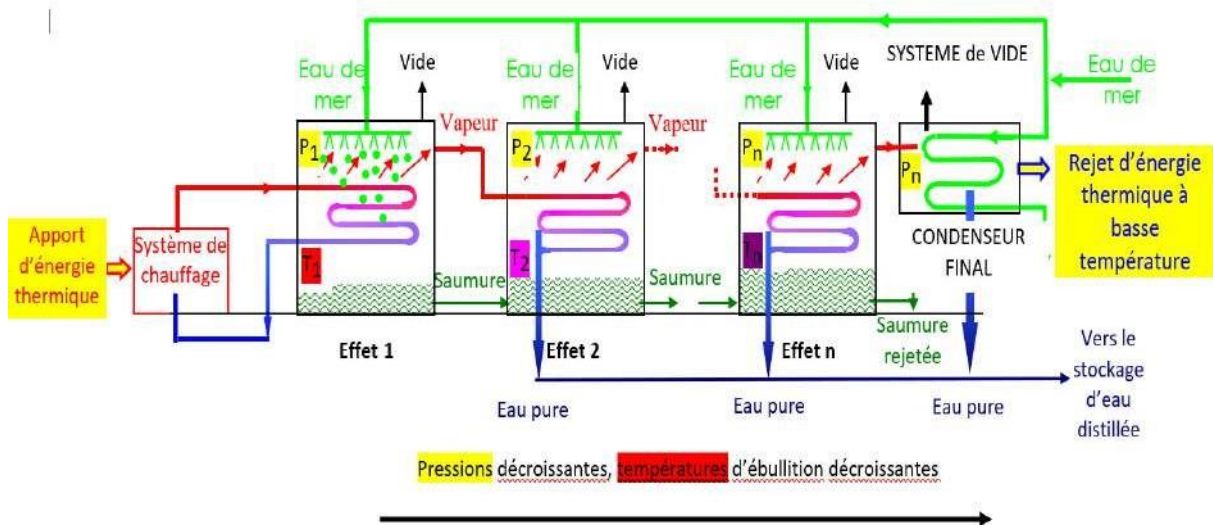


Figure V.3 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED) (le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres publié par Viviane Renaudin, en 18/11/2003).

- La distillation sous vide (VC – Distillation sous vide) : Ce procédé fait appel au vide afin de diminuer la pression à laquelle l'eau se déverse. Cela favorise l'évaporation de l'eau à des températures bien inférieures à la normale, ce qui peut diminuer la consommation énergétique. Le procédé sous vide est fréquemment associé à d'autres méthodes de dessalement.

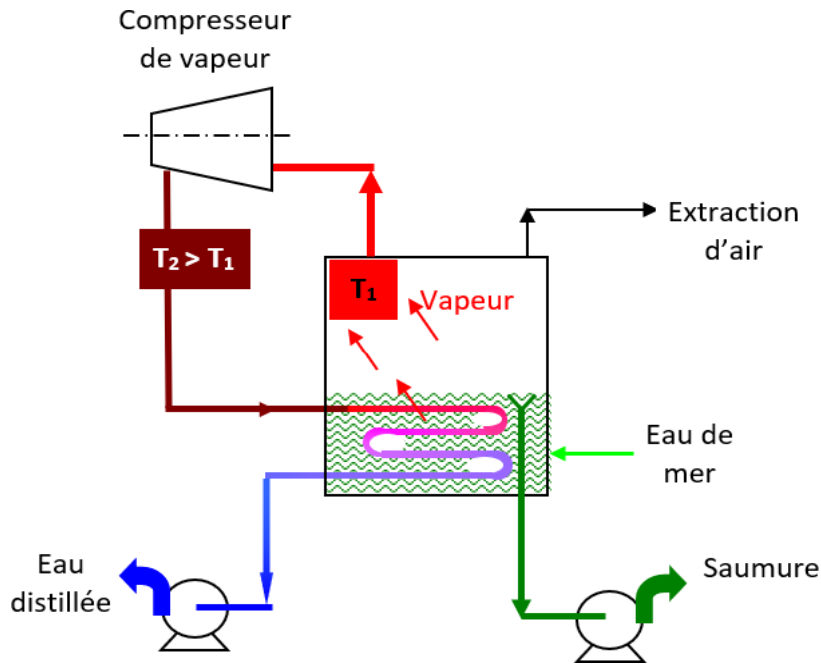


Figure V.4 : Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur (le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres publié par Viviane Renaudin en 18/11/2003).

Tableau V.1 : Caractéristiques des techniques de dessalement s'appuyant sur la distillation.

	Distillation multi-flash (MSF)	Distillation a multiples effets (MED)	Compression mécanique de vapeur
Température de fonctionnement (°C)	<120	<70	<70
Pression (bar)	2	0,25 - 0,4	0,7 - 1
Prétraitement de l'eau	Nécessaire	Nécessaire	Nécessaire
Capacité de traitement (m ³ /j)	5 000 - 60 000	500 - 12 000	10 - 2 500
Principale source d'énergie	Thermique	Thermique	mécanique (via électricité)
Consommation thermique (KWh/m ³)	3,5	1,5	8 - 14

Suite de tableau caractéristiques des techniques de dessalement s'appuyant sur la distillation.

Salinité de l'eau brute (g/l)	30 - 100	30 - 100	30 - 50
Salinité de l'eau traitée (mg/l)	<10	<10	<10
Impact sur l'environnement	Saumure 10% plus salée et 2,8°C que l'eau de mer	Saumure 50% plus salée	Tambours de l'eau blessent les poissons
	Fonds marins peu oxygénés	Eau très peu oxygénée	
	Destruction de certains organismes	Floculant toxique à fortes concentrations	
Risque de corrosion	moyen	Faible	Faible

V.3.1.2. La congélation

La congélation est un procédé de déminéralisation de l'eau qui utilise le principe de la cristallisation fractionnée. Lorsque l'eau est refroidie à une température inférieure à son point de congélation, les cristaux de glace qui se forment sont purs et ne contiennent pas d'ions minéraux. Les ions minéraux sont concentrés dans la solution restante, qui peut être éliminée. Cette technique est efficace pour éliminer les ions minéraux de l'eau de mer ou saumâtre.

V.3.2. Procédés de déminéralisation à membranes

Le traitement de l'eau par déminéralisation à membranes est une technique de traitement de l'eau qui utilise des membranes semi-perméables afin de séparer les ions minéraux et les impuretés de l'eau. On utilise fréquemment ces méthodes pour obtenir de l'eau de grande pureté dans différentes industries et applications. En raison de leur efficacité énergétique, de leur compacité et de leur facilité d'utilisation, les procédés à membranes sont devenus la méthode prédominante pour la déminéralisation.

V.3.2.1. L'osmose Inverse

L'osmose inverse est considérée comme l'un des moyens les plus performants pour la déminéralisation à membranes. Les ions et les molécules indésirables de l'eau sont séparés par une membrane semi-perméable. La pression externe force l'eau à traverser la membrane, tandis que les ions et les contaminants sont retenus. Cela offre la possibilité d'obtenir de l'eau déminéralisée de grande qualité avec une concentration minimale en minéraux.

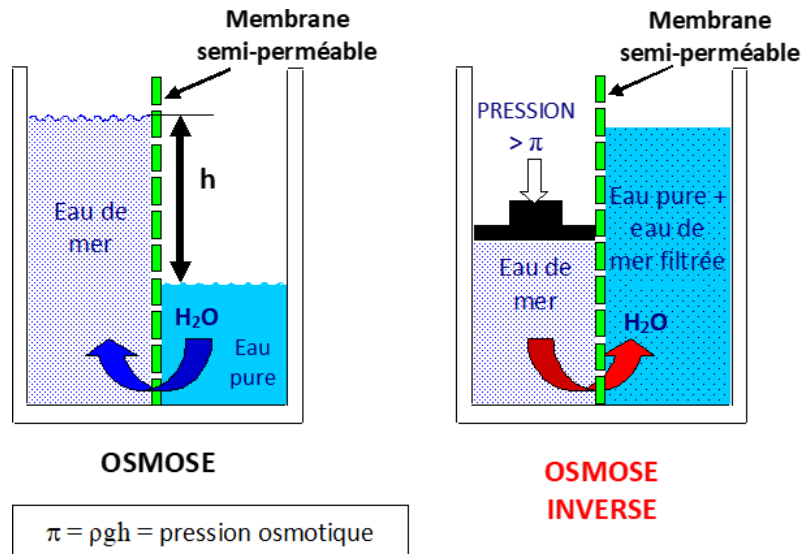
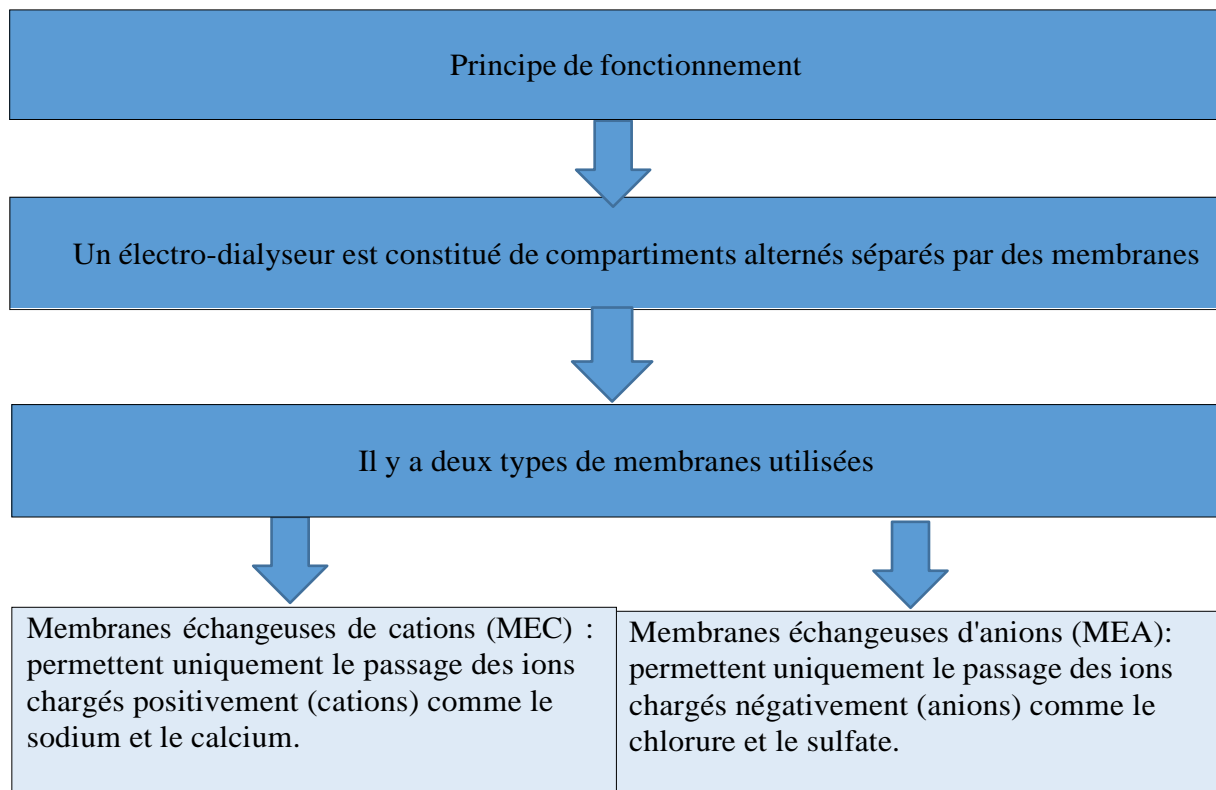


Figure V.5 : le principe de fonctionnement de l’osmose.

V.3.2.2. L’électrodialyse

Le processus d’électrodialyse consiste à déminéraliser l’eau en utilisant un courant électrique afin de séparer les ions minéraux de l’eau. Des électrodes de charge opposée attirent les ions minéraux et les séparent de l’eau. Cette méthode est performante dans la suppression des ions minéraux présents dans l’eau salée ou saumâtre.



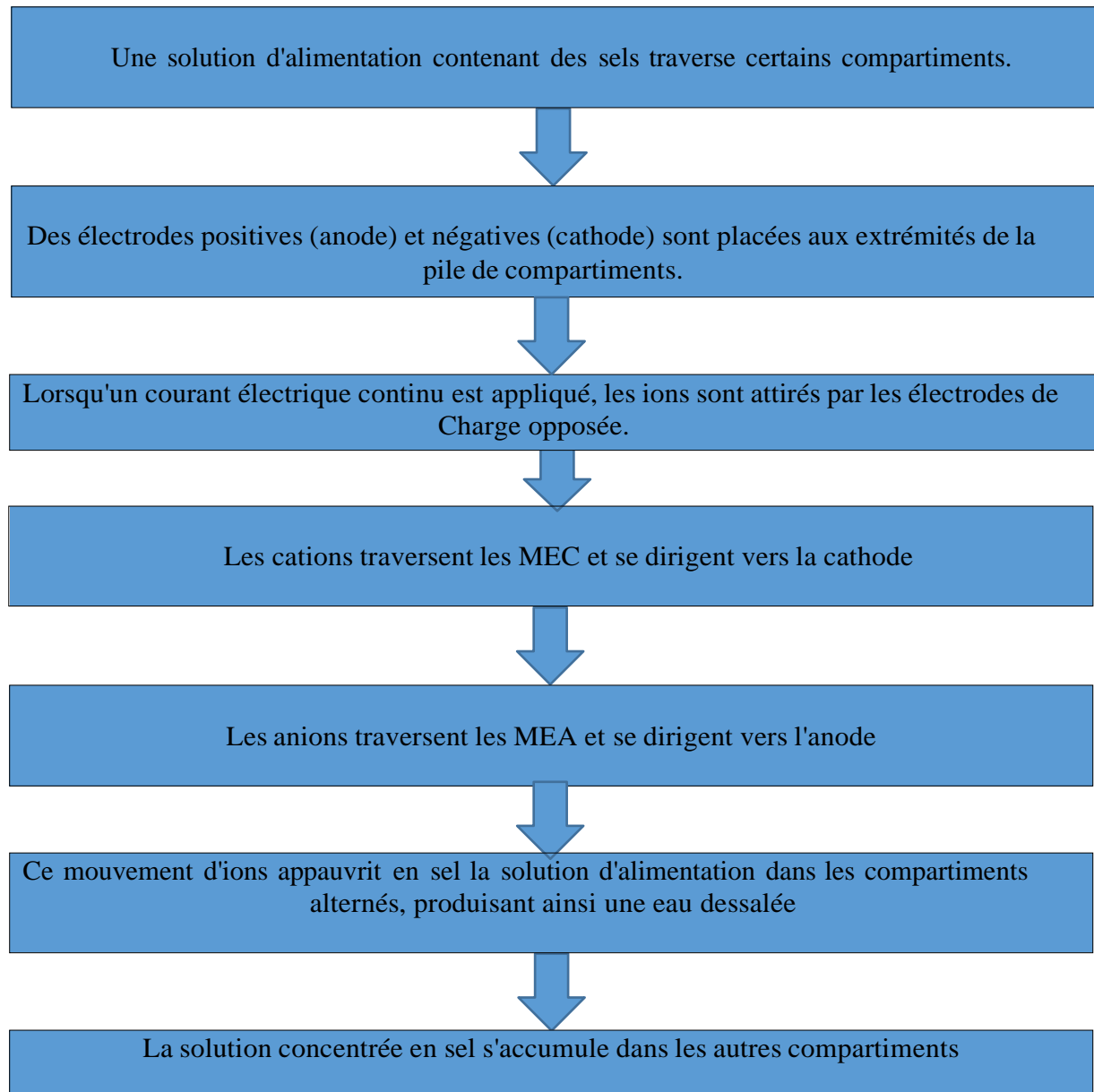


Figure V.6 : Schéma explicative de fonctionnement de l'électrodialyse.

V.3.3. Procédés de déminéralisation agissant sur les liaisons

Les procédés de déminéralisation agissant sur les liaisons sont des méthodes de traitement de l'eau qui utilisent des réactions chimiques pour éliminer les ions minéraux dissous dans l'eau en brisant les liaisons chimiques entre les ions. Ces procédés comprennent la précipitation chimique et l'échange d'ions.

V.3.3.1. Extraction par solvants sélectifs

La déminéralisation de l'eau par extraction par solvants sélectifs consiste à utiliser des solvants organiques pour extraire sélectivement les ions minéraux dissous dans l'eau. Cette méthode est aussi appelée extraction liquide-liquide ou extraction solvant.

L'extraction par solvants sélectifs consiste en l'emploi d'un solvant organique mélangé à l'eau non traitée. Les ions minéraux dissous dans l'eau sont sélectivement transférés dans le solvant organique en raison de leur affinité pour le solvant. Le solvant organique est ensuite séparé de l'eau et traité pour récupérer les ions minéraux.

Cette méthode est fréquemment employée afin de supprimer les ions métalliques lourds comme le plomb, le mercure et le cadmium de l'eau. Il a aussi la capacité de supprimer les ions de nitrate et de phosphate de l'eau.

V.3.3.2. L'Échange d'ions

L'échange d'ions est un procédé de déminéralisation de l'eau qui utilise des résines échangeuses d'ions pour remplacer les ions minéraux indésirables dans l'eau par des ions hydrogène et hydroxyde. Les résines échangeuses d'ions sont des matériaux synthétiques qui contiennent des groupes fonctionnels chargés négativement ou positivement. Les ions minéraux indésirables sont attirés par les groupes fonctionnels chargés et remplacés par des ions hydrogène ou hydroxyde. Cette technique est couramment utilisée pour produire de l'eau déminéralisée de haute qualité pour les applications industrielles et pharmaceutiques.

DEMINERALISATION PROCESS/ ION-EXCHANGE PROCESS

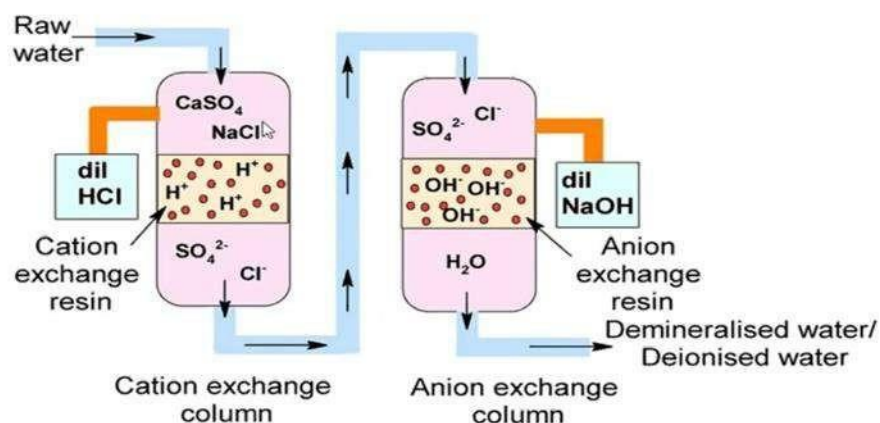


Figure V.7 : Schéma explicatif de fonctionnement de l'échange des ions.

V.4. Comparaison entre les différentes techniques de déminéralisation

La déminéralisation de l'eau joue un rôle crucial dans de multiples domaines tels que l'industrie, la vie quotidienne et même la santé. Elle contribue à diminuer la quantité de minéraux et d'autres impuretés, ce qui améliore la qualité de l'eau et sa compatibilité avec différentes utilisations.

Tableau V.2 : Récapitulatif générale sur les différentes techniques de déminéralisation.

Technique	Principe de fonctionnement	Avantages	Inconvénients	Applications
Échange d'ions (EI)	Utilise des résines échangeuses d'ions pour capturer et retenir les ions minéraux de l'eau.	<ul style="list-style-type: none"> - Fonctionnement simple et flexible - Adaptable à différentes eaux d'alimentation - Production d'une eau de haute qualité 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût des résines échangeuses d'ions - Sensibilité aux impuretés organiques - Nécessite une régénération périodique des résines 	Déminéralisation de l'eau pour une large gamme d'utilisations, notamment l'eau potable, l'industrie pharmaceutique, l'agroalimentaire et la production d'énergie.
Osmose inverse (OI)	Utilise une pression élevée pour forcer l'eau salée à travers une membrane semi-perméable, laissant derrière elle les sels.	<ul style="list-style-type: none"> - Très efficace pour éliminer une large gamme de sels - Production d'une eau de très haute qualité - Fonctionnement relativement simple 	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation d'énergie élevée - Coût des membranes - Sensibilité à l'encrassement des membranes 	Dessalement de l'eau de mer et production d'eau déminéralisée pour des applications industrielles et domestiques exigeantes.
Électrodialyse (ED)	Utilise un courant électrique et des membranes échangeuses d'ions pour séparer les ions minéraux de l'eau.	<ul style="list-style-type: none"> - Économique en énergie pour les eaux à faible salinité - Fonctionnement simple - Adaptable à différentes eaux d'alimentation 	<ul style="list-style-type: none"> - Moins efficace que l'OI pour les eaux à forte salinité - Coût des membranes - Sensibilité aux impuretés organiques 	Déminéralisation de l'eau saumâtre pour l'agriculture, l'industrie agroalimentaire et l'eau potable.
Distillation	Fait bouillir l'eau pour produire de la vapeur, qui est ensuite condensée pour former de l'eau pure, laissant derrière elle les sels.	<ul style="list-style-type: none"> - Technologie mature et fiable - Production d'une eau de haute qualité 	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation d'énergie élevée - Coût élevé des installations - Encombrement important 	Dessalement de l'eau de mer et production d'eau déminéralisée à petite échelle.

Suite de tableau récapitulatif générale sur les différentes techniques de déminéralisation.

Congélation	Congèle l'eau salée, formant de la glace pure et concentrant les sels dans la saumure résiduelle.	- Production d'une eau de très haute qualité - Fonctionnement simple	- Consommation d'énergie élevée - Processus lent - Encombrement important	Applications spécialisées nécessitant une eau déminéralisée de qualité exceptionnelle, comme la production de médicaments et de réactifs analytiques.
-------------	---	---	---	---

V.5. Les stations de déminéralisation en Algérie

En Algérie, les stations de déminéralisation se trouvent principalement dans le sud du pays et sont utilisées pour traiter l'eau des nappes phréatiques, qui présentent une minéralisation élevée et une température élevée. Le procédé d'osmose inverse est principalement employé dans les stations de déminéralisation, car il est le plus couramment utilisé en Algérie en raison de sa simplicité et de son coût. Les stations sont spécialement élaborées pour gérer des quantités d'eau brute allant de 3 000 à 27 000 m³/jour.

Au sud de l'Algérie, les stations de déminéralisation des eaux saumâtres (SDES) ont une capacité totale de 91,5 hm³ par an. Le volume total de débit utilisé en amont dépasse les 428,9 hm³ par an. On peut observer la situation suivante (Dr Bourouga, 2015 [10]) :

- Dans le cadre de l'étude, il y a 06 stations (Tamanrasset 4 ; El Oued 2), parmi lesquelles quatre SDES ont été étudiés (El Oued 2 et Tamanrasset 2).
- Analyse et mise en œuvre : une station (Béchar).
- En cours de construction : 12 stations (Ouargla 10 ; El Oued et Tamanrasset (ADE) 2).
Lancement des travaux : deux stations à l'indicatif de l'ADE (Tindouf et Illizi).
- Les SDES Monoblocs sont installés dans 15 stations (El Oued), dont une est terminée et mise en service, tandis que 14 autres sont en cours d'installation.

Tableau V.3 : Caractéristiques des stations de déminéralisation des eaux à Ouargla
(Algérienne des Eaux,2019).

Nom de la station	Capacité d'eaux brutes (m ³ /j)	objectif d'eaux traitées (m ³ /j)	Nombre d'habitant servie moyenne de 150 l/j/hab	Forages
GHARBOUZ (S1)	3000	2250	15000	2
AIN EL KHEIR (S2)	9000	6750	45000	5
HAI BOUZID (S3)	4500	3375	22500	3
MEKHADMA (S4)	3000	2250	15000	3
IFRI-GARA (S5)	10500	7850	52333	4
ZYAYNA (S6)	3000	2250	15000	2 (1 Albien)
EL KHAFDI (S7)	7500	5625	37500	3
BAMENDIL VILLAGE (S8)	3000	2250	15000	2
EL HADEB (S9)	27000	20250	135000	3 (1 Albiens)
Total	70500	52850		27

V.6. Les stations de déminéralisation de la wilaya d'El oued

Les informations spécifiques sur les stations de déminéralisation de la wilaya d'El Oued

- Station de déminéralisation de l'eau potable de la ville d'El-Oued (30.000 m³ /jour) (ANIREF, 2019).
- Station de déminéralisation la commune de Djamaa :

- mise en service en 2017.

-approvisionne la commune et des localités environnantes.

- Technologie : Osmose inverse

-Capacité de production : 34 500 m³/jour

-Source d'eau brute : Eaux saumâtres provenant de la nappe phréatique

-Produits : Eau potable conforme aux normes algériennes de l'eau potable

-Exploitant : AMENHYD SPA et DEISA

V.7. Choix de la technique la plus convenable

La déminéralisation de l'eau est essentielle dans de nombreux secteurs tels que l'industrie, la vie quotidienne et même la santé. Elle favorise la réduction de la teneur en minéraux et autres impuretés, ce qui améliore la qualité de l'eau et sa compatibilité avec diverses utilisations.

V.7.1. Choix technique

Le choix de la méthode de déminéralisation la plus appropriée doit être fait en fonction des besoins particuliers, des contraintes et des objectifs du projet. Plusieurs éléments influencent cette décision, tels que la qualité de l'eau de source, le niveau de déminéralisation nécessaire, le débit d'eau requis, les coûts d'installation et d'exploitation, la durabilité de la méthode et son impact sur l'environnement. Il est donc essentiel de prendre en compte tous ces facteurs lors de la sélection technique pour la déminéralisation de l'eau, afin d'assurer une solution efficace, économique et durable.

Tableau V.4 : Les différentes techniques de déminéralisation en termes de performances techniques.

Technique	Avantages	Inconvénients
Osmose inverse (OI)	Très efficace pour les eaux à forte salinité (eau de mer)	Consommation d'énergie élevée
		Coût des membranes élevé
	Production d'une eau de très haute qualité	Sensibilité à l'encrassement des membranes
Congélation	Production d'une eau de très haute qualité	Consommation d'énergie très élevée
	Fonctionnement simple	Processus lent
		Encombrement important
Distillation	Technologie mature et fiable	Consommation d'énergie élevée
	Production d'une eau de haute qualité	Coût élevé des installations
		Encombrement important
Électrodialyse (ED)	Économique en énergie pour Les eaux à faible salinité	Moins efficace que l'OI pour les eaux à forte salinité
	Fonctionnement simple	Coût des membranes
	Adaptable à différentes eaux d'alimentation	Sensibilité aux impuretés organiques
Échange d'ions (EI)	Fonctionnement simple et flexible	Coût des résines échangeuses d'ions
	Adaptable à différentes eaux d'alimentation	Sensibilité aux impuretés organiques
	Production d'une eau de haute qualité	Nécessite une régénération périodique des résines

V.7.2. Choix économique

L'objectif est de mesurer les dépenses liées à chaque méthode et de les comparer aux bénéfices économiques qu'elles offrent. Il convient de considérer les dépenses liées à l'installation, à l'exploitation et à la maintenance, ainsi que les dépenses indirectes telles que les dépenses énergétiques et les dépenses environnementales. Il est donc essentiel de prendre en considération ces éléments lors de la prise de décision économique et de déterminer la méthode qui se révèle la plus rentable à long terme. Il est tout aussi crucial de prendre en compte les économies potentielles découlant de l'utilisation d'une eau déminéralisée de qualité supérieure, comme la diminution des frais de maintenance des équipements et l'amélioration de l'efficacité des procédés. La prise de décision économique est donc une étape essentielle qui requiert une analyse minutieuse et une prise de décision éclairée.

Tableau V.5 : Les différentes techniques de déminéralisation en termes d'implications économiques.

Technique	Investissement initial	Coût d'exploitation	Durée de vie
Osmose inverse (OI)	Élevé	Élevé (énergie, membranes)	Longue
Congélation	Très élevé	Très élevé (énergie)	Moyenne
Distillation	Élevé	Élevé (énergie)	Longue
Électrodialyse (ED)	Moyen	Moyen (énergie, membranes)	Longue
Échange d'ions (EI)	Moyen	Moyen (résines, énergie)	Moyenne

V.8. Conclusion

En conclusion, le choix de la technique de déminéralisation la plus convenable dépend d'une analyse approfondie des besoins spécifiques selon nos précédentes données ; notre choix se porte sur l'osmose inverse pour sa disponibilité sur le marché et une capacité à produire une eau de très bonne qualité.

Chapitre VI :
Procédé de déminéralisation par Osmose Inverse

VI.1 Présentation de la station

Pour résoudre les problèmes de qualité d'eau dans la région, il est essentiel de mettre en place une station de déminéralisation de l'eau potable. C'est pourquoi le projet consiste à installer une station de traitement des eaux de forage (saumâtres) pour fournir à l'utilisateur une eau aux normes requises. Il est prévu d'installer la station à Djamaa (El Oued) dans le but d'améliorer la qualité de l'eau distribuée aux habitants de la région de Djamaa.

La capacité de cette station sera de traiter 685 m³/h afin de générer 639 m³/h d'eau traitée, tout en réduisant la salinité de l'eau de 2700 mg/l à 714 mg/l grâce à la méthode d'osmose inverse.

Au-delà de l'amélioration de la qualité de l'eau, la station est équipée d'un système de refroidissement des eaux qui l'alimentent à partir d'une nappe albienne à plus de 1839m de profondeur, afin de réduire leur température de 60°C à 25°C. Cela permettra d'améliorer la qualité de l'eau et d'éviter la corrosion des canalisations du réseau de distribution de l'eau potable.

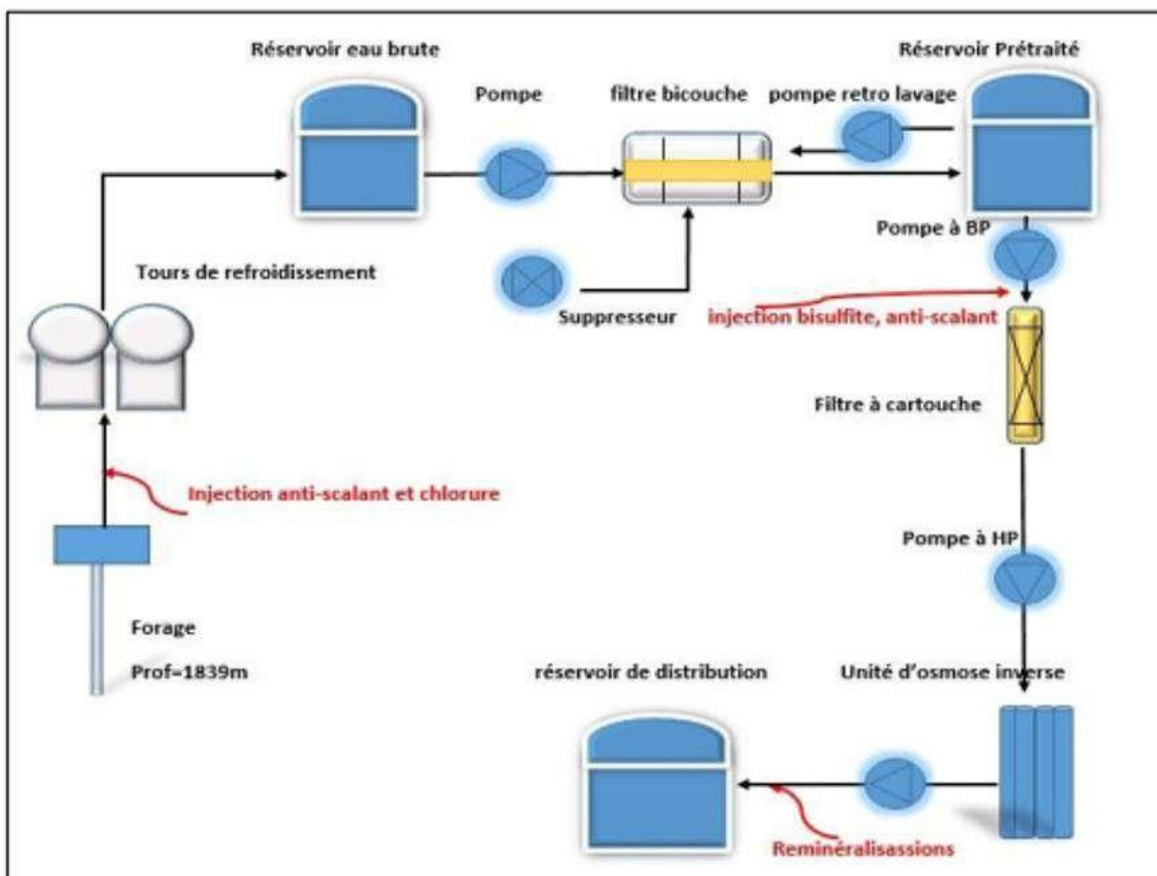


Figure VI.1 : Les étapes de la station de déminéralisation par osmose inverse.

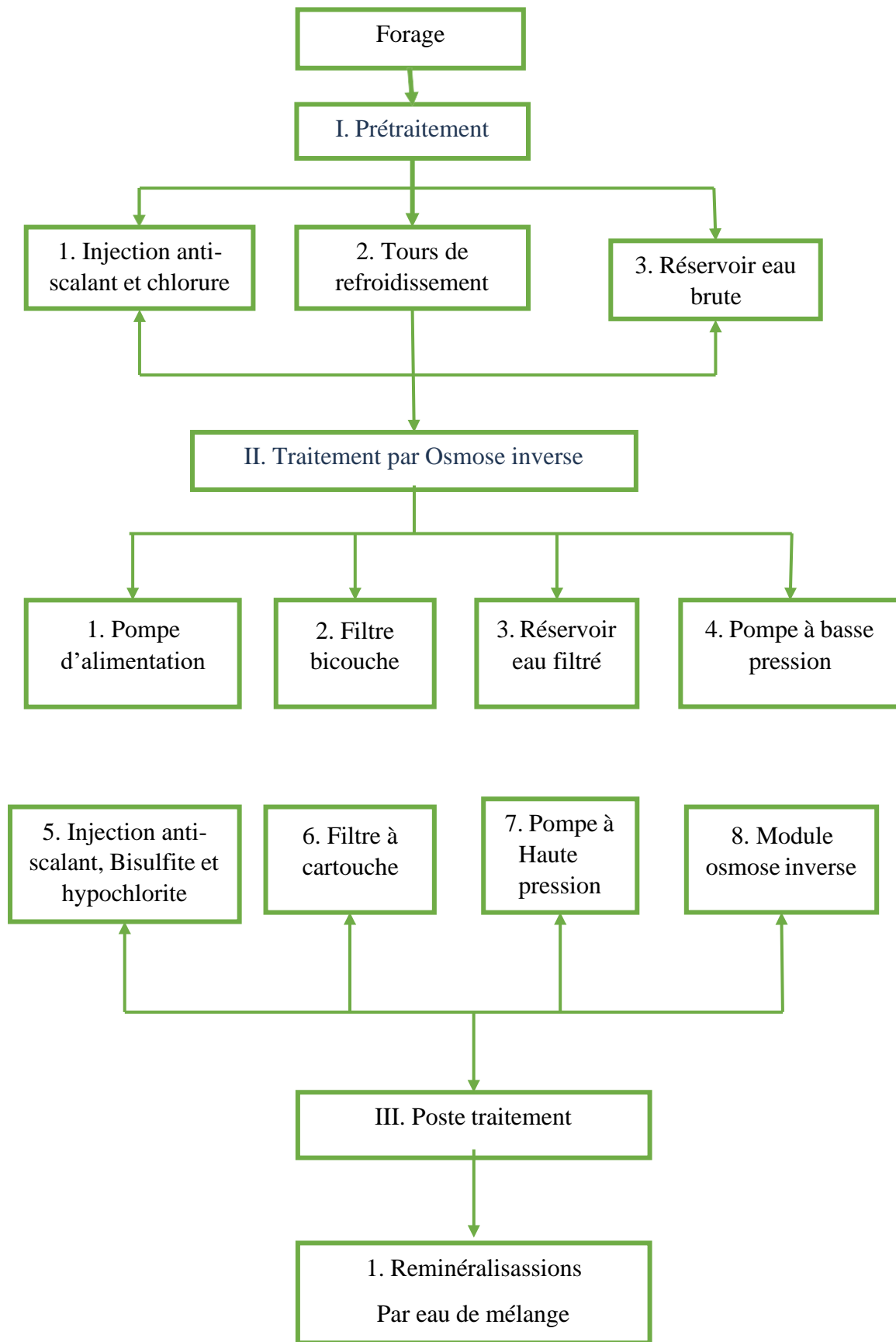


Figure VI.2 : Principe de technique de la station de déminéralisation.

VI.2 Prétraitement

La technique du prétraitement chimique implique l'injection de produits chimiques au niveau du point de rencontre de la conduite de type PRV. Un collecteur en fibre de verre relié directement au forage permet d'accéder à l'eau brute de la station. Il est nécessaire d'injecter un séquestrant avant de débiter le processus de refroidissement, afin d'éviter l'accumulation d'entartrage à l'intérieur des conduites et des équipements. Il existe deux types de produits chimiques.

- Anti-scalant
- L'acide chlorique



Figure VI.3 : Une conduite de Polyester Renforcé en Verre.

Le but de la mise en place de ces produits est de diminuer le risque de dégradation des équipements de la station en raison de la corrosion et de la formation ou du dépôt de tartre. Les accumulations de tartre ont un impact important sur le bon fonctionnement des systèmes de dessalement :

- ❖ Réduction de la section de passage.
- ❖ Dégradation des états de surface.
- ❖ Par leur très forte adhérence, les tartres mènent à une constance de débit.

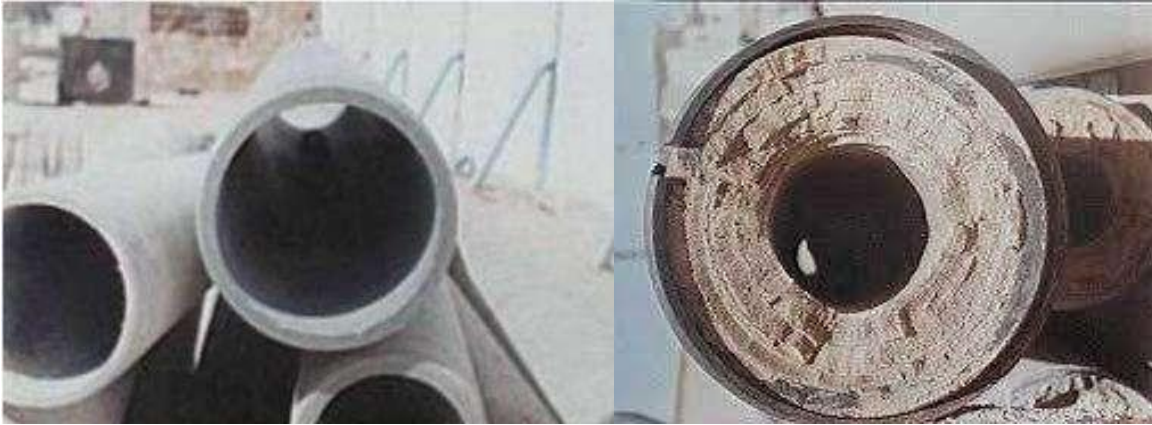


Figure VI.4 : Intérieur d'une conduite avant et après l'entartrage.

VI.2.1. Prétraitement chimique

Le prétraitement chimique est une étape cruciale dans de nombreux processus de traitement de l'eau, y compris la déminéralisation. Il s'agit d'un ensemble de procédés chimiques appliqués à l'eau brute avant le traitement principal, dans le but d'améliorer l'efficacité de ce dernier et de prolonger la durée de vie des équipements de traitement.

VI.2.1.1. Dimensionnement la conduite (forage)

Dimensionnement de la conduite de forage :

On a :

$$Q = V \times S \quad (\text{VI.1})$$

Débit (Q): 660 m³/h

Vitesse (V): 1,5 m/s

$$\text{Section (S): } S = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (\text{VI.2})$$

$$Q = V \times \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}} \quad (\text{VI.2})$$

$$D = 0,39458 \text{ m} = 400 \text{ mm}$$

VI.2.1.2. Injection de produit chimique (Anti-scalant et Chlorure ferrique) avant tour de refroidissement

Dans les tours de refroidissement, il est fréquent d'injecter des substances chimiques comme les anti-scalants et le chlorure ferrique afin d'éviter la formation de tartre, la corrosion et la croissance biologique. La présence de ces substances chimiques est essentielle pour assurer l'efficacité et la durabilité des tours de refroidissement.

➤ Anti-scalant :

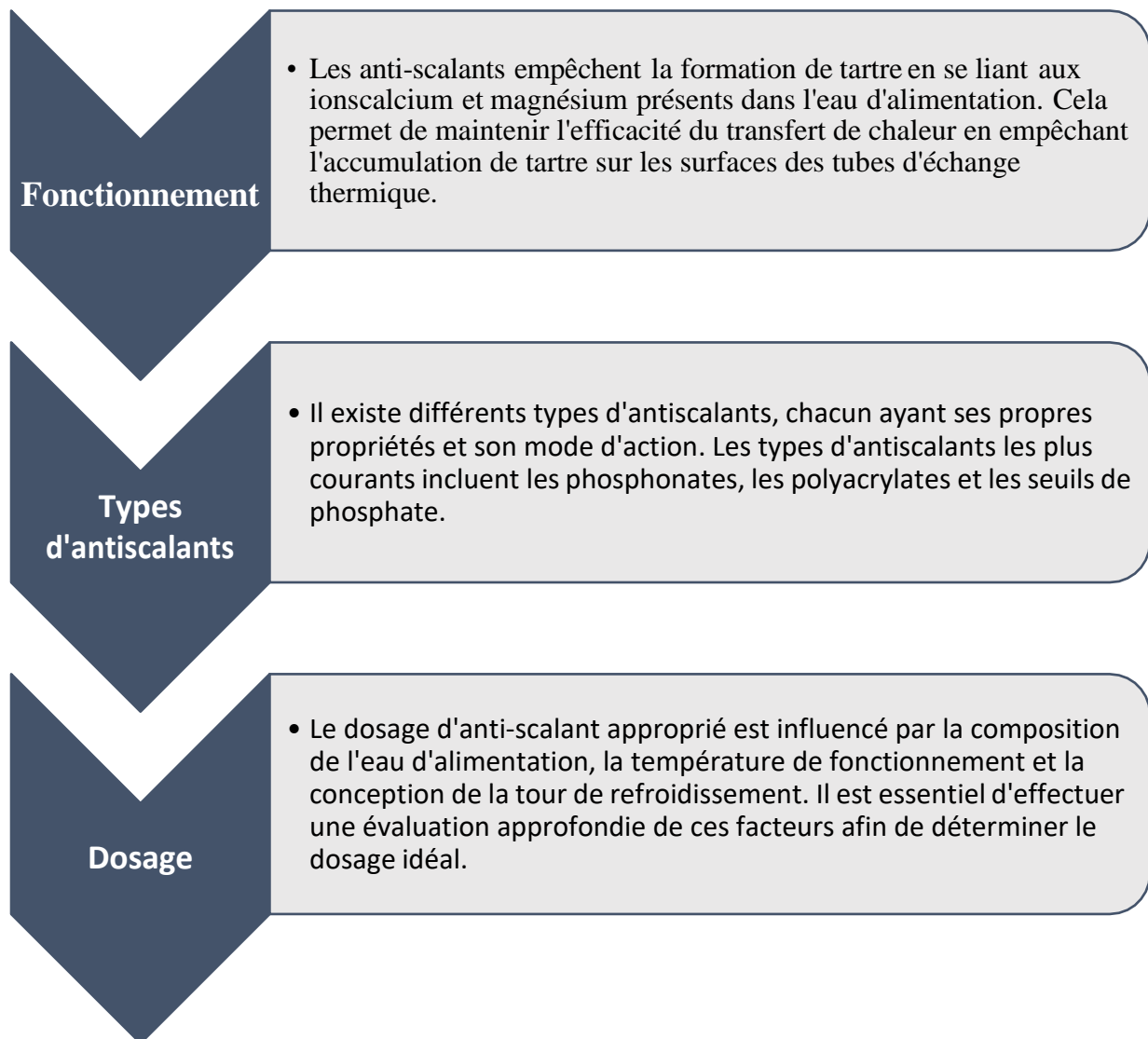


Figure VI.5: Schéma explicatif de l'injection de l'anti-scalant.

Tableau VI.1 : Injection produit chimique Anti-scalant.

Anti-scalant		
Paramètre	Formule	Valeur
Débit d'eau brute (m ³ /j)	-	16440
Débit d'eau brute (m ³ /h)	-	685
Débit d'eau brute (l/h)	-	685000
Concentration anti-scalant (ppm)	-	2
Concentration anti-scalant (g/l)	-	0,002
Débit massique (g/h)	Débit d'eau brute (l/h) × Concentration anti-scalant (g/l)	1370
Masse volumique d'anti-scalant (Kg/l)	-	1,1
Masse volumique d'anti-scalant (g/l)	-	1100
Débit d'anti-scalant (l/h)	$\frac{\text{Débit massique (g/h)}}{\text{masse volumique d'anti-scalant (g/l)}}$	1,245
Débit d'anti-scalant à injecter (l/h)	$\frac{\text{Débit d'anti-scalant (l/h)}}{0,4}$	3,114
Quantité cuve (l)	-	2000
Temps de pompage (h)	-	24
Débit d'anti-scalant à injecter (l/j)	Débit d'anti-scalant (l/h) × 24	74,727
Temps stockage (j)	$\frac{\text{Quantité cuve (l)}}{\text{Débit d'anti-scalant à injecter (l/j)}}$	26,7640

Tableau VI.2 : Fiche technique pompe doseuse d'anti-scalant.

Anti-scalant		
Paramètre	Unité	Valeurs
Débit à injecter	l/j	74,72
Quantité cuve	l	2000
Nombre de pompe	-	1+1
HMT pompe	m	10

➤ Chlorure ferrique :

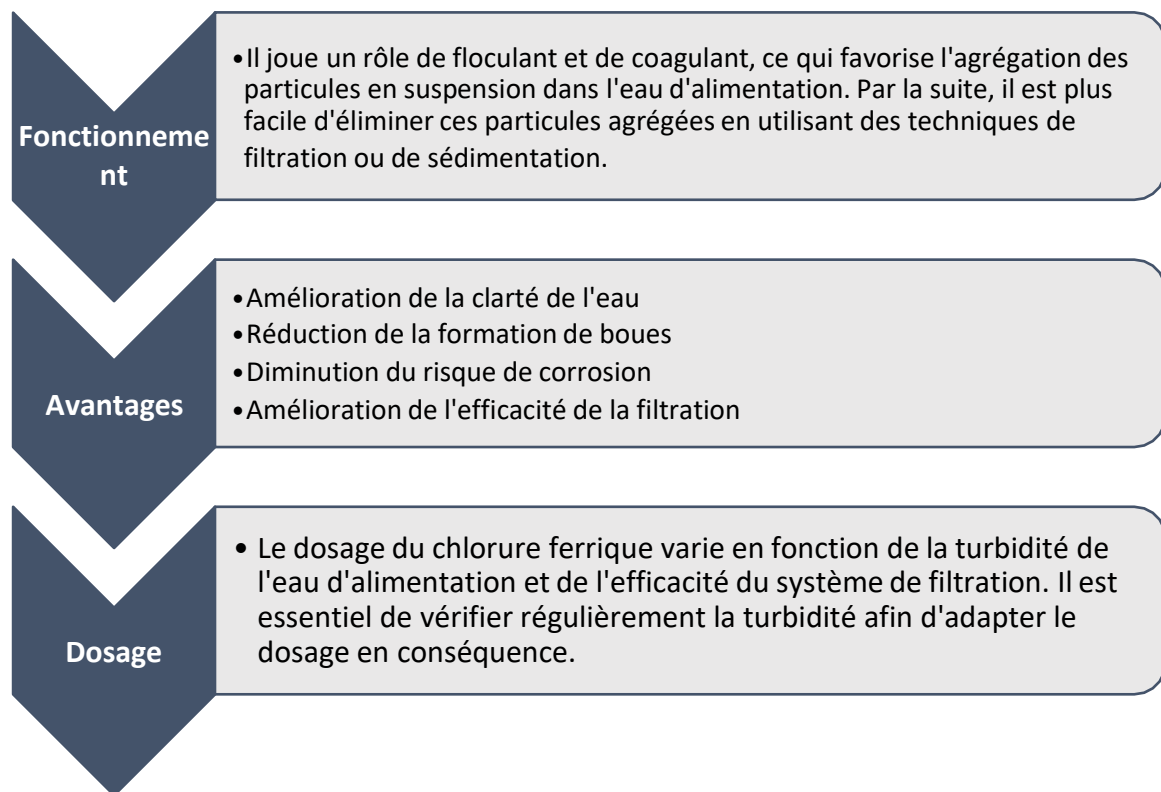


Figure VI.6: Schéma explicatif de l'injection de Chlorure ferrique.

Tableau VI.3 : Injection produit chimique Chlorure ferrique.

Chlorure ferrique		
Paramètre	Formule	Valeur
Débit d'eau brute(m ³ /j)	-	16440
Débit d'eau brute(m ³ /h)	-	685
Débit d'eau brute(l/h)	-	685000
Concentration chlorure ferrique (ppm)	-	2
Concentration chlorure ferrique (g/l)	-	0,002
Débit massique (g/h)	Débit d'eau brute (l/h) × Concentration chlorure ferrique (g/l)	1370
Masse volumique de chlorure ferrique (kg/l)	-	2,9
Masse volumique de chlorure ferrique (g/l)	-	2900
Débit de chlore ferrique (l/h)	$\frac{\text{Débit massique } (\frac{g}{h})}{\text{masse volumique de chlorure ferrique } (\frac{g}{l})}$	0,472

Suite de tableau Injection produit chimique Chlorure ferrique.

Chlorure ferrique		
Paramètre	Formule	Valeur
Débit de chlorure ferrique a injecter (l/h)	$\frac{\text{Debit de chlorure ferriq}(l/h)}{0,4}$	1,181
Quantité cuve (l)	-	4000
Temps de pompage (h)	-	24
Débit de chlorure ferrique a injecter (l/j)	Débit de chlorure ferrique a injecter (l/h) × 24	28,345
Temps de stockage (j)	$\frac{\text{Quantite cuve (l)}}{\text{Debit de chlorure ferrique a injecter (l/j)}}$	141,119

Tableau VI.4 : Fiche technique pompe doseuse chlorure ferrique.

Chlorure Ferrique		
Paramètre	Unité	Valeurs
Débit à injecter	l/j	28,34
Quantité cuve	l	4000
Nombre de pompe	-	1+1
HMT pompe	m	10

VI.2.2. Tours de refroidissement

Les tours de refroidissement sont des installations qui servent à refroidir l'eau lors de différentes opérations industrielles et de détente. Elles sont opérationnelles en établissant un contact entre l'eau chaude et de l'air frais, ce qui permet à l'eau de se refroidir par évaporation et échange de chaleur. Les tours de refroidissement sont fréquemment employées dans les centrales électriques, les raffineries de pétrole, les usines chimiques, les usines de traitement des eaux usées et les systèmes de climatisation de grandes demeures. Elles sont spécialement élaborées pour éliminer la chaleur imprévue.

Dans notre cas, ces mêmes tours servent à refroidir l' eau de forage qui arrive avec une température avoisinant les 60°C, pour ressortir avec une température ne dépassant pas les 30°C.

Tableau VI.5 : Caractéristique des tours de refroidissement.

Désignation	Unité	Valeur
Principe de fonctionnement	-	Contre-courant
Type de ventilation	-	Axial aspiration
Débit d'eau a traité	m ³ /h	685
Température de l'eau en entrée de forage	°C	60
Température de l'eau a atteindre	°C	28,5
Nombre de tour de refroidissement	u	2

Attention à ne pas dépasser les 23°C ; Danger d'endommager les membranes.

-Les pertes dans les tours de refroidissement estimé à 4% du débit totale

$$Q_{\text{pertes}} = (0,04 \times 685) \rightarrow Q_{\text{pertes}} = 27,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Débit partie traitement par osmose inverse

$$Q_{\text{entrant}} = 685 - 27,4 \rightarrow Q_{\text{entrant}} = 657,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

VI.2.2.1 Fonctionnement de ces tours

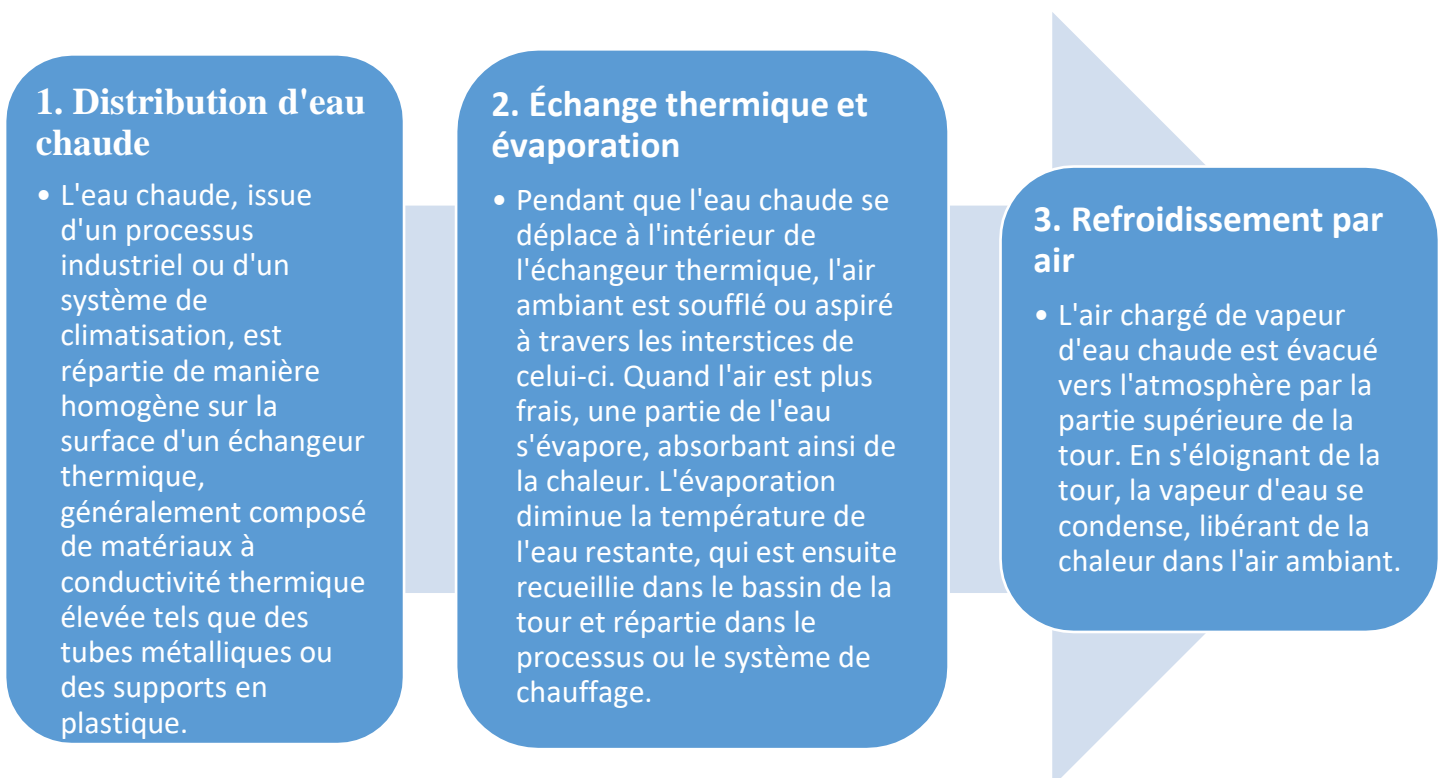


Figure VI.7 : Schéma explicatif de principe de fonctionnement de la tour de refroidissement.

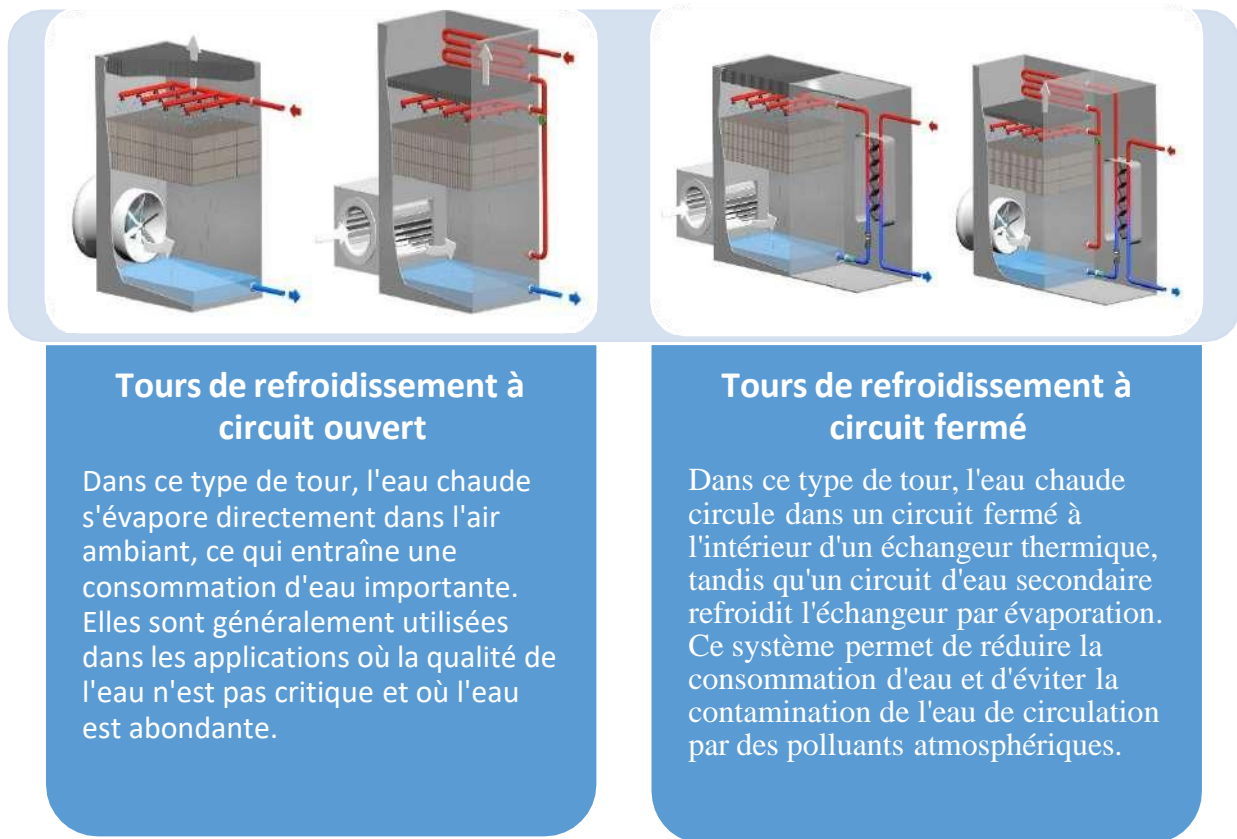


Figure VI.8 : les différentes techniques utilisées dans les tours à refroidissement. (Martin, Pierre) (Les systèmes de refroidissement industriels. Éditions Techniques, 2019, pp. 112-114).

VI.2.3. Réservoir d'eau brute

Le réservoir d'eau brute joue un rôle crucial dans les infrastructures hydrauliques, en ayant un rôle essentiel dans la gestion et la distribution de l'eau, et fait partie intégrante des systèmes de traitement de l'eau. Son objectif est de conserver l'eau brute avant qu'elle ne soit traitée plus tard. Grâce au réservoir d'eau brute, il est possible de contrôler le débit d'eau qui pénètre dans le système de traitement, assurant ainsi une alimentation en eau continue et homogène. Il permet aussi d'avoir un temps de rétention adéquat afin que les particules en suspension puissent se déposer au fond du réservoir, ce qui améliore la qualité de l'eau avant le traitement. Ils existent plusieurs types de réservoir voici quelques-uns :

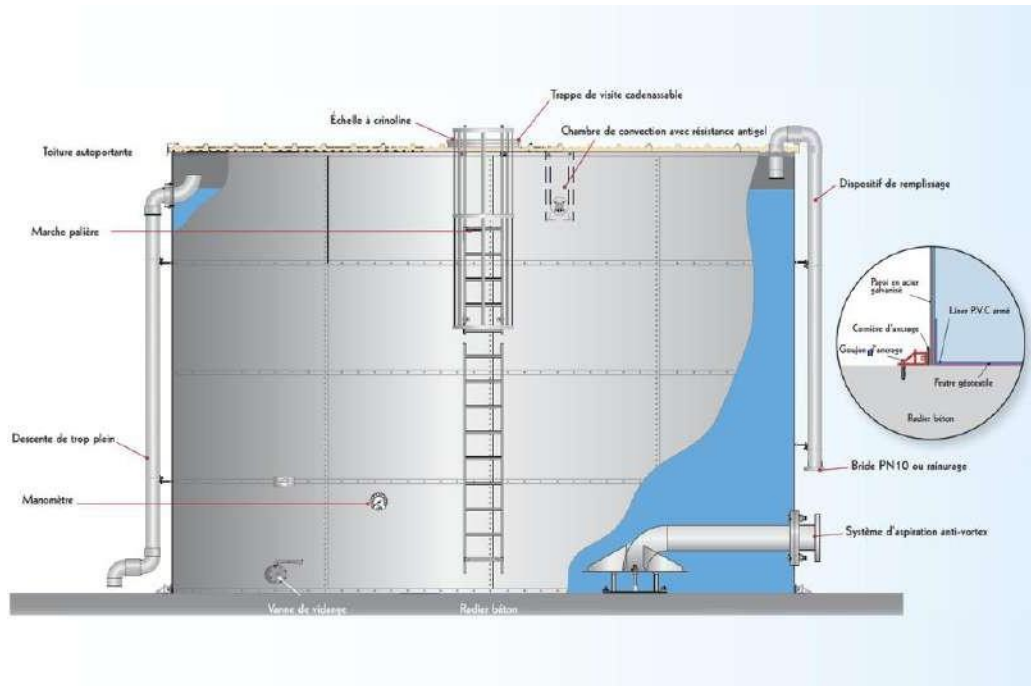


Figure VI.9 : exemple d'un réservoir d'eau brute.

- Réservoirs en surface : Ces réservoirs sont généralement construits en béton, en acier ou en matériaux composites. Ils peuvent être enterrés ou hors sol.
- Réservoirs souterrains : Ces réservoirs sont construits sous terre et offrent une meilleure protection contre les intempéries et l'évaporation.
- Réservoirs en géo-membrane : Ces réservoirs sont construits à l'aide d'une membrane en plastique imperméable, ce qui les rend économiques et faciles à installer.
- Réservoirs d'eau brute semi-enterrés : Les réservoirs d'eau brute semi-enterrés, également connus sous le nom de réservoirs semi-souterrains, représentent un type de stockage d'eau particulier qui combine les avantages des réservoirs de surface et des réservoirs souterrains. Comme leur nom l'indique, ces réservoirs sont partiellement enterrés dans le sol, avec une partie de leur structure visible au-dessus de la surface.

En résumé, il s'agit d'un ouvrage hydraulique conçu pour stocker de l'eau brute afin de pallier les fluctuations irrégulières de débit qui se produisent tout au long de la journée.

$$V = Q \times T_s \quad (\text{VI.3})$$

Avec :

Q : débit d'alimentation m³/h

Ts : temps de séjours égal à 36 minutes

$$V = 658 \times \frac{36}{60} = 394.8 \text{ m}^3 \quad \longrightarrow \quad V = 400 \text{ m}^3 \text{ (normalise)}$$

VI.3 Traitement par Osmose Inverse

La technologie membranaire de l'osmose inverse (OI) est couramment employée dans les stations de déminéralisation afin de générer de l'eau déminéralisée. Grâce à cette méthode, les sels minéraux, les ions et autres impuretés peuvent être efficacement éliminés de l'eau d'alimentation, elle est pompée à haute pression à travers la membrane d'osmose inverse. Les ions et les molécules sont retenus par la membrane, tandis que l'eau purifiée traverse la membrane et est collectée de l'autre côté. Ce qui en fait une solution idéale pour de nombreuses applications industrielles et domestiques.

VI.3.1 Filtre bicouche

Le filtre bicouche est un système de filtrage qui est employé dans les systèmes de traitement de l'eau afin de supprimer les particules suspendues. Il est constitué de deux couches de différents matériaux filtrants, soit du sable et de l'antracite, qui sont alternées dans un réservoir.

En général, la première couche du filtre bicouche est composée de matériaux grossiers tels que du sable ou du gravier. Cette première couche joue le rôle d'un préfiltre en retenant les particules plus volumineuses comme le sable, la boue ou les débris organiques. De plus, cela favorise une distribution plus homogène de l'eau à travers le filtre, ce qui favorise une filtration plus performante.

La seconde couche du filtre bicouche est généralement constituée de matériaux plus mous comme du sable fin, du charbon actif ou des granules d'antracite. Grâce à cette fine couche, il est possible de capter les particules plus petites ainsi que certaines substances dissoutes dans l'eau, telles que des résidus chimiques ou des polluants organiques.

Les particules en suspension, telles que les matières organiques, les sédiments et les bactéries, sont très efficacement éliminées grâce au filtre bicouche. Par la suite, ces particules retenues sont éliminées par le rétro lavage, qui implique de faire tourner le flux d'eau à travers le filtre afin de décoller les particules et de les évacuer.

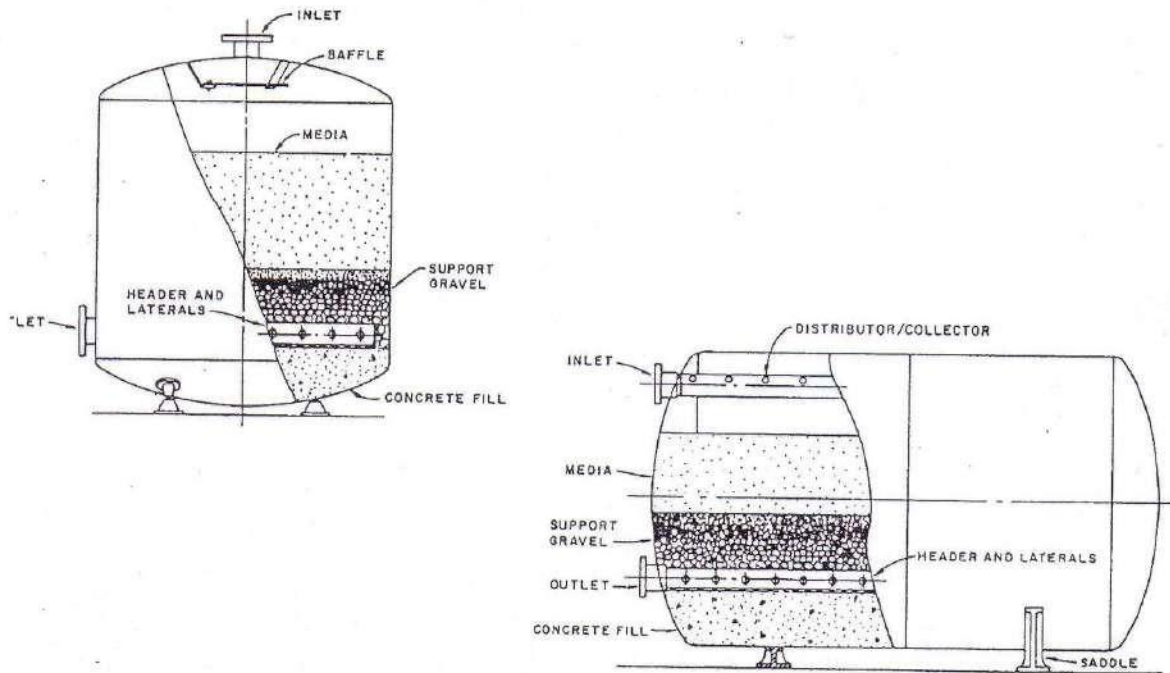


Figure VI.10 : Filtre bicouche vertical et horizontal.

VI.4.1.1. Média filtrant

Un média filtrant est un matériau poreux employé afin de capturer les impuretés présentes dans un fluide. Il joue un rôle essentiel dans les systèmes de filtration en captant les particules en suspension, les contaminants et les polluants, ce qui permet d'obtenir un fluide purifié à la sortie du filtre.

Les différentes configurations possibles :

- Couche de granulométrie uniforme (Sable)
- Bicouche (anthracite + sable)
- Multicouche (Sable + anthracite + grenat)

Pour notre part on prend la configuration classique Bicouche qui se compose de deux couches filtrantes anthracite et sable.

Tableau VI.6 : Caractéristiques composantes de média filtrant.

Matériau	Taille effective (mm)	Profondeur (cm)	Hauteur couche filtrante (m)
Anthracite	0,6 - 1	70	0,5 + 0,7 = 12
Sable	0,4 - 0,8	50	

VI.2.1.3. Dimensionnement filtre bicouche

Tableau VI.7 : Caractéristique filtre bicouche.

Paramètre	Formule	Valeur
Débit à traiter (m ³ /h)	-	658
Longueur d'un filtre (m)	-	5
Diamètre d'un filtre (m)	-	3
Surface de filtration (m ²)	Longueur × <i>diamètre</i>	15
Vitesse filtration Théo (m/h)	-	10
Débit par filtre (m ³ /h)	<i>Vitesse de filtration Théorique</i> × <i>Surface de filtration</i>	150
Nombre de filtre	$\frac{\text{Débit à traiter}}{\text{Débit par filtre}}$	4,387
Débit par filtre calculé (m ³ /h)	$\frac{\text{Débit à traiter}}{\text{Nombre de filtre (arrondi)}}$	131,6
Vitesse de filtration calculée (m/h)	$\frac{\text{Débit par filtre calculé}}{\text{Surface de filtration}}$	8,773

D'après les calculs on estime :

- Nombre de filtres = 5 filtres
- Débit par filtre = 131,6 m³/h
- Vitesse de filtration = 8,773 m/h

VI.3.2 Dimensionnement de la pompe d'alimentation filtre à sable

V.3.2.1. Choix et nombre de pompe

La sélection d'une pompe repose principalement sur trois paramètres clés : le débit souhaité, le dénivelé à franchir, au quel on rajoute les pertes de charge ; et par conséquent la pression requise. Un autre facteur important à prendre en considération est la nature de l'eau à pomper. En effet, la qualité de l'eau influence le choix du type et des matériaux de pompe appropriés. Le débit de la pompe doit être adapté aux besoins en eau spécifiques de l'application visée. Dans le cadre de notre étude, le choix s'est porté sur un système comprenant deux pompes principales et une pompe de secours. Cette configuration permet d'assurer une redondance et une continuité de service en cas de défaillance ou de maintenance de l'une des pompes principales.

V.3.2.2. Calcul des pertes de charge singulières d'un filtre à sable

Un filtre à sable sera utilisé comme étape de prétraitement afin d'éliminer les éventuelles particules en suspension présentes dans le fluide, qui pourraient autrement obstruer rapidement les membranes de filtration, constituant l'étape principale du processus de filtration envisagé. Le milieu filtrant du filtre à sable sera constitué de particules dont la nature et la taille seront déterminées en fonction des objectifs spécifiques de filtration recherchés.

Au fur et à mesure que le processus de filtration se déroule, les particules retenues par le lit filtrant entraîneront progressivement son colmatage, résultant en une augmentation des pertes de charge à travers le lit, ainsi qu'une diminution de son efficacité de filtration.

La perte de charge à travers un lit filtrant de porosité donnée peut être calculée à l'aide de la loi d'Ergun, selon la formule mathématique suivante :

$$\frac{\Delta p}{L} = \mathbf{d} \times \frac{\mathbf{v}}{\varepsilon} \times \frac{(1-\varepsilon) \times 6}{(\mathbf{d}-\varepsilon)^2} \quad (\text{VI.4})$$

- d : Diamètre de particule (m)
- v : Vitesse de filtration (m/h)
- ε : Porosité de particule (m)
- L : Longueur
- Δp : Perte de charge total

Cette relation permettra de prédire l'évolution de la perte de charge dans le filtre à sable au cours de son utilisation, en fonction des caractéristiques du lit filtrant et du fluide à traiter.

Tableau VI.8 : Perte de charge singulière des filtres à sable par rapport à la porosité.

Porosité	ΔHs sable	Pression par m
0,4	10875	1,09
0,38	12684,06	1,27
0,36	14917,7	1,49
0,34	17708,12	1,77
0,32	21240,23	2,12
0,3	25777,78	2,58
0,28	31705,45	3,17
0,26	39599,45	3,96
0,24	50347,22	5,03
0,22	65364,39	6,54
0,2	87000	8,7
0,18	119341,56	11,93
0,16	169921,88	16,99

0,14	253644,31	25,36
0,12	402777,78	40,28
0,1	696000	69,6

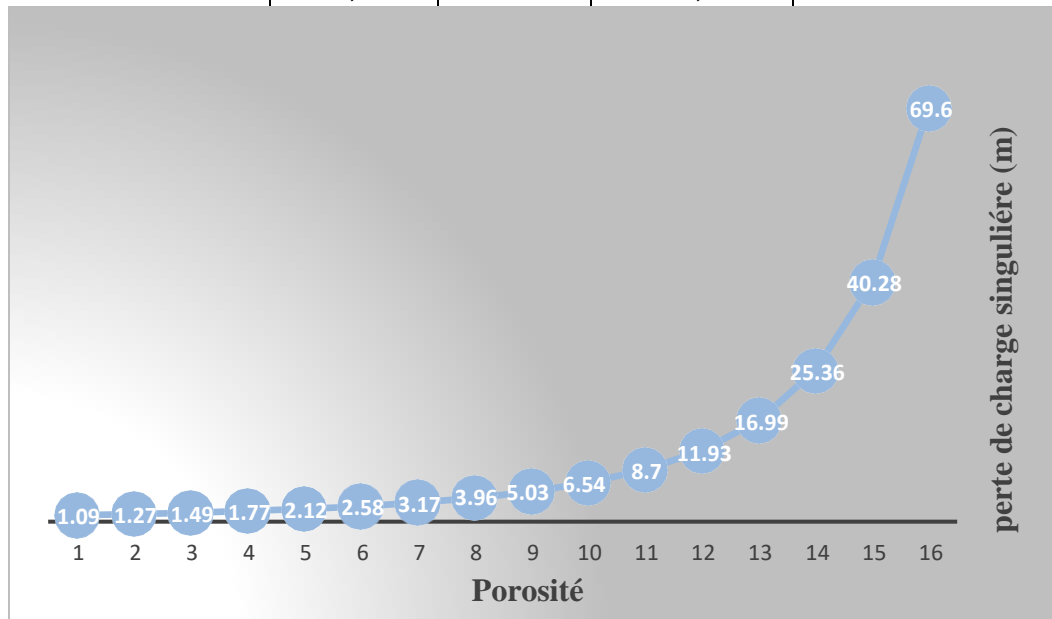


Figure VI.11 : Graphe colmatage des filtres par rapport à la porosité.

Alors :

- $\Delta H_s \text{ sable} = 16,99 \text{ m}$ a une porosité de 0,16

Pour notre cas, on estime la pression de colmatage a 1,6 bar

V.3.2.3. Calcul des pertes de charges de la conduite des filtres a sables

Type de conduite :

PEHD (Polyéthylène haute densité)

Les qualifications des conduites en PEHD :

- Résistance à la corrosion : Le PEHD est résistant à la corrosion chimique, ce qui le rend adapté aux environnements corrosifs, comme les sols contenant des produits chimiques ou les eaux souterraines agressives.
- Flexibilité : Les conduites en PEHD sont flexibles, ce qui facilite leur installation dans des terrains difficiles ou lors de courbes serrées sans nécessiter de joints aussi fréquemment que d'autres types de conduites.
- Résistance aux chocs : Le PEHD est résistant aux chocs, ce qui le rend adapté aux applications où des contraintes mécaniques peuvent survenir, comme les zones sujettes aux tremblements de terre.

- Longue durée de vie : Les conduites en PEHD ont une durée de vie attendue de plusieurs décennies (généralement entre 50 et 100 ans selon les conditions d'utilisation), ce qui en fait un choix durable pour les infrastructures souterraines.
- Résistance à la fissuration : Le PEHD est résistant à la fissuration sous contrainte, ce qui le rend fiable même dans des conditions de contrainte prolongée.
- Faible coefficient de friction : Les conduites en PEHD offrent un faible coefficient de friction, ce qui réduit la perte de charge et permet une meilleure efficacité hydraulique dans les réseaux de distribution d'eau.
- Inertie chimique : Le PEHD est chimiquement inerte, ce qui signifie qu'il n'interagit pas avec l'eau potable ou les produits chimiques transportés, assurant ainsi la qualité et la sécurité des matériaux transportés.
- Facilité d'installation : En raison de sa légèreté et de sa flexibilité, le PEHD est souvent plus facile et moins coûteux à installer que d'autres matériaux de conduite.

V.3.2.4. Conduite d'aspiration du filtre à sable

- Choix du diamètre :

On a :

$$-Q = 329 \text{ (m}^3\text{/h)} \quad \left[\frac{Q \text{ initial}}{2 \text{ pompes}} \right]$$

$$-S = \frac{\pi \times D^2}{4} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$-V = \frac{Q}{S} \text{ (m/s)}$$

$$-D_{\text{intérieur}} = D_{\text{extérieur}} - (2 \times E_p)$$

Tableau VI.9 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite d'aspiration d'alimentation des filtres)

D extérieur (mm)	Ep (mm)	D intérieur (mm)	S (m2)	V(m/s)
500	29,7	440,6	0,15246806	0,59939695
400	23,7	352,6	0,09764601	0,93592037
315	18,7	277,6	0,06052416	1,50995704
250	14,8	220,4	0,03815163	2,39541263
200	11,9	176,2	0,02438382	3,74793204
160	9,5	141	0,0156145	5,85282165
110	6,6	96,8	0,00735937	12,4180328
63	3,8	55,4	0,00241051	37,9126364

- Pour une vitesse de **0.935 (m/s)** le diamètre intérieur doit avoir **352.6 mm**

➤ Calcul de perte de charge :

Tableau VI.10. Calcul des pertes de charge totales de la conduite (conduite d'aspiration d'alimentation des filtres)

Paramètre	Formule	Valeur
Diamètre (m)	-	0,3526
Surface (m ²)	-	0,097
Longueur (m)	-	1
Débit (m ³ /s)	-	0,091
Vitesse (m/s)	-	0,936
Reynolds	$\frac{V \times D}{\mu}$	330172,906
Λ	$\left[-2 \log \left(\frac{\epsilon}{3,7 \times D} + \frac{2,51}{Re \times \sqrt{Re - 0,3 + 0,0053}}\right)\right]^2$	0,016
Perte de charge linéaire (ΔHL)(m)	$\frac{\lambda \times L}{D} \frac{V^2}{2 \times g}$	0,002
K	-	7,2
Perte de charge singulière (ΔH_s) (m)	$K \frac{V^2}{2 \times g}$	0,31539456
Perte de charge total (m)	Perte de charge singulière + Perte de charge linéaire	0,31739456

V.3.2.5. Conduite de refoulement du filtre à sable

➤ Choix du diamètre

On a: $Q = 329 \text{ m}^3/\text{h} \left[\frac{Q_{\text{initi}}}{2 \text{ pompe}} \right]$

Tableau VI.11 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite de refoulement d'alimentation des filtres).

D extérieur (mm)	Ep (mm)	D intérieur (mm)	S (m ²)	V (m/s)
500	29,7	440,6	0,152468	0,599396952
400	23,7	352,6	0,097646	0,935920371
315	18,7	277,6	0,060524	1,509957043
250	14,8	220,4	0,038152	2,395412632
200	11,9	176,2	0,024384	3,747932043
160	9,5	141	0,015615	5,852821653

110	6,6	96,8	0,007359	12,41803276
63	3,8	55,4	0,002411	37,91263645

➤ Calcule perte de charge de la conduite

Tableau VI.12 : Calcule des pertes de charge totales de la conduite (conduite de refoulement d'alimentation des filtres).

Paramètre	Valeur
Diamètre (m)	277,6
Surface (m ²)	0,06
Longueur (m)	2
Débit (m ³ /s)	0,091
Vitesse (m/s)	1,507
Reynolds	419376,681
Λ	0,016
Perte de charge linéaire (ΔH_L) (m)	0,013
K	1,3
Perte de charge singulière (ΔH_s) (m)	0,148
Perte de charge total (m)	0,162

V.3.2.6. Conduite de refoulement (élargissement) du filtre à sable

➤ Choix du diamètre

On a: $Q = 658 \text{ m}^3/\text{h}$ [élargissement]

Tableau VI.13 : Choix de diamètre par rapport a la vitesse (conduite de refoulement (élargissement) des filtres)

D extérieur (mm)	Ep (mm)	D intérieur (mm)	S (m ²)	V (m/s)
500	29,7	440,6	0,152468	1,198794
400	23,7	352,6	0,097646	1,871841
315	18,7	277,6	0,060524	3,019914
250	14,8	220,4	0,038152	4,790825
200	11,9	176,2	0,024384	7,495864
160	9,5	141	0,015615	11,70564
110	6,6	96,8	0,007359	24,83607
63	3,8	55,4	0,002411	75,82527

- Calcule de perte de charge de la conduite

Tableau VI.14 : Calcul des pertes de charge totales de la conduite (conduite de refoulementélargissement des filtres)

Paramètre	Valeur
Diamètre (m)	404,6
Surface (m ²)	0,152
Longueur (m)	40
Débit (m ³ /s)	0,182
Vitesse (m/s)	1,198
Reynolds	528459,499
λ	0,153
Perte de charge linéaire (ΔH_L) (m)	0,1
K	1
Perte de charge singulière (ΔH_s) (m)	0,071
Perte de charge total (m)	0,172

V.3.2.7. Conduite de refoulement par filtre à sable

- Choix du diamètre

On a: $Q = 131,6 \text{ m}^3/\text{h} \left[\frac{Q_{\text{initi}}}{5 \text{ filtres}} \right]$

Tableau VI.15 : Choix de diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite de refoulement d'alimentation par filtre)

D extérieur (mm)	Ep (mm)	D intérieur (mm)	S (m ²)	V (m/s)
500	29,7	440,6	0,152468	0,239759
400	23,7	352,6	0,097646	0,374368
315	18,7	277,6	0,060524	0,603983
250	14,8	220,4	0,038152	0,958165
200	11,9	176,2	0,024384	1,499173
160	9,5	141	0,015615	2,341129
110	6,6	96,8	0,007359	4,967213
63	3,8	55,4	0,002411	15,16505

➤ Calcule de perte de charge de la conduite :

Tableau VI.16 : Calcul perte de charge totale de la conduite (conduite de refoulement d'alimentation par filtre).

Paramètre	Valeur
Diamètre (m)	176,2
Surface (m ²)	0,024
Longueur (m)	1
Débit (m ³ /s)	0,036
Vitesse (m/s)	1,499
Reynolds	264288,233
λ	0,018
Perte de charge linéaire (ΔH_L) (m)	0,011
K	6,8
Perte de charge singulière (ΔH_s) (m)	0,764
Perte de charge total (m)	0,776

❖ Perte de charge totale

- Perte de charge total (ΔH_t) = Σ perte de charge total de chaque conduite + perte de charge filtre a sable → **perte de charge total ΔH_t) = 18,405 m**
- HMT = 18,405 + 1 + (7 m marge de sécurité) → **HMT = 26,4m**

Tableau VI.17 : Récapitulatif filtre à sable.

Conduite / paramètre	Aspiration	Refoulement	Refoulement (élargissement)	Refoulement par un filtre
Débit (m ³ /h)	329	329	658	131,6
Diamètre (mm)	352,6	277,6	440,6	176,2
Longueur (m)	1	2	40	1
Perte de charge totale (m)	0,317	0,162	0,172	0,764

V.3.2.8. Choix des pompes

Pour un débit de 329 (m³/h) et une Hmt de 26.4 m , nous avons choisi la pompe CAPRARI de référence (PM 125/ 2 D) à l'aide de catalogue

(PUMP TUTOR CAPRARI)

- ✓ Description de la pompe PM 125/ 2 D

- Centrifuge multicellulaire pour hautes pressions à axe horizontal
- Roues, diffuseurs et corps d'aspiration : en fonte
- Corps de refoulement et corps d'étage : en fonte (PMS : en fonte sphéroïdale)
- Corps de refoulement avec pieds de support et orifice de refoulement tourné vers le haut ; corps d'aspiration à bouche orientable
- Arbre en acier inoxydable entièrement protégé par une douille en acier inoxydable. Double palier
- Roulements à billes largement dimensionnés pour supporter les charges radiales et axiales dans les deux sens
- Garniture : à tresse, réglable à faible coefficient de frottement
- Hauteur d'arbre normalisée (UNI 2946)
 - ✓ Données techniques (Caractéristiques)
 - Q : 166 m³/h
 - H : 26,9 m
 - n. poles : 4
 - Fréquence : 50 Hz
 - Monophasé / Triphasé : 3~
 - Puissance moteurP2 : 22 kW
 - Tension : 400 V
 - Diamètre refoulement : DN 125 (UNI PN40)
 - Raccord d'aspiration : DN150 (UNI PN25)
 - ✓ Nombre de pompe installées

Pour refouler un débit de 658 m³/h nous avons utilisé deux (2) pompes de type (PM 125/ 2 D) installée en parallèle avec une autre pompe identique de secoure.

Tableau VI.18 : Descriptions de la pompe.

Hauteur refoulement (m)	Débit de pompage (m ³ /h)	Nom de la pompe	Type de pompe	Type d'installation	Nombre de pompe
26,9	166	CAPRARI PM 125/ 2 D	Centrifuge multicellulaire a axe horizontal	Pompe identique en parallèle	3

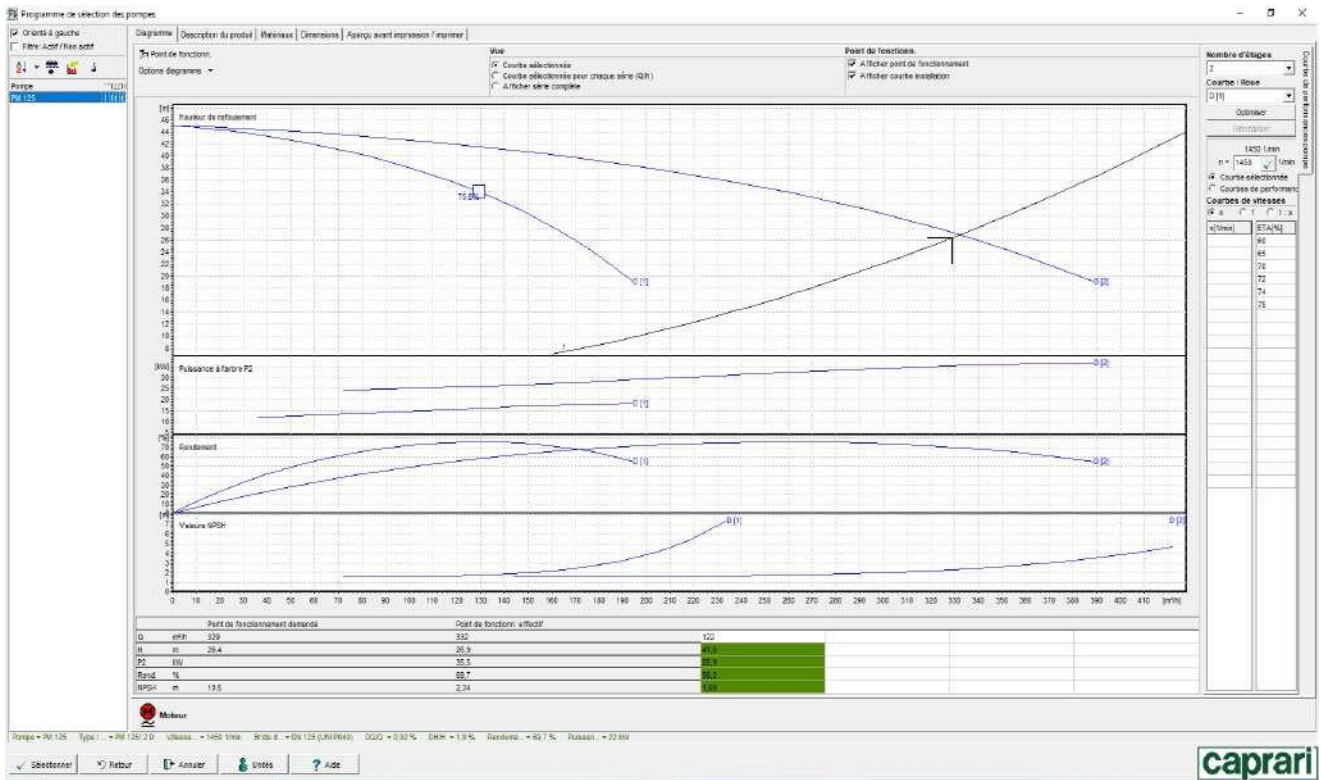


Figure VI.12 : Courbes caractéristiques de l’installation.

Tableau VI.19 : Données techniques et caractéristique.

Données techniques	Caractéristiques
Q	329
H	26,9
Rendement	69,70%
Puissance	35,5 KW
Vitesse	1450 tr/min
NPSH requis	2,34

$$N_s = \frac{N \times \sqrt{Q}}{HMT^{\frac{2}{3}}} = \frac{1450 \times \sqrt{\frac{329}{60 \times 60}}}{26,9^{\frac{2}{3}}} \longrightarrow N_s = 37,09 \text{ tr/min}$$

Donc l’entrée de roue est axiale

➤ Vérification au non cavitation :

$$NPSH_{Disp} = \left(\frac{P_{atm}}{\rho \times g} \right) + H_{mt} - j_{asp}$$

$$\text{NPSH disponible} \approx \left(\frac{P_{\text{atm}}}{\rho \times g} \right) + H_{\text{asp}} - j_{\text{asp}}$$

Avec :

- H_{asp} : 1 m (hauteur d'aspiration)
- J_{asp} : 0,5 (perte de charge dans la conduite d'aspiration)

$$\text{NPSH disponible} = 10 + 1 - 0,5 = 10,5 \text{ m}$$

$$\text{NPSH requis} = 2,34 \text{ m}$$

On observe que $\text{NPSH}_{\text{disponible}}$ est largement plus grande que le $\text{NPSH}_{\text{requis}}$,

Alors la condition de non cavitation est vérifiée.

VI.3.3 Rétro lavage

VI.3.3.1 Calcul débit de lavage

$$Q = V \times S \quad (\text{VI.5})$$

- V : vitesse de filtration (m/h)
- S : surface d'un filtre à sable (m^2)

$$Q = 30 \times 15$$



$$Q = 525 \text{ m}^3/\text{h}$$

VI.3.3.2 Dimensionnement pompe rétro lavage

VI.3.3.2.a Choix de la pompe

La sélection de la pompe se distingue par trois éléments essentiels : le débit, le dénivelé, et la pression. Il est important de tenir en compte d'une autre donnée : la nature de l'eau collectée. Il est nécessaire d'adapter le débit de la pompe à notre besoin en eau. Dans notre étude, nous optons pour deux pompes et une de secours.

VI.3.3.2.b Calcul des pertes de charge de la conduite d'aspiration

➤ Choix du diamètre

$$\text{On a : } Q = 262,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tableau VI.20 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport a la vitesse (conduite d'aspiration en retro lavage)

D extérieur (mm)	Ep (mm)	D intérieur (mm)	S (m2)	V(m/s)
500	29,7	440,6	0,15246806	0,47824225
400	23,7	352,6	0,09764601	0,74674498
315	18,7	277,6	0,06052416	1,20475296
250	14,8	220,4	0,03815163	1,91123348
200	11,9	176,2	0,02438382	2,99037131
160	9,5	141	0,0156145	4,66980451
110	6,6	96,8	0,00735937	9,90800486
63	3,8	55,4	0,00241051	30,249444

- Pour une vitesse d'aspiration de **0.74 m/s**, on a un diamètre de **352.6 mm**

➤ Calcul de perte de charge :

Tableau VI.21 : Calcul de perte de charge totale de la conduite (conduite d'aspiration en retro lavage)

Paramètre	Formule	Valeur
Diamètre (m)	-	0,3526
Surface (m2)	-	0,097
Longueur (m)	-	1
Débit (m3/s)	-	0,072
Vitesse (m/s)	-	0,747
Reynolds	$\frac{V \times D}{\mu}$	263392,2
λ	$\left[-2 \log \left(\frac{\epsilon}{3,7 \times D} + \frac{2,51}{Re \times \sqrt{Re^\wedge - 0,3 + 0,0053}} \right) \right]^2$	0,016629888
Perte de charge linéaire (ΔHL)(m)	$\frac{\lambda \times L}{D} \frac{V^2}{2 \times g}$	0,001341372
K	-	7,3
Perte de charge singulière (ΔHs) (m)	$K \frac{V^2}{2 \times g}$	0,203673285
Perte de charge totale (m)	Perte de charge singulière + Perte de charge linéaire	0,205014657

V.3.3.3. Conduite de refoulement du rétro-lavage

➤ Choix du diamètre

On a : $Q = 262.5 \text{ m}^3/\text{h}$

Tableau VI.21 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport a la vitesse (conduite de refoulement en retro lavage)

D extérieur (mm)	Ep (mm)	D intérieur (mm)	S (m2)	V(m/s)
500	29,7	440,6	0,15246806	0,47824225
400	23,7	352,6	0,09764601	0,74674498
315	18,7	277,6	0,06052416	1,20475296
250	14,8	220,4	0,03815163	1,91123348
200	11,9	176,2	0,02438382	2,99037131
160	9,5	141	0,0156145	4,66980451
110	6,6	96,8	0,00735937	9,90800486
63	3,8	55,4	0,00241051	30,249444

- Pour une vitesse de refoulement **1.20m/s** on a un diamètre de **277.6 mm**

➤ Calcul perte de charge :

Tableau VI.22 : Calcul de perte de charge totale de la conduite (conduite de refoulement en retro-lavage)

Paramètre	Valeur
Diamètre (m)	0,2776
Surface (m2)	0,06
Longueur (m)	3
Débit (m3/s)	0,072
Vitesse (m/s)	1,204
Reynolds	334230,4
λ	0,01690764
Perte de charge linéaire (ΔH_L)(m)	0,01350015
K	1,1
Perte de charge singulière (ΔH_s) (m)	0,07972888
Perte de charge total (m)	0,09322903

V.3.3.4. Conduite de refoulement (élargissement) du rétro-lavage

➤ Choix du diamètre

On a : $Q = 525 \text{ m}^3/\text{h}$

Tableau VI.23 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite de refoulement (élargissement) de pompe retro-lavage.

D extérieur (mm)	Ep (mm)	D intérieur (mm)	S (m2)	V(m/s)
500	29,7	440,6	0,15246806	0,9564845
400	23,7	352,6	0,09764601	1,49348995
315	18,7	277,6	0,06052416	2,40950592
250	14,8	220,4	0,03815163	3,82246697
200	11,9	176,2	0,02438382	5,98074262
160	9,5	141	0,0156145	9,33960902
110	6,6	96,8	0,00735937	19,8160097
63	3,8	55,4	0,00241051	60,4988879

- Pour une vitesse de refoulement **1.49 m/s**, on a un diamètre de **352.6 mm**

➤ Calcul de perte de charge :

Tableau VI.24 : Calcul de perte de charge totale de la conduite (conduite de refoulement(élargissement) en retro-lavage

Paramètre	Valeur
Diamètre (m)	0,3526
Surface (m2)	0,097646009
Longueur (m)	20
Débit (m3/s)	0,145
Vitesse (m/s)	1,493489953
Reynolds	526604,5574
Λ	0,015860195
Perte de charge linéaire (ΔH_L)(m)	0,102273194
K	1,6
Perte de charge singulière (ΔH_s) (m)	0,178440979
Perte de charge total (m)	0,280714173

V.3.3.5. Perte de charge totale

$$\Delta H \text{ totales conduites} = 0.205 + 0.093 + 0.279 + 16 \longrightarrow \Delta H \text{ totales conduites} = 16.57 \text{ m}$$

$$\Delta H \text{ totales} = \sum \Delta H \text{ totales conduite} + \Delta H \text{ filtre a sable} = 16.57 + 1 \longrightarrow \Delta H \text{ totale} = 17.57 \text{ m}$$

Tableau VI.25 : Récapitulatif Retro-Lavage (Eau).

Conduite/Paramètre	Aspiration	Refoulement	Refoulement (élargissement)
Débit(m ³ /h)	262,5	262,5	525
diamètre(mm)	352,6	277,6	352,6
Longueur(m)	1	3	20
Perte de charge totale (m)	0,205	0,093	0,28

V.3.3.6. Choix de la pompe

Pour un débit de 262.5 (m³/h) et une Hmt de 17.57m, nous avons choisi la pompe CAPRARI de référence (MEC-AZ 3/100A) à l'aide de catalogue

(PUMP TUTOR CAPRARI)

- ✓ Description de la pompe

Pompe MEC-AZ 3/100A

- Centrifuge monocanal à axe horizontal
- Palier de base à roulements à bain d'huile
- Corps extérieur : en fonte
- Roue : en fonte
- Arbre : en acier au carbone protégé, au niveau de la garniture, par une bague d'usure interchangeable
- Garniture : à tresse, réglable à faible coefficient de frottement

- ✓ Données techniques (Caractéristiques) :

- Q : 132,6 m³/h
- H : 17,9 m
- n. poles: 4
- Fréquence : 50 Hz
- Monophasé / Triphasé : 3~
- Puissance moteurP2 : 9 kW
- Tension : 400 V

- Diamètre refoulement : DN100 16 bar
- Raccord d'aspiration : DN125 16 bar
- ✓ Nombre de pompes installées

Pour refouler un débit de $Q=525 \text{ m}^3/\text{h}$ nous avons utilise deux pompes de type MEC-AZ 3/100A installées en parallèle et une autre pompe identique de secours

Tableau VI.26 : Descriptions de la pompe

Hauteur refoulement (m)	Débit de pompage (m ³ /h)	Nom de la pompe	Type de pompe	Type d'installation	Nombre de pompe
17.9	132.6	CAPRARI MEC-AZ 3/100A	Centrifuge monocanal a axe horizontal	Pompe identique en parallèle	3

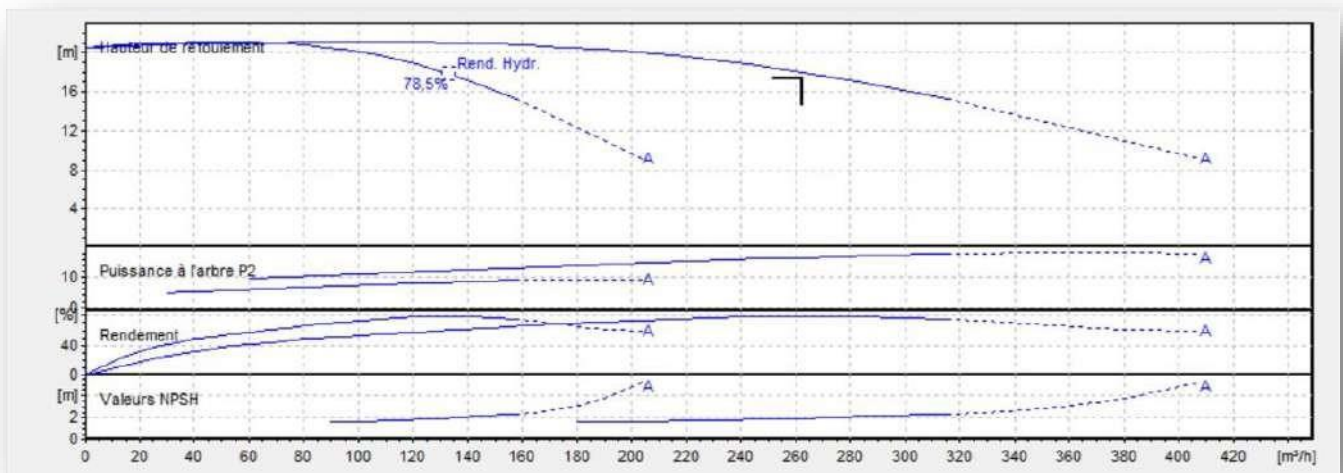


Figure VI.13 : Courbes caractéristique de l'installation.

Tableau VI.27 : Données techniques et caractéristiques

Données techniques	Caractéristiques
Q	132.6
H	17.9
Rendement	78.5%
Puissance	35,5 KW
Vitesse	1425 tr/min
NPSH requis	1.99

$$N_s = \frac{N \times \sqrt{Q}}{HMT^2} = \frac{1425 \times \sqrt{\frac{262.5}{60 \times 60}}}{17,6^4} \quad N_s = 44,8 \text{ tr/min}$$

Donc l'entrée de la roue est axiale et la sortie est axiale

➤ Vérification au non cavitation :

$$NPSH \text{ Disponible} \approx \left(\frac{P_{atm}}{\rho \times g} \right) + H_{mt} - j_{asp}$$

$$NPSH \text{ disponible} \approx \left(\frac{P_{atm}}{\rho \times g} \right) + H_{asp} - j_{asp}$$

Avec :

- H aspiration : 1 m (hauteur de la pompe en charge)
- J aspiration : 0,205 (perte de charge dans la conduite d'aspiration)

$$NPSH \text{ disponible} = 10 + 1 - 0,205 = 10,795 \text{ m}$$

$$NPSH \text{ requis} = 1,99 \text{ m}$$

On observe que $NPSH_{\text{disponible}}$ est largement plus grande que le $NPSH_{\text{requis}}$,

Alors la condition de non cavitation est vérifiée.

V.3.3.7. Suppresseur d'air

Note de calcul :

- Vitesse de lavage à l'air : $50 \text{ Nm}^3/\text{h/m}^2$
- Surface par filtres : 15 m^2

$$Q = V \times S$$

Alors :

$$Q = 50 \times 15$$

$$Q = 750 \text{ Nm}^3/\text{h/m}^2$$

Tableau VI.28 : Caractéristique des conduites de supprimeur d'air

Paramètres	Valeur
Diamètre de la tuyauterie (mm)	40
Langueur de la tuyauterie (m)	5
Vitesse de l'air (m/s)	15,34
Perte de charge (m)	0,32443

➤ Dimensionnement de supprimeur

Tableau VI.29 : Caractéristique supprimeur d'air.

Paramètres	Unité	Valeur
Vitesse dans la conduite d'air	m/s	14,34
Surface d'un filtre	m ²	15
Débit correspondant	Nm ³ /h	750
Nombre de supprimeur	-	1+1 en secours

VI.3.4 Réservoir Prétraité

Principe : L'eau produite ou traitée sera stockée dans une bêche. Ce réservoir assure une régulation du débit à distribuer ou à servir vers le complexe Hydraulique, il constitue la réserve finale dans la station.

VI.3.4.1 Dimensionnement du réservoir

-les pertes dans la phase de filtre à sable sont estimées à 3% du débit totale

$$Q_{\text{pertes}} = (0,03 \times 658) \longrightarrow Q_{\text{pertes}} = 19,74 \text{ m}^3/\text{h}$$

-Débit d'entrée au filtre a cartouche

$$Q_{\text{entrant}} = 658 - 19,74 = 638,2 \text{ m}^3/\text{h} \longrightarrow Q_{\text{entrant}} = 639 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = Q \times t_s \quad (\text{VI. 6})$$

Avec :

✓ Q : débit d'alimentation (m³/h)

✓ ts : temps de séjour (h)

$$V = 639 \times \left(\frac{14}{60}\right) = 149,1 \text{ m}^3$$

Alors on choisit **V = 150 m³**

VI.3.4.2 Injection de produit chimique (anti-scalant, Bisulfite et Hypochlorite) avant filtre a cartouche

Avant la sortie des eaux au niveau des filtres à sable dans la station ces derniers passent par une injection des produits chimiques afin de :

-Réduire le PH des eaux

-Eviter et protéger les conduites d'amenées contre phénomène de corrosion

Tableau VI.30 : Injection de produit chimique anti-scalant.

Anti-scalant		
Paramètre	Formule	Valeur
Débit d'eau prétraite (m ³ /j)	-	15336
Débit d'eau prétraite (m ³ /h)	-	639
Débit d'eau prétraite (l/h)	-	639000
Concentration anti-scalant (ppm)	-	2
Concentration anti-scalant (g/l)	-	0,002
Débit massique (g/h)	Débit d'eau prétraite (l/h) × Concentration anti-scalant (g/l)	1278
Masse volumique d'anti-scalant (kg/l)	-	1,1
Masse volumique d'anti-scalant (g/l)	-	1100
Débit d'anti-scalant (l/h)	Débit massique g/h / masse volumique de anti-scalant (g/l)	1,162
Débit de anti-scalant a injecter (l/h)	Débit d'anti-scalant(l/h)/ 0,4	2,905
Quantité cuve (l)	-	2000,000
Temps de pompage (h)	-	24,000
Débit d'anti-scalant a injecter (l/j)	Débit d'anti-scalante a injecter (l/h) × 24	69,709
Temps de stockage (j)	$\frac{\text{Quantite cuve (l)}}{\text{Debit d'anti - scalant a injecter (l/j)}}$	28,691

Tableau VI.31 : Fiche technique de pompe doseuse d'anti-scalant.

anti-scalant		
Paramètre	Unité	Valeurs
Débit à injecter	l/j	69,7
Quantité cuve	l	2000
Nombre de pompe	-	1+1
HMT pompe	m	10

Tableau VI.32 : injection de produit chimique bisulfite.

Bisulfite		
Paramètre	Formule	Valeur
Débit d'eau prétrait (m ³ /j)	-	15336
Débit d'eau prétraité (m ³ /h)	-	639
Débit d'eau prétraité (l/h)	-	639000
concentration Bisulfite (ppm)	-	6
concentration Bisulfite (g/l)	-	0,006
Débit massique (g/h)	Débit d'eau prétraite (l/h) × Concentration bisulfite (g/l)	3834
Masse volumique Bisulfite (kg/l)	-	1,48
Masse volumique de Bisulfite (g/l)	-	1480
Débit de Bisulfite (l/h)	Débit massique (g/h) / masse volumique de bisulfite (g/l)	2,591
Débit de Bisulfite à injecter (l/h)	Débit de bisulfite (l/h) / 0,4	6,476
Quantité cuve (l)	-	5000
Temps de pompage (h)	-	24
Débit de Bisulfite à injecter (l/j)	Débit de bisulfite a injecter (l/h) × 24	155,432
Temps de stockage (j)	$\frac{\text{Quantite cuve (l)}}{\text{Debit d'anti – scalant a injecter(l/j)}}$	32,168

Tableau VI.33 : Fiche technique de la pompe doseuse de bisulfite.

Bisulfite		
Paramètre	Unité	Valeurs
Débit a injecter	l/j	155,43
Quantité cuve	l	5000
Nombre de pompe	-	1+1
HMT pompe	m	10

Tableau VI.34 : Injection de produit chimique hypochlorite.

Hypochlorite		
Paramètre	Formule	Valeur
Débit d'eau prétraité (m ³ /j)	-	15336
Débit d'eau prétraité (m ³ /h)	-	639
Débit d'eau prétraité (l/h)	-	639000
concentration Hypochlorite (ppm)	-	6
concentration Hypochlorite (g/l)	-	0,006
Débit massique (g/h)	Débit d'eau prétraite (l/h) × Concentration Hypochlorite (g/l)	3834
Masse volumique Hypochlorite (kg/l)	-	1,11
Masse volumique de Hypochlorite (g/l)	-	1110
Débit de Hypochlorite (l/h)	Débit massique (g/h) / masse volumique de Hypochlorite (g/l)	3,454
Débit de Hypochlorite injecter (l/h)	Débit d'hypochlorite (l/h) / 0,4	8,635
Quantité cuve (l)	-	5000
Temps de pompage (h)	-	24
Débit de Hypochlorite injecter (l/j)	Débit d'Hypochlorite a injecter (l/h) × 24	207,243
Temps de stockage (j)	$\frac{\text{Quantite cuve (l)}}{\text{Debit d'anti – scalant a injecter (l/j)}}$	24,126

Tableau VI.35 : Fiche technique de la pompe doseuse d'hypochlorite.

Bisulfite		
Paramètre	Unité	Valeurs
Débit a injecter	l/j	207,24
Quantité cuve	l	5000
Nombre de pompe	-	1+1
HMT pompe	m	10

VI.3.5 Filtre à cartouche

Un filtre à cartouche est une méthode employée pour la filtration de l'eau afin de supprimer les particules et les impuretés. Il est constitué d'un cylindre contenant un milieu filtrant, habituellement composé de polypropylène, de charbon actif ou de céramique, qui retient les particules indésirables lors du passage du fluide. La sortie du filtre à cartouche permet à l'eau d'entrer dans le filtre à cartouche, de passer par la cartouche filtrante et de ressortir propre. La capture des particules indésirables dans le média filtrant permet à l'eau de sortir purifiée et dépourvue de contaminants. Les membranes ont des pores de taille comprise entre 0,1 et 10 μm .



Figure VI.14 : Filtres à cartouche.

Tableau VI.36 : Caractéristique du filtre à cartouche.

Paramètre	Formule	Valeur
Type de cartouche	-	Plissée-polypropylène (5µm)
Débit a traité (m ³ /j)	-	15336
Débit a traité (m ³ /h)	-	639
Vitesse de filtration optée (m/h)	-	7
Surface de filtration (m ²)	-	7,8
Cartouche filtrante proposée (pouces)	-	60
Surface par cartouche filtrante (m ²)	-	6
Nombre minimal de cartouche	$\frac{\text{surface de filtration}}{\text{surface par cartouche filtrante} + 1}$	2
Nombre de filtre à cartouche à installer	Nombre minimal de cartouche + 1	3
Débit par micro filtre (m ³ /h)	$\frac{\text{Nombre de filtre a carto}}{\text{uche a installer}}$	213

D'après les calculs on estime :

-Nombre de micro filtre = 3 filtres

-Débit par filtre = 213 m³/h

-Vitesse de filtration = 7 m/h

VI.3.6 Dimensionnement de la pompe des filtres à cartouche (basse pression)

➤ Pertes de charge par micro filtres

$$\Delta H_s = 1,5 \text{ bar} = 15 \text{ m}$$

VI.3.6.1 Perte de charge de la Conduite d'aspiration du filtre a cartouche

➤ Choix du diamètre

$$\text{On a : } Q = 320 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tableau VI.37 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse
(conduite d'aspiration filtre à cartouche)

D extérieur (mm)	Epaisseur (mm)	D intérieure (mm)	S (m2)	V(m/s)
500	29,7	440,6	0,152	0,583
400	23,7	352,6	0,098	0,910
315	18,7	277,6	0,061	1,469
250	14,8	220,4	0,038	2,330
200	11,9	176,2	0,024	3,645
160	9,5	141	0,016	5,693

110	6,6	96,8	0,007	12,078
63	3,8	55,4	0,002	36,876

- Pour une vitesse de refoulement 0,91 m/s, on a un diamètre de 352,6 mm

➤ Calcule des pertes de charge

Tableau VI.38 : Calcul des pertes de charge totales de la conduite (conduite d'aspiration filtre à cartouche).

Paramètre	Formule	Valeur
Diamètre (m)	-	0,3526
Surface (m ²)	-	0,098
Longueur (m)	-	1
Débit (m ³ /s)	-	0,089
Vitesse (m/s)	-	0,910
Reynolds	$\frac{V \times D}{\nu}$	320978,016
λ	$[-2 \log (\frac{\epsilon}{3,7 \times D} + \frac{2,51}{Re \times \sqrt{Re}})]^2$ $- 0,3 + 0,0053$	0,016
Perte de charge linéaire (ΔH_L) (m)	$\frac{\lambda \times L}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g}$	0,002
K	-	7,3
Perte de charge singulière (ΔH_s) (m)	$K \times \frac{V^2}{2 \times g}$	0,308
Perte de charge totale (ΔH_t) (m)	Perte de charge singulière + Perte de charge linéaire	0,310

VI.3.6.2 Conduite de refoulement du filtre à cartouche

➤ Choix du diamètre

Tableau VI.27 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite de refoulement filtre à cartouche)

D extérieur (mm)	Epaisseur (mm)	D intérieure (mm)	S (m ²)	V(m/s)
500	29,7	440,6	0,152	0,583
400	23,7	352,6	0,098	0,910
315	18,7	277,6	0,061	1,469
250	14,8	220,4	0,038	2,330
200	11,9	176,2	0,024	3,645
160	9,5	141	0,016	5,693
110	6,6	96,8	0,007	12,078
63	3,8	55,4	0,002	36,876

- Pour une vitesse de refoulement **1,469 m/s**, on a un diamètre de **277,6 mm**

➤ Pertes de charge

Tableau VI.39 : Calcul des pertes de charge totales de la conduite (conduite de refoulement du filtre à cartouche).

Paramètre	Valeur
Diamètre (m)	0,2776
Surface (m ²)	0,061
Longueur (m)	1
Débit (m ³ /s)	0,089
Vitesse (m/s)	1,469
Reynolds	407697,581
λ	0,017
Perte de charge linéaire (ΔH_L) (m)	0,007
K	1,1
Perte de charge singulière (ΔH_s) (m)	0,121
Perte de charge totale (ΔH_t) (m)	0,128

VI.3.6.3 Conduite de refoulement (élargissement) du filtre à cartouche

➤ Choix du diamètre

Tableau VI.40 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite de refoulement élargissement filtre à cartouche).

D extérieur (mm)	Epaisseur (mm)	D intérieure (mm)	S (m ²)	V(m/s)
500	29,7	440,6	0,152	1,164
400	23,7	352,6	0,098	1,818
315	18,7	277,6	0,061	2,933
250	14,8	220,4	0,038	4,652
200	11,9	176,2	0,024	7,279
160	9,5	141	0,016	11,368
110	6,6	96,8	0,007	24,119
63	3,8	55,4	0,002	73,636

- Pour une vitesse de refoulement **1,164 m/s**, on a un diamètre de **440,6 mm**

➤ Calcule perte de charge

Tableau VI.41 : Calcul des pertes de charge totales de la conduite (conduite de refoulementélargissement filtre à cartouche).

Paramètre	Valeur
Diamètre (m)	0,4406
Surface (m ²)	0,152
Longueur (m)	8
Débit (m ³ /s)	0,178
Vitesse (m/s)	1,164
Reynolds	512936,948
λ	0,015
Perte de charge linéaire (ΔH_L) (m)	0,019
K	1,9
Perte de charge singulière (ΔH_s) (m)	0,129
Perte de charge totale (ΔH_t) (m)	0,148

VI.3.6.4 Conduite de refoulement pour un filtre à cartouche

➤ Choix du diamètre

$$Q = 213 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tableau VI.42 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite de refoulement par un filtre à cartouche)

D extérieur (mm)	Epaisseur (mm)	D intérieure (mm)	S (m ²)	V(m/s)
500	29,7	440,6	0,152	0,388
400	23,7	352,6	0,098	0,606
315	18,7	277,6	0,061	0,978
250	14,8	220,4	0,038	1,551
200	11,9	176,2	0,024	2,426
160	9,5	141	0,016	3,789
110	6,6	96,8	0,007	8,040

63	3,8	55,4	0,002	24,545
----	-----	------	-------	--------

- Pour une vitesse de refoulement 1,551 m/s, on a un diamètre de 220,4 mm

Tableau VI.43 : Calcul des pertes de charge totales de la conduite (conduite de refoulement par un filtre à cartouche).

Paramètre	Valeur
Diamètre (m)	0,2204
Surface (m ²)	0,038
Longueur (m)	2
Débit (m ³ /s)	0,059
Vitesse (m/s)	1,551
Reynolds	341802,812
λ	0,018
Perte de charge linéaire (ΔH_L) (m)	0,019
K	6,8
Perte de charge singulière (ΔH_s) (m)	0,818
Perte de charge totale (ΔH_t) (m)	0,837

VI.3.6.5 Perte de charge totale

- $\Delta H \text{ totale} = \sum \Delta H \text{ totales conduite} + \Delta H \text{ s filtre a sable}$

$$\Delta H \text{ totale} = 0,310 + 0,128 + 0,148 + 0,837 \longrightarrow \Delta H \text{ totale} = 16,423 \text{ m}$$

- $HMT = (16,423 + 0,5 \text{ (hauteur géométrique)}) + 20 \longrightarrow HMT = 36,923 \text{ m}$

Pour qu'on puisse démarrer la pompe à haute pression il nous faut une pression qui correspond à 2 bar (20 m)

Tableau VI.44 : Récapitulatif.

Conduite / Paramètre	Aspiration	Refoulement	Refoulement (élargissement)	Refoulement par un filtre
Débit (m ³ /h)	320	320	639	213
Diamètre (mm)	352,6	277,6	440,6	220,4
Longueur (m)	1	1	8	2
Perte de charge totale (ΔH_t) (m)	0,310	0,128	0,148	0,837

VI.3.6.6 Choix de pompe

Pour un débit 320 (m³/h) et une Hmt de 36.923 m , nous avons choisi la pompe CAPRARI de référence (MEC-A 3/125A) à l'aide de catalogue

(PUMP TUTOR CAPRARI)

✓ Description de la pompe

Pompe MEC-A 3/125A

- Centrifuge monocanal à axe horizontal
- Palier de base à roulements à bain d'huile
- Corps extérieur : en fonte
- Roue : en fonte
- Arbre : en acier au carbone protégé, au niveau de la garniture, par une bague d'usure interchangeable
- Garniture : à tresse, réglable à faible coefficient de frottement

✓ Données techniques (Caractéristiques) :

Q : 160,1 m³/h

H : 37 m

n. poles: 4

Fréquence : 50 Hz

Monophasé / Triphasé : 3~

Puissance moteurP2 : 30 kW

Tension : 400 V

Diamètre refoulement : DN125 16 bar

Raccord d'aspiration: DN150 16 bar

✓ Nombre de pompes installées

Pour refouler un débit de **Q = 639 m³/h** nous avons utilise deux pompes de type

MEC-A 3/125A installées en parallèle et une autre pompe identique de secours

Tableau VI.45 : Description de la pompe.

Hauteur refoulement (m)	Débit de pompage (m ³ /h)	Nom de la pompe	Type de pompe	Type d'installation	Nombre de pompe

37	132.6	CAPRARI MEC-A 3/125A	Centrifuge monocanal a axe horizontal	Pompe identique en parallèle	3
----	-------	----------------------------	---	------------------------------------	---

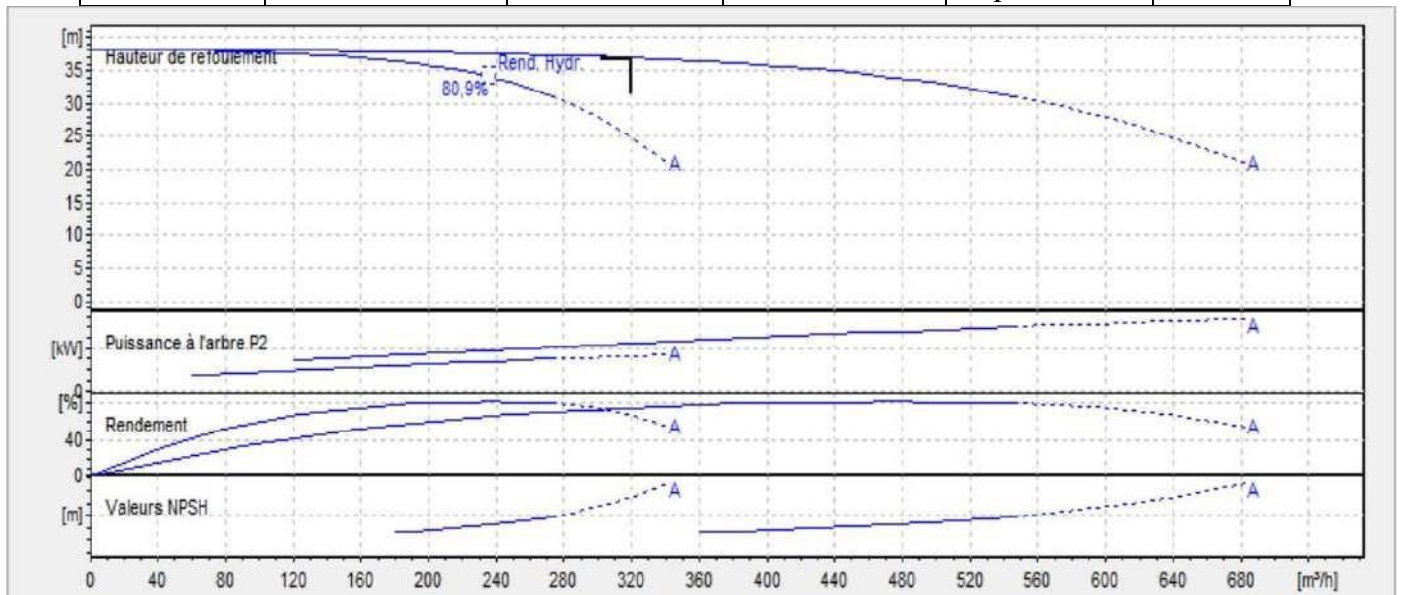


Figure VI.15 : Courbes caractéristique de l'installation.

Tableau VI.46 : Données techniques et caractéristique

Données techniques	Caractéristiques
Q	132,6 m³/h
H	37 m
Rendement	74,90%
Puissance	44,3 KW
Vitesse	1460 tr/min
NPSH requis	2,43 m

$$Ns = \frac{N \times \sqrt{Q}}{HMT^{\frac{2}{3}}} = \frac{1460 \times \sqrt{\frac{320}{60 \times 60}}}{36,923^{\frac{2}{3}}} \longrightarrow Ns = 29,06 \text{ tr/min}$$

Donc l'entrée de la roue est Axiale et la sortie est Axiale

➤ Vérification au non cavitation :

$$(NPSH)_{disponible} = \left(\frac{P_t}{\rho \times g} \right)_{abs} - \frac{P_v}{\rho \times g} = \left(\frac{P_{atm}}{\rho \times g} \right)_{abs} + h_a - \frac{V_e^2}{2 \times g} - h_{ft,a} - \frac{P_v}{\rho \times g}$$

$$NPSH_{disponible} \approx \left(\frac{P_{atm}}{\rho \times g} \right) + H_{asp} - j_{asp}$$

Avec :

- H aspiration : 1 m (hauteur d'aspiration)
- J aspiration : 0,205 (perte de charge dans la conduite d'aspiration)

NPSH disponible = $10 + 0,5 - 0,310 = 10,19$ m

NPSH requis = 2,43 m

On observe que NPSH_{disponible} est largement plus grande que le NPSH_{requis},

Alors la condition de non cavitation est vérifiée.

VI.3.7 Dimensionnement osmose inverse

L'osmose inverse est basée sur le phénomène naturel de l'osmose, qui se produit lorsque deux solutions de concentrations différentes sont séparées par une membrane semi-perméable. Dans le cas de l'osmose inverse, cette membrane est conçue pour ne permettre le passage que des molécules d'eau, tout en retenant les solutés et les contaminants.

VI.3.7.1 Choix des membranes

Les éléments d'osmose inverse sont choisis dans la gamme WAVE

Il a sélectionné les membranes suivantes ECO PRO-400 qui donnent l'installation la plus petite et la plus économique

➤ Simulation sur le logiciel WAVE (Water Application Value Engine)

Le processus de simulation pour déterminer les membranes les plus adéquates se fait sur le logiciel WAVE comme suit :

Toutes les étapes de la simulation seront illustrées par des captures d'écran et des explications de chaque étape

- ETAPE 01 :

Home : la première étape consiste à choisir :

- le type de technologies utilisé
- le flux d'alimentation ou le flux du perméat
- le type d'eau

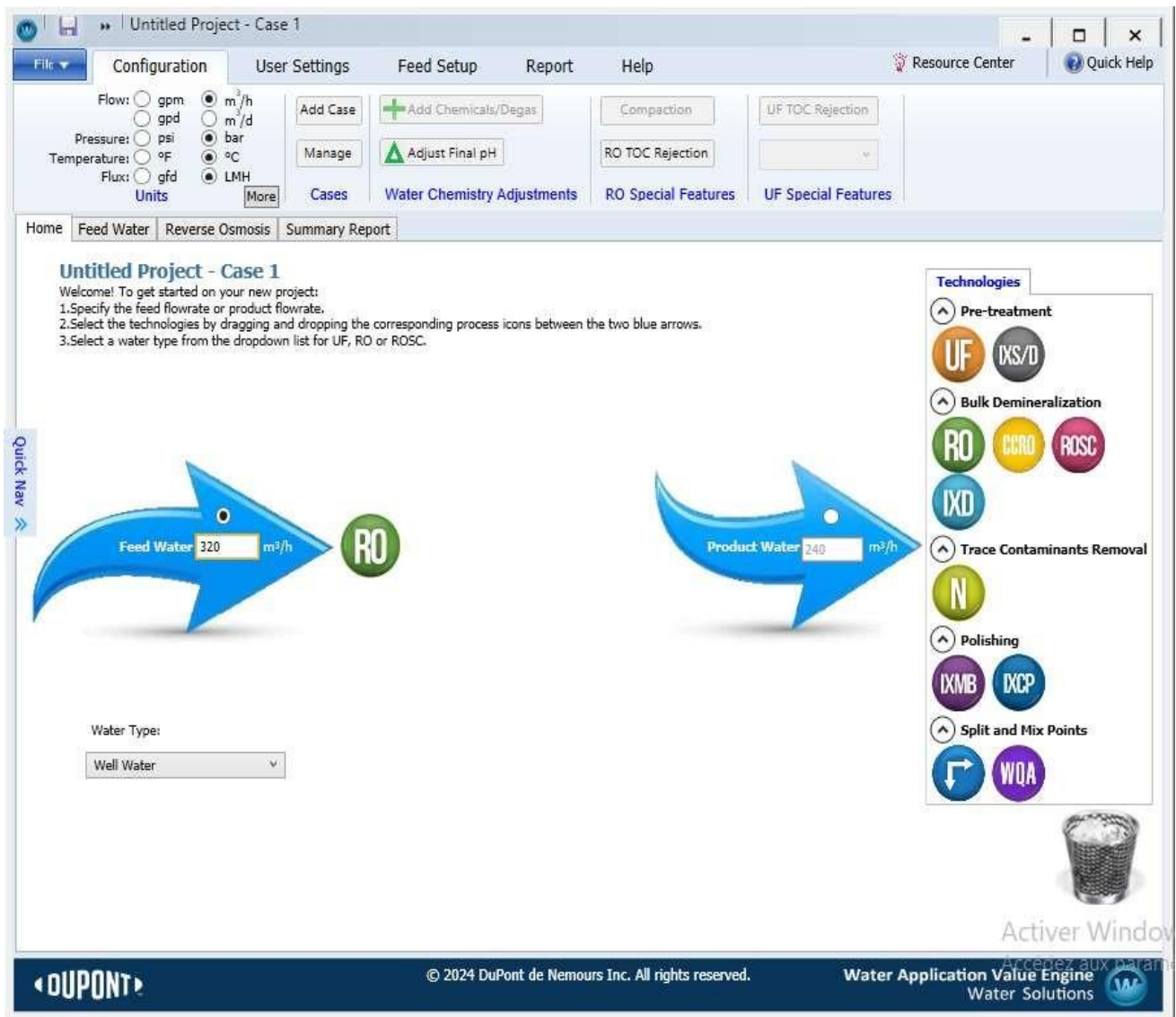


Figure VI.16. Capture d'écran ces technologies et du débit a utilisé

- **ETAPE 02 :**

Feed water : cette étape permet d'intégrer les caractéristiques de l'eau brute telle que le taux du PH, le taux de Magnésium, la conductivité ...

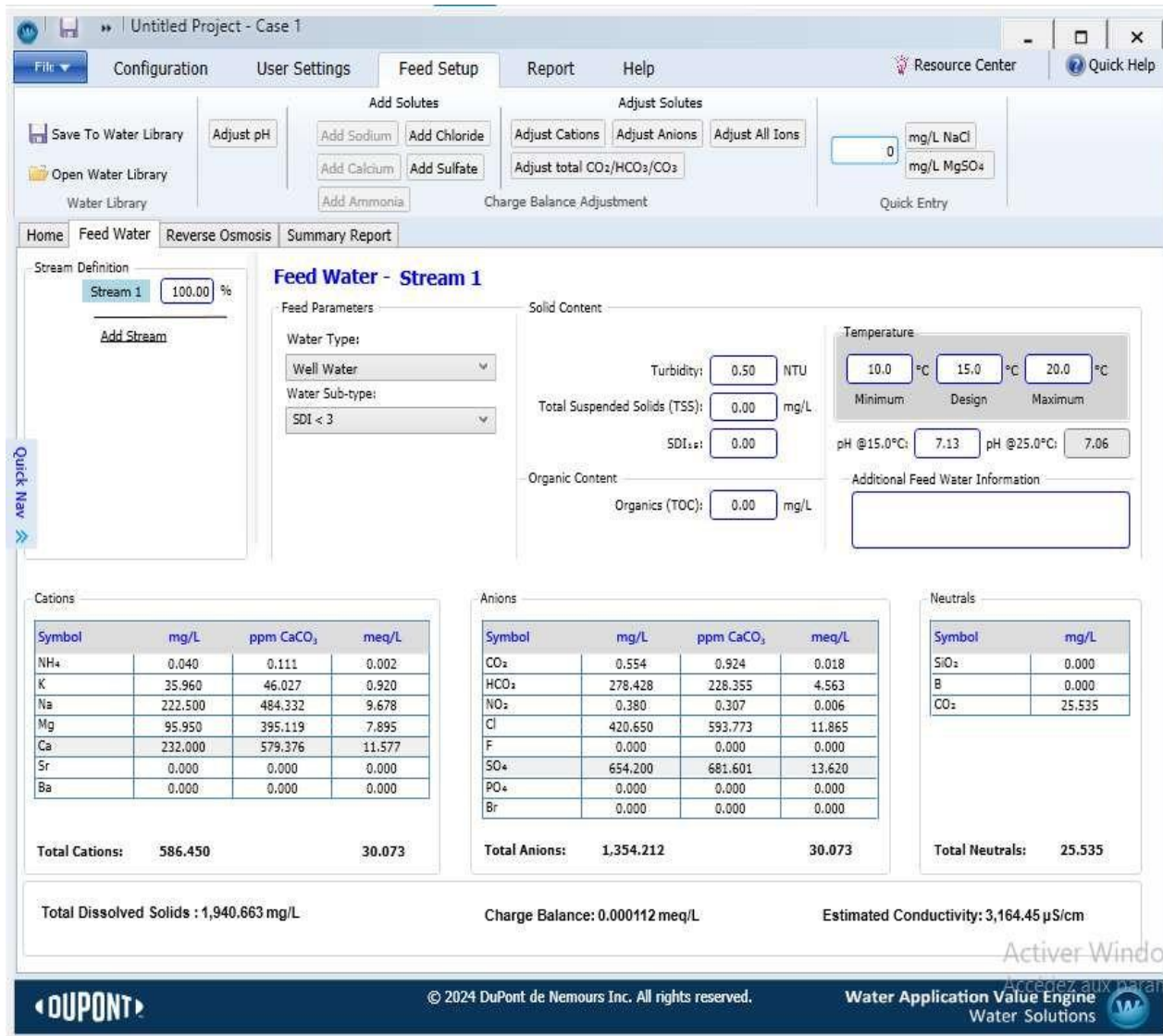


Figure VI.17 : Capture d'écran de l'insertion des analyses de l'eau brute dans WAVE.

- **ETAPE 03 :**
 Reverse osmosis : cette etape permet de choisir :
 - le nombre d'etape
 - le nombre de membrane
 - le type de membrane
 - le debit de mélange

Reverse Osmosis Pass Configuration

Configuration for Pass 1

Number of Stages: 1 2 3 4 5

Flow Factor:

Temperature: Design °C

Pass Permeate Back Pressure: bar

Flows

Feed Flow: m³/h

Recovery: %

Permeate Flow: m³/h

Flux: LMH

Conc. Recycle Flow: m³/h

Bypass Flow: m³/h

	Stage 1	Stage 2
# PV per stage	24	12
# Els per PV	6	6
Element Type	BW30HRL-440	BW30HRL-440
Specs		
Total Els per Stage	144	72
Pre-stage ΔP (bar)	0.31	0.20
Stage Back Press (bar)	0.00	0.00
Boost Press (bar)	N/A	0
Feed Press (bar)	0	N/A
% Conc to Feed	0.00	0.00
Flow Factor	0.85	0.85

System Configuration

Feed, Bypass, Concentrate, Permeate

RO

© 2024 DuPont de Nemours Inc. All rights reserved. Water Application Value Engine Water Solutions

Reverse Osmosis Flow Calculator

RO System Feed Flow Rate: Automatic m³/h

RO System Summary

Feed Flow: m³/h

Product Flow: m³/h

Concentrate Flow: m³/h

System Recovery: %

Pass 1

Net Feed Flow: m³/h

Permeate Flow: m³/h

Flux: LMH

Recovery: %

Conc. Flowrate: m³/h

Conc. Recycle to head of:

%

m³/h

Pass Size Optimization

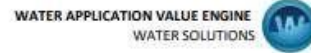
Bypass None

% of feed to RO Product

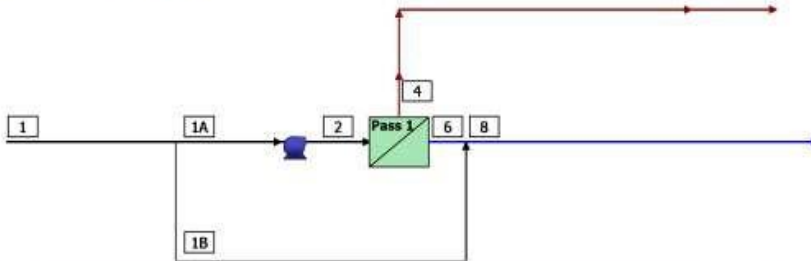
m³/h

Figure VI.18 : Capture d'écran de la dernière étape avant calcul.

RESULTATS :



RO Summary Report
RO System Flow Diagram



#	Description	Flow (m³/h)	TDS (mg/L)	Pressure (bar)
1	Raw Feed to RO System	320.0	1,941	0.0
1A	Feed to Pass 1 after bypass	262.4	1,941	0.0
1B	Bypass from Pass 1 Feed to Pass 1 Permeate	57.6	1,941	0.0
2	Net Feed to Pass 1	262.3	1,942	9.7
4	Total Concentrate from Pass 1	80.0	6,325	5.9
6	Net Product from RO System	182.4	17.70	0.0
8	Blend of Pass 1 Permeate and Bypassed Pass 1 Feed	240.0	479.2	0.0

RO System Overview

Total # of Units	1	Online =	1	Standby =	0	RO Recovery	75.0 %
System Flow Rate	(m³/h)	Net Feed =	320.0	Net Product =	240.0		

Pass	Pass 1**
Stream Name	Stream 1
Water Type	Well Water (SDI < 3)
Number of Elements	216
Total Active Area (m²)	8830
Feed Flow per Pass (m³/h)	262.3
Feed TDS* (mg/L)	1,942
Feed Pressure (bar)	9.7
Flow Factor Per Stage	0.85, 0.85
Permeate Flow per Pass (m³/h)	182.4
Pass Average flux (LMH)	20.7
Permeate TDS* (mg/L)	17.70
Pass Recovery	69.5 %
Average NDP (bar)	6
Specific Energy (kWh/m³)	0.37
Temperature (°C)	15.0
pH	7.1
Chemical Dose	-
RO System Recovery	75.0 %
Net RO System Recovery	75.0%

Footnotes:

*Total Dissolved Solids and Conductivity includes ions, SiO₂ and B. It does not include NH₃ and CO₂

** Design includes Bypass. Please refer to the RO System Diagram.

Figure VI.19 : Capture des résultats de logiciel Wave (1/3)



RO Flow Table (Stage Level) - Pass 1

Stage	Elements	#PV	#Els per PV	Feed				Concentrate			Permeate			
				Feed Flow	Recirc Flow	Feed Press	Boost Press	Conc Flow	Conc Press	Press Drop	Perm Flow	Avg Flux	Perm Press	Perm TDS
				(m ³ /h)	(m ³ /h)	(bar)	(bar)	(m ³ /h)	(bar)	(bar)	(m ³ /h)	(LMH)	(bar)	(mg/L)
1	BW30HRLE-440	24	6	262.3	0.00	9.4	0.0	123.0	7.8	1.6	139.4	23.7	0.0	11.89
2	BW30HRLE-440	12	6	123.0	0.0	7.6	0.0	80.0	5.9	1.7	43.0	14.6	0.0	36.64

RO Solute Concentrations - Pass 1

Concentrations (mg/L as ion)							
	Feed	Concentrate		Permeate			
		Stage1	Stage2	Stage1	Stage2	Total	With Bypass
NH ₄ ⁺	0.04	0.08	0.13	0.00	0.00	0.00	0.01
K ⁺	35.96	76.15	116.2	0.53	1.70	0.81	9.24
Na ⁺	222.5	471.3	719.4	3.17	9.94	4.77	57.01
Mg ⁺²	95.95	204.7	314.7	0.08	0.24	0.11	23.11
Ca ⁺²	232.0	494.9	760.7	0.21	0.65	0.32	55.91
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.44	2.32	5.96	0.00	0.00	0.00	0.02
HCO ₃ ⁻	278.7	587.7	892.8	3.94	11.55	5.69	71.27
NO ₃ ⁻	0.38	0.80	1.20	0.01	0.04	0.02	0.11
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	420.7	894.0	1,369	3.36	10.67	5.09	104.8
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	654.2	1,396	2,145	0.60	1.85	0.90	157.7
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	25.45	26.22	27.60	25.51	26.83	25.86	25.76
TDS*	1,941	4,127	6,325	11.89	36.64	17.70	479.2
Cond. μS/cm	3,164	6,261	9,135	21	62	30	854
pH	7.1	7.4	7.5	5.7	6.1	5.6	6.6

Footnotes:

*Total Dissolved Solids and Conductivity includes ions, SiO₂ and B. It does not include NH₃ and CO₂

RO Design Warnings

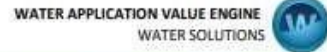
None

Special Comments

None

RO Flow Table (Element Level) - Pass 1

Figure VI.20 : Capture des résultats de logiciel Wave (2/3).



Stage	Element	Element Name	Recovery (%)	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Feed TDS (mg/L)	Conc Flow (m³/h)	Perm Flow (m³/h)	Perm Flux (LMH)	Perm TDS (mg/L)
1	1	BW30HRLE-440	10.2	10.9	9.4	1,942	9.82	1.11	27.2	7.39
1	2	BW30HRLE-440	10.7	9.82	9.0	2,161	8.77	1.05	25.7	8.70
1	3	BW30HRLE-440	11.3	8.77	8.7	2,418	7.78	0.99	24.2	10.38
1	4	BW30HRLE-440	12.0	7.78	8.4	2,724	6.84	0.94	22.9	12.55
1	5	BW30HRLE-440	12.9	6.84	8.2	3,095	5.96	0.89	21.7	15.42
1	6	BW30HRLE-440	14.0	5.96	8.0	3,552	5.12	0.84	20.4	19.33
2	1	BW30HRLE-440	7.3	10.3	7.6	4,127	9.49	0.75	18.4	23.53
2	2	BW30HRLE-440	7.2	9.49	7.2	4,452	8.81	0.68	16.7	28.11
2	3	BW30HRLE-440	7.1	8.81	6.9	4,795	8.19	0.62	15.2	33.63
2	4	BW30HRLE-440	6.9	8.19	6.6	5,156	7.63	0.56	13.8	40.27
2	5	BW30HRLE-440	6.7	7.63	6.4	5,533	7.12	0.51	12.4	48.24
2	6	BW30HRLE-440	6.4	7.12	6.1	5,923	6.66	0.46	11.2	57.77

Footnotes:

*Total Dissolved Solids and Conductivity includes ions, SiO₂ and B. It does not include NH₃ and CO₂

RO Solubility Warnings

Warning	Pass No
Langelier Saturation Index > 0	1
CaSO ₄ (% saturation) > 100	1
Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.	1

RO Chemical Adjustments

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc
pH	7.1	7.5
Langelier Saturation Index	0.08	1.44
Stiff & Davis Stability Index	0.17	1.08
TDS* (mg/l)	1,941	6,325
Ionic Strength (molal)	0.05	0.15
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	278.7	892.8
CO ₂ (mg/l)	25.44	27.60
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.44	5.96
CaSO ₄ (% saturation)	21.5	109.1
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	0.00	0.00
SiO ₂ (% saturation)	0.00	0.00
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.01

Footnotes:

*Total Dissolved Solids and Conductivity includes ions, SiO₂ and B. It does not include NH₃ and CO₂

Figure VI.21 : Capture des résultats de logiciel Wave (3/3).

VI.3.8 Station de pompage (Haute Pression)

La pompe haute pression constitue le principal consommateur d'énergie de l'installation, car elle génère la pression nécessaire pour produire l'eau osmosée. Le débit de cette pompe dépend de la capacité de production de l'installation ainsi que du taux de conversion. La pression exercée par la pompe est principalement influencée par le taux de conversion et la composition de l'eau brute.

Pour les eaux saumâtres (salinité inférieure à 10 g/l), la pression typique se situe entre 10 et 20 bars. En revanche, pour les eaux de mer, on utilise généralement une pression de 60 à 70 bars.

Habituellement, les petites installations de dessalement d'eau de mer utilisent des pompes à piston. Quant aux installations de dessalement d'eau de mer et d'eau saumâtre de moyenne et grande capacité, elles emploient des pompes centrifuges horizontales ou verticales. Pour optimiser la consommation d'énergie, ces pompes sont souvent régulées par des variateurs de vitesse.

VI.3.8.1 Dimensionnement de la pompe à haute pression

VI.3.8.1.a. Conduite d'aspiration au niveau de la pompe haute pression

- Choix du diamètre

On a : $Q = 262.4 \text{ m}^3/\text{h}$ (320 – 20% Mélange)

Tableau VI.47 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse
(conduite d'aspiration pompe à haute pression)

D extérieur (mm)	Epaisseur (mm)	D intérieure (mm)	S (m ²)	V(m/s)
500	29,7	440,6	0,152	0,478
400	23,7	352,6	0,098	0,746
315	18,7	277,6	0,061	1,204
250	14,8	220,4	0,038	1,911
200	11,9	176,2	0,024	2,989
160	9,5	141	0,016	4,668
110	6,6	96,8	0,007	9,904
63	3,8	55,4	0,002	30,238

- Pour une vitesse de refoulement **0,746 m/s**, on a un diamètre de **352,6 mm**

- Calcule de pertes de charge

Tableau VI.48 : Calcul des pertes de charge totales de la conduite (conduite d'aspiration pompe haute pression).

Paramètre	Formule	Valeur
Diamètre (m)	-	0,3526
Surface (m ²)	-	0,098
Longueur (m)	-	1
Débit (m ³ /s)	-	0,073
Vitesse (m/s)	-	0,746
Reynolds	$\frac{V \times D}{\nu}$	263039,600
λ	$\left[-2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7 \times D} + \frac{2,51}{Re \times \sqrt{Re}} \right) \right]^2$	0,017
Perte de charge linéaire (ΔH_L) (m)	$\frac{\lambda \times L}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g}$	0,001
K	-	7,3
Perte de charge singulière (ΔH_s) (m)	$K \times \frac{V^2}{2 \times g}$	0,207
Perte de charge totale (ΔH_t) (m)	Perte de charge singulière + Perte de charge linéaire	0,208

VI.3.8.1.b. Conduite de refoulement

➤ Choix du diamètre

$$Q = 262.4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tableau VI.49 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite de refoulement pompe à haute pression)

D extérieur (mm)	Epaisseur (mm)	D intérieure (mm)	S (m ²)	V(m/s)
500	29,7	440,6	0,152	0,478
400	23,7	352,6	0,098	0,746
315	18,7	277,6	0,061	1,204
250	14,8	220,4	0,038	1,911
200	11,9	176,2	0,024	2,989
160	9,5	141	0,016	4,668
110	6,6	96,8	0,007	9,904
63	3,8	55,4	0,002	30,238

- Pour une vitesse de refoulement 1,204 m/s, on a un diamètre de 277,6 mm

➤ Calcul de pertes de charge

Tableau VI.50 : Calcul des pertes de charge totales de la conduite (conduite de refoulement pompe à haute pression).

Paramètre	Valeur
Diamètre (m)	0,2776
Surface (m ²)	0,061
Longueur (m)	1
Débit (m ³ /s)	0,073
Vitesse (m/s)	1,204
Reynolds	334230,4
λ	0,017
Perte de charge linéaire (ΔH_L) (m)	0,005
K	1,1
Perte de charge singulière (ΔH_s) (m)	0,081
Perte de charge totale (ΔH_t) (m)	0,086

VI.3.8.1.c. Pertes de charge totale

- ΔH totale = $\Sigma \Delta H$ totales conduite + ΔH s tube osmose (0,2 bar par flux filtre)

$$\Delta H \text{ totale} = 0,208 + 0,086 + ((2 \times 6) \times 2) \longrightarrow \Delta H \text{ totale} = 24,294 \text{ m}$$

- $HMT = (24,438 + 94) \longrightarrow HMT = 118.294 \text{ m}$

VI.3.8.1.d. Choix des pompes

Nous avons choisi la pompe CAPRARI de référence (**PM 125 / 6 C**) à l'aide de catalogue (PUMP TUTOR CAPRARI)

- ✓ Description de la pompe

Pompe **PM 125 / 6 C**

- Roues, diffuseurs et corps d'aspiration : en fonte
- Corps de refoulement et corps d'étage : en fonte (PMS : en fonte sphéroïdale)
- Corps de refoulement avec pieds de support et orifice de refoulement tourné vers le haut ; corps d'aspiration à bouche orientable
- Arbre en acier inoxydable entièrement protégé par une douille en acier inoxydable. Double palier

- Roulements à billes largement dimensionnés pour supporter les charges radiales et axiales dans les deux sens

- Garniture : à tresse, réglable à faible coefficient de frottement

- Hauteur d'arbre normalisée (UNI 2946)

✓ Données techniques (Caractéristiques) :

Q : 130.4 m³/h

H : 117 m

n. poles: 4

Fréquence : 50 Hz

Monophasé / Triphasé : 3~

Puissance moteurP2 : 75 kW

Tension : 400 V

Diamètre refoulement : DN125 (UNI PN40)

Raccord d'aspiration: DN150 (UNI PN25)

✓ Nombre de pompes installées

Pour refouler un débit de **Q=639 m³/h** nous avons utilise deux pompes de type **PM 125 / 6 C** installées en parallèle et une autre pompe identique de secours .

Tableau VI.51 : Caractéristique de la pompe.

Hauteur de refoulement (m)	Débit de pompage (m ³ /h)	Nom de la pompe	Type de pompe	Type d'installation	Nombre de Pompe
117	130,4	CAPRARI PM 125 / 6 C	Centrifuge multicellulaire pour hautes pressions a axe horizontal	Pompe identique en parallèle	3

✓ Courbe caractéristique de la conduite

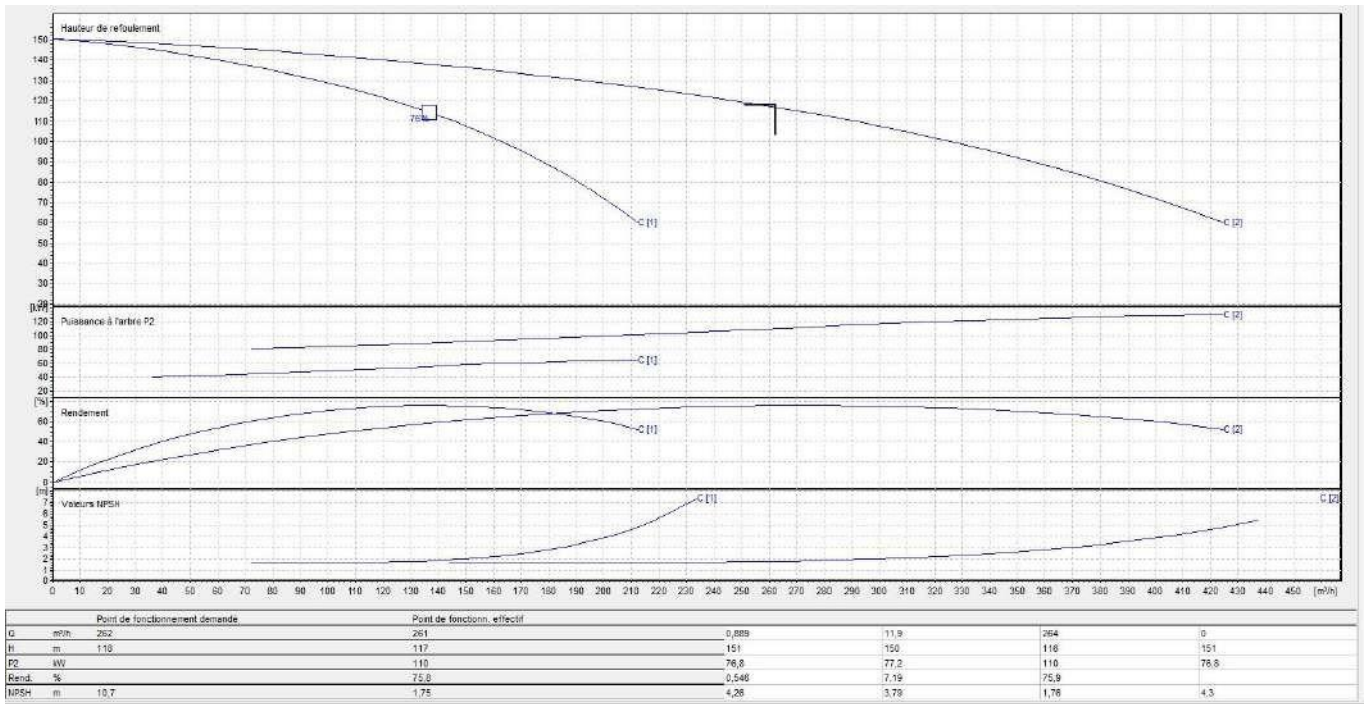


Figure VI.22 : Courbe caractéristique de l'installation.

Tableau VI.52 : Caractéristique de la pompe.

Données technique	Caractéristiques
Q	261
H	117
Rendement	75,8
Puissance	110
Vitesse	1450
NPSH requis	1,75

$$N_s = \frac{N \times \sqrt{Q}}{HMT^2} = \frac{1450 \times \sqrt{\frac{262}{60 \times 60}}}{117^4} \quad N_s = 10.99 \text{ tr/min}$$

Donc l'entrée de la roue est Axiale et la sortie est Axiale

➤ Vérification au non cavitation :

$$(NPSH)_{disponible} = \left(\frac{P_t}{\rho \times g} \right)_{abs} - \frac{P_v}{\rho \times g} = \left(\frac{P_{atm}}{\rho \times g} \right)_{abs} + h_a - \frac{V_e^2}{2 \times g} - h_{ft, a} - \frac{P_v}{\rho \times g}$$

$$NPSH_{disponible} \approx \left(\frac{P_{atm}}{\rho \times g} \right) + H_{asp} - j_{asp}$$

Avec : - H aspiration : 1 m

- J aspiration : 0,310 (perte de charge dans la conduite d'aspiration)

$$\text{NPSH disponible} = 10 + 1 - 0,310 = 10,69 \text{ m}$$

$$\text{NPSH requis} = 1.75 \text{ m}$$

On observe que NPSH_{disponible} est largement plus grande que le NPSH_{requis},

Alors la condition de non cavitation est vérifiée.

VI.4 Dimensionnement CIP

Le CIP (Clean in place) d'une membrane d'osmose inverse est une procédure de maintenance visant à éliminer les dépôts accumulés sur la membrane, tels que les minéraux, les matières organiques et les biofilms, afin de maintenir l'efficacité et prolonger la durée de vie de la membrane.

Le CIP se fait avec des solutions chimiques sur deux étapes on commence avec une solution basique puis on effectue le rinçage de cette dernière, ensuite on répète la procédure mais cette fois avec une solution acide.

Le temps nécessaire pour effectuer un nettoyage CIP est de 8 minutes .

Le dimensionnement se fait toujours par rapport au 1^{er} étage,

But CIP : Effectuer un nettoyage 3 à 4 fois par an, en particulier lorsque l'encrassement des membranes est élevé.

Tableau VI.53 : Volume de cuve nécessaire au CIP.

Paramètre	Formule	Valeur
Volume nécessaire pour CIP par Tube (m ³)	-	0.25
Nombre de tube	-	24
Volume de la cuve (m ³)	Volume CIP × Nbr de tube	6 + 0.5

$$\text{Volume de la cuve} = 6.5 \text{ m}^3$$

Remarque :

-Volume de la cuve : on rajoute 0.5 m³ pour que les conduites restent pleines au moment du nettoyage

VI.4.1. Dimensionnement de la pompe CIP

➤ Choix du diamètre :

- Débit nécessaire : 10.5 m³/h par tube (norme américaine)

$Q = 10.5 \times 24$ (nombre de tubes)

$Q = 252$ m³/h

Tableau VI.54 : Choix de du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse
(conduite d'aspiration CIP)

D extérieur (mm)	Epaisseur (mm)	D intérieure (mm)	S (m ²)	V(m/s)
500	29,7	440,6	0,152	0,459
400	23,7	352,6	0,098	0,717
315	18,7	277,6	0,061	1,157
250	14,8	220,4	0,038	1,835
200	11,9	176,2	0,024	2,871
160	9,5	141	0,016	4,483
110	6,6	96,8	0,007	9,512
63	3,8	55,4	0,002	29,039

- Pour une vitesse d'aspiration **0.717 m/s** on a un diamètre de **352.6 mm**

➤ Calcul perte de charge

Tableau VI.55 : Calcul des pertes de charge totales de la conduite (conduite d'aspiration CIP)

Paramétré	Valeur
Diamètre (m)	0,3526
Surface (m ²)	0,098
Longueur (m)	2
Débit (m ³ /s)	0,070
Vitesse (m/s)	0,717
Reynolds	252770,1876
λ	0,017
Perte de charge linéaire (ΔH_L) (m)	0,002
K	6,8
Perte de charge singulière (ΔH_s) (m)	0,175
Perte de charge totale (ΔH_t) (m)	0,177

VI.4.1.1. Conduite de refoulement

➤ Choix du diamètre

$$Q = 252 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tableau VI.56 : Choix du diamètre intérieur de la conduite par rapport à la vitesse (conduite de refoulement CIP).

D extérieur (mm)	Épaisseur (mm)	D intérieure (mm)	S (m ²)	V(m/s)
500	29,7	440,6	0,152	0,459
400	23,7	352,6	0,098	0,717
315	18,7	277,6	0,061	1,157
250	14,8	220,4	0,038	1,835
200	11,9	176,2	0,024	2,871
160	9,5	141	0,016	4,483
110	6,6	96,8	0,007	9,512
63	3,8	55,4	0,002	29,039

- Pour une vitesse de refoulement de **1.377 m/s** on a un diamètre de **96.8 mm**

➤ Calcul perte de charge :

Tableau VI.57 : Calcul des pertes de charge totales de la conduite (conduite de refoulement CIP).

Paramétré	Valeur
Diamètre (m)	0,2779
Surface (m ²)	0,061
Longueur (m)	2
Débit (m ³ /s)	0,084
Vitesse (m/s)	1,377
Reynolds	382668,3
λ	0,017
Perte de charge linéaire (ΔH_L) (m)	0,011
K	6,8
Perte de charge singulière (ΔH_s) (m)	0,645
Perte de charge totale (ΔH_t) (m)	0,656

VI.4.1.2. Pertes de charge totales

$$- \Delta H \text{ totale} = \sum \Delta H \text{ totales conduite} = 0.656 + 0.177 = 0.833 \text{ m}$$

- $HMT = 0.833 + 12$ (perte de charge de colmatage des membrane $0.2 \text{ bar} \times 6$) + 2
sécurité

$$HMT = 14.833 \text{ m}$$

Tableau VI.58 : Récapitulatif pompe CIP.

Paramètre	unité	valeur
Débit d'alimentation des filtres	m^3/h	252
Nombre de pompe	-	1 + 1
Débit unitaire	m^3/h	10.5
HMT des pompes	m	14,796

VI.5 Réservoir de rejet

Le réservoir de rejet a pour rôle de collecter le concentrât issu du processus d'osmose inverse en vue d'une utilisation potentielle ultérieure et de réguler les fluctuations de débit.

VI.5.1. Dimensionnement du réservoir de rejet

Avec :
$$V = Q \times T_s$$

- ✓ V : Volume (m^3)
- ✓ Q : Débit d'alimentation (m^3/h)
- ✓ T_s : Temps de séjour (h)

$$Q = 80 \times 2 = 160 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$$T_s = 1 \text{ h}$$

Donc on a :

$$V = 160 \times 1 \rightarrow V = 160 \text{ m}^3$$

VI.6 Dimensionnement du réservoir d'eau traité

Avec :
$$V = Q \times T_s$$

- ✓ V : Volume (m^3)
- ✓ Q : Débit d'alimentation (m^3/h)
- ✓ T_s : Temps de séjour (h)

$$Q = 240 \times 2 = 480 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$T_s = 3 \text{ h}$

Donc on a :

$$V = 240 \times 3 \rightarrow V = 720 \text{ m}^3$$

VI.7 Les analyse d'eau traité

Tableau VI.59 : Analyse de l'eau traité interprété en code de couleur.

Paramètres Organique	Unité	Eau Filtré	Norme Algérienne
Colleur	mg/l platine	0	15
Odeur a 25°C	Taux dilution	0	4
Saveur a 25°C	Taux dilution	-	4
SDI	mg/l platine	-	-
Concentration en ion hydrogène	PH	7,2	>6,5 et < 9
Conductivité a 25°C	µS/cm	2597	2800
Température	°C	21	25
Turbidité	NTU	0,8	5
TDS	mg/l	69	100
Résidu sec a 105°C	mg/l	-	2000
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	0	0,5
Nitrites (NO ₂ ⁻)	mg/l	0	0,2
Phosphore (P)	mg/l	-	5
Calcium (Ca ²⁺)	mg/l	59	200
Magnésium (Mg ²⁺)	mg/l	31	60
Dureté totale (TH)	mg/l CaCO ₃	279	500
Sodium (Na ⁺)	mg/l	-	200
Potassium (K ⁺)	mg/l	-	12
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	-	500
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/l	165	400
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/l	0	50
Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	mg/l CaCO ₃	34	65
Hydrogénocarbonate (HCO ₃ ⁻)	mg/l	231,85	300

Source : JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 13, 2012

Légende : Acceptable

Les analyses sont faites par laboratoire d'ADE ZITOUN ABDELHAK lieu de prélèvement de la station de déminéralisation de DJAMAA EL OUED le 8/12/2021.

➤ Interprétation des résultats

Selon les informations du Tableau 59, les paramètres tels que le pH, la dureté, la turbidité, la salinité, la conductivité et la couleur respectent les normes en vigueur en Algérie et restent dans les valeurs limites fixées par ces normes.

VI.8 Conclusion

Suite à ce chapitre, nous avons pu concevoir les dimensions de la station de déminéralisation étudiée en suivant une série d'étapes de calcul méthodiques. Avec une capacité de production journalière de 15 336 mètres cubes, cette station alimentera les réservoirs de proximité en eau destinée à un usage domestique. Elle sera principalement constituée d'une chaîne de traitement comprenant :

- Des installations de prétraitement chimique.
- Des installations de prétraitement physique, incluant :
 - 5 filtres horizontaux monocouches à sable
 - 3 filtres à cartouches, chacun équipé de 60 cartouches
- Une unité d'osmose inverse à deux étages et deux lignes, totalisant 369 modules.
- Un poste de reminéralisation.

Sans oublier l'ensemble des systèmes de pompage nécessaires, les réservoirs et les bâches d'eau de différentes capacités, ainsi que le refroidisseur qui joue un rôle essentiel dans cette chaîne de traitement.

Chapitre VII :

Devis estimatif de la station de déminéralisation

VII.1. Introduction

Après une vaste étude sur une station de désalinisation par osmose inverse, cette technologie s'est révélée très prometteuse pour faire face à la pénurie d'eau et représente une solution adéquate pour l'approvisionnement en eau potable dans la région d'El Oued, connue pour son eau fortement salée dépassant les normes de consommation.

De manière générale, l'osmose inverse permet d'obtenir une eau de bonne qualité à un coût raisonnable. Cependant, l'inconvénient majeur est qu'elle produit une eau trop déminéralisée à la sortie si l'eau brute n'est pas excessivement salée, nécessitant ainsi une reminéralisations de l'eau traitée. D'autres problèmes courants de l'osmose inverse incluent l'encrassement des membranes, les précipitations chimiques dues à des erreurs de dosage des réactifs ou de manipulation, ainsi que la prolifération bactérienne causée par des concentrations incorrectes de réactifs ou des erreurs de manipulation.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons des estimations pour notre station, en prenant en compte tous les paramètres possibles, ce qui nous permettra d'approximer le coût de production par mètre cube d'eau.

Dans cette situation, il est important de considérer les différents facteurs qui influencent les coûts de production des usines de déminéralisation, qui sont :

- Salinité de l'eau.
- Taille de l'installation.
- Exigences de qualité de l'eau produite.
- Conditions spécifiques au site.
- Sélection du processus.
- Période de construction.
- Durée de vie des équipements.
- Coût énergétique, purement mécanique dans le cas de l'osmose inverse.
- Destination de l'eau dessalée.

La diversité de ces éléments engendre une fluctuation significative dans le prix de revient au mètre cube d'eau.

VII.2. L'investissement

L'investissement représente le processus par lequel une entreprise engage des fonds dans le but d'accroître ses bénéfices. Contrairement aux charges, qui découlent directement de l'activité de l'entreprise, l'investissement constitue un engagement à la fois de la part de l'entreprise et de ses actionnaires. Cela peut se traduire, par exemple, par l'acquisition de machines plus efficaces ou par l'expansion du réseau de vente avec l'ouverture de nouveaux magasins. Il est tout à fait possible qu'une entreprise réalise simultanément plusieurs investissements.

Le coût d'investissement donné par la relation suivante :

$$C_{inv} = C1 + C2 + C3 + C4 \quad (VII.1)$$

Avec :

- C_{inv} : Coût d'investissement
- C1 : Coût de prise d'eau
- C2 : Coût des membranes
- C3 : Coût de système d'énergie
- C4 : Coût de génie civil

En d'autres termes, l'investissement total englobe non seulement les coûts de construction de l'unité de production, mais aussi les coûts liés à l'acquisition de l'équipement principal et secondaire.

VII.2.1 Coût de la construction de l'unité

La construction se réfère à tout ce qui est construit, comme les bâtiments, les réservoirs, les conduites, etc. En d'autres termes, cela inclut la partie génie civil ainsi que les charges associées telles que la main-d'œuvre et le transport, ainsi que les travaux liés à la prise d'eau.

- Coût de prise d'eau

Dans notre cas, la prise d'eau se réfère au système de forage et d'acheminement de l'eau brute jusqu'au réservoir. Le tableau suivant présente le coût de la mise en place de cette partie de la station.

Tableau VII.1 : Montant du système de forage et d'adduction d'eau brute.

Nature des ouvrages	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
Forage	m	1 839	-	21 500 000,00
Conduite en fonte de 300 mm	m/l	10 000	15 474,02	154 740 200,00
Réservoir de stockage	m ³	2 500	-	18 000 000,00
Refroidisseur	m ³	1 000	210 000,00	210 000,00
			TOTALE	194 450 200,00

➤ Cout de la partie génie civile

La partie génie civil de notre projet comprend la construction de diverses infrastructures. Ces dernières comprennent :

- Des bâtiments :
 - Bâtiment d'osmose inverse
 - Local électrique
 - Atelier
 - Local de stockage des réactifs
 - Salle de contrôle
 - Bâtiment d'exploitation
 - Logement de service
 - Loge pour le gardien
 - Bâtiment électrique
 - Bâtiment administratif et une base de vie

On a aussi les bâches d'eaux :

- Un réservoir d'eau filtrée d'une capacité de 150 m³
- Un réservoir de rejet d'une capacité de 500 m³
- Un réservoir d'eaux traitées d'une capacité de 2500 m³
- Un réservoir de rinçage et de nettoyage d'une capacité de 35 m³

Le montant total de l'intégralité de ces ouvrages est estimé à :

- La construction en béton armé
- La charpente métallique.
- Cloisonnement

$$C_{\text{génie civil}} = C_{\text{batiments}} + C_{\text{réservoirs}} \quad (\text{VII. 2})$$

$$C_{\text{génie civil}} = 8\,000\,000.00 + 28\,080\,000.00 \longrightarrow C_{\text{génie civil}} = 36\,080\,000.00 \text{ DA}$$

- Cout de l'ensemble de la tuyauterie et des accessoires

$$C_{\text{tuyauterie}} = 263\,781\,887.00 \text{ DA}$$

En additionnant les trois montants calculés on aura le prix total de la construction de notre station

$$C_{\text{construction}} = C_{\text{pise d'eau}} + C_{\text{génie civile}} + C_{\text{tuyauterie}} \quad (\text{VII. 3})$$

$$C_{\text{construction}} = 194\,450\,200.00 + 36\,080\,000.00 + 263\,781\,887.00$$

$$C_{\text{construction}} = 494\,312\,087.00 \text{ DA}$$

VII.2.2 Coût de l'équipement principal et auxiliaire

Ce cout regroupe le prix des membranes d'osmose inverse et le prix du système d'énergie et de pompage

- Cout des membranes

Il comprend le prix d'achat des membranes, leur transport et leur mise en place. Le cout des membranes estimé par la relation suivante :

$$C_2 = P_u \times N_t \quad (\text{VII. 4})$$

Avec :

- P_u : Prix unitaire de la membrane en (1 289 700 DA/module)
- N_t : Nombre totale des unité membranaires (432 modules)

$$C_2 = 432 \times 1\,289\,700.00 \longrightarrow C_2 = 557\,150\,400.00 \text{ DA}$$

Les frais de transport de d'installation sont estimés à 5% du montant d'achat des membranes, donc on a :

$$C_{\text{membranes}} = 0,05 \times C_2 = 0,05 \times 557\,150\,400.00$$

$$C_{\text{membranes}} = 27\,857\,520.00 \text{ DA}$$

- Cout de système d'énergie

Le tableau suivant résume le nombre et le type des pompes ainsi que leur cout

Tableau VII.2 : Montant de l'ensemble du système énergétique et de pompage.

Nature des ouvrages	Nombre	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
Groupe électrogène	1	3 200 000,00	3 200 000,00
Pompe centrifuge	11	50 000,00	550 000,00
Pompe HP	3	90 000,00	270 000,00
		TOTALE	4 020 000,00

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

$$\mathbf{C \text{ équipement} = C \text{ membranes} + C \text{ sys énergétique}} \quad (\text{VII. 5})$$

$$C \text{ équipement} = 27\,857\,520.00 + 4\,020\,000.00$$

$$\mathbf{C \text{ équipement} = 31\,877\,520.00 \text{ DA}}$$

Donc le cout total d'investissement est donné comme suite :

$$C_{\text{inv}} = 31\,877\,520.00 + 557\,150\,400.00 \quad \longrightarrow \quad \mathbf{C_{\text{inv}} = 589\,027\,920.00 \text{ DA}}$$

VII.3. Cout 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 chimique, ainsi que le cout de changement des membranes.

VII.3.1. Cout de consommation d'énergie

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

$$\mathbf{C_{\text{en}} = Q_{\text{pt}} \times 365 \times d \times f_u \times \left[\left(\frac{P_{\text{fon}}}{P_e} \times M_e \times Y_t \right) \times T_e \times \left(\frac{1}{Y_t} \right) \right] \times P_{\text{en}} / 3600} \quad (\text{VII.6})$$

Avec :

- C_{en} : Cout de consommation d'énergie.
- Q_{pt} : Débit de production en m^3/j .
- d : Densité d'alimentation du système.
- f_u : Coefficient d'utilisation du centre de dessalement en %.
- P_{fon} : Pression de fonctionnement en Kpas.
- P_e : Rendement de fonctionnement des pompes en %.
- M_e : Rendement de fonctionnement des moteurs en %.
- Y_t : Coefficient d'écoulement en %.
- T_e : Rendement de générateur en %.
- P_{en} : Cout unitaire d'énergie en DA/KWh.

On prend :

- Pen : 7.74 DA/KWh
- Pfon : 6 500 Kpas
- Pe : 0.8
- Me : 0.8
- Te : 0.8
- Yt : 60 %
- d : 0.8
- Fu : 0.8

$$Cen = 15\,792 \times 365 \times 0.8 \times 0.8 \times \left[\left(\frac{6\,500}{0.8} \times 0.8 \times 0.6 \right) \times 0.8 \times \left(\frac{1}{0.6} - 1 \right) \right] \times 7.74$$

$$Cen = 44\,751\,676.67 \text{ DA}$$

VII.3.2. Charge du personnel

Tableau VII.3 : Montrant de l'ensemble des salaires annuels.

Fonction	Temps de présence	Salaire brute annuel charges patronales incluses	Salaire total (DA)
Agents d'exploitation	100%	540 000,00	540 000,00
Technicien-Laboratoire	100%	720 000,00	720 000,00
Cabre	100%	960 000,00	960 000,00
TOTALE			2 220 000,00 DA

VII.3.3. Coût d'entretien

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

$$Cent = 0.05 \times Cinv \quad (\text{VII. 7})$$

$$Cent = 589\,027\,920.00 \times 0.05 \longrightarrow Cent = 29\,451\,396.00 \text{ DA}$$

VII.3.4. Coût de consommation des produits chimiques

Le prix unitaire de consommation chimique est de : 5.16 DA/m³

$$Cc = Qpt \times Pu \quad (\text{VII.8})$$

$$Cc = 11844 \times 12 \times 5.16$$

$$Cc = 733\,380.48$$

VII.3.5. Coût de changement des membranes

La durée de vie de la membrane est de trois ans environs pour nôtres cas, et le prix unitaire est de 12 289 700.00 DA/unité

$$C_{cm} = Pu \times N \times N_{années} \quad (VII.9)$$

$$C_{cm} = 1\,289\,700.00 \times 432$$

$$C_{cm} = 557\,150\,400.00 \text{ DA}$$

Ce qui revient pour une année a : $C'_{cm} = 185\,716\,800.00 \text{ DA}$

Donc le cout total d'exploitation donne comme suit :

$$C_{exp} = C_{en} + C_{charge} + C_{entretien} + Cc + C'_{cm} \quad (VII.10)$$

$$C_{exp} = 44\,751\,676.67 + 2\,220\,000.00 + 29\,451\,396.35 + 733\,380.48 + 185\,716\,800.0$$

$$C_{exp} = 262\,873\,253.00 \text{ DA}$$

VII.4. Coût Global de la station

$$CT = C_{investissement} + C_{exploitation} \quad (VII.11)$$

$$CT = 589\,027\,920.00 + 262\,873\,253.00 \longrightarrow CT = 851\,901\,173.00 \text{ DA}$$

VII.5. Montant total avec la TVA

Taux de la TVA = 19%

$$\text{Montant de la TVA} = 0.19 \times CT \longrightarrow \text{Montant de la TVA}$$

$$= 161\,861\,222.87 \text{ DA}$$

$$TTC = 851\,901\,173.00 + 161\,861\,222.87$$

$$TTC = 1\,013\,762\,395.87 \text{ DA}$$

VII.6. Prix unitaire du mètre cube d'eau traité

$$Pr = TTC / Q_{pt} \times N \times b \quad (VII.12)$$

Avec :

- Pr : Prix unitaire d'un mètre cube d'eau traité.
- Q_{pt} : Débit journalier produit en m³/j.

- TTC : Cout global de la station de dessalement toutes taxes comprises.
- N : Nombre des jours d'année (365 jours)
- b : Duré de vie de la station (20 ans)

Donc :

$$\text{Pr} = \frac{1\ 013\ 762\ 395.87}{12\ 240 \times 365 \times 20} \longrightarrow \text{Pr} = 11.35 \text{ DA/m}^3$$

VII.7. Conclusion

En se basant sur notre étude récente, le coût par mètre cube d'eau déminéralisée produit par notre station s'élève à 11.35 DA/m³, un prix qui se positionne avantageusement par rapport au tarif habituel du mètre cube d'eau potable. Cette économie significative découle de l'efficacité énergétique remarquable de notre système d'osmose inverse. Cette analyse démontre que notre choix stratégique pour la déminéralisation était le bon, et cela se traduit également dans le devis estimatif total approximatif pour la mise en œuvre et l'exploitation de notre station, s'élevant à **1 013 762 395. 87 DA** taxes comprises.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Au terme de cette étude sur la déminéralisation des eaux saumâtres à Djamaa, plusieurs constats s'imposent. La région du Bas Sahara, malgré sa richesse hydrique, fait face à des défis considérables en matière de qualité de l'eau, principalement dus à son climat aride caractérisé par de faibles précipitations, des températures élevées et un fort rayonnement solaire.

L'analyse physico-chimique de la nappe Albienne a clairement démontré la nécessité d'implanter une station de déminéralisation pour rendre l'eau propre à la consommation. Face à cette problématique, l'osmose inverse s'est révélée être la solution la plus pertinente, alliant efficacité, rentabilité et adaptabilité aux conditions locales.

Les avantages de cette technique sont nombreux :

- Une construction relativement simple
- Une capacité à traiter de grands volumes d'eau
- Un bon rapport coût-efficacité

Néanmoins, il convient de souligner certains points d'attention :

- La nécessité d'un prétraitement de l'eau brute
- Le besoin de reminéralisations de l'eau traitée

Malgré ces défis, les résultats obtenus sont probants. L'eau produite présente une faible salinité et une minéralisation conforme aux normes de l'OMS, attestant de l'efficacité du processus.

Ce projet de déminéralisation à Djamaa illustre la complexité des enjeux liés à l'approvisionnement en eau potable dans les régions sahariennes. Il souligne l'importance d'une approche technique pointue, associée à une compréhension fine des spécificités locales.

En définitive, cette étude ouvre des perspectives prometteuses pour l'amélioration de l'accès à l'eau potable non seulement à Djamaa, mais potentiellement dans d'autres zones du Bas Sahara confrontées à des problématiques similaires. Elle met en lumière la pertinence de l'osmose inverse comme solution viable pour relever les défis hydriques de ces régions arides.

La réussite de ce projet démontre qu'avec les compétences appropriées et une approche rigoureuse, il est possible de surmonter les obstacles liés à la qualité de l'eau dans des environnements aussi exigeants que le Sahara. Elle souligne également l'importance cruciale de continuer à investir dans la recherche et le développement de technologies adaptées pour garantir un accès durable à l'eau potable dans les régions les plus vulnérables.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] A. Maurel. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés nonconventionnels et l'approvisionnement en eau douce. Lavoisier . 2001.
- [2] Actes du colloque international Patrimoine et développement durable, Alger, 20-22 octobre 2010.
- [3] Algérienne des eaux wilaya d'Alger [A.D.E] ; caractéristiques forage albien
- [4] Berne et al. 1991 ; Classification des eaux selon la dureté totale
- [5] Bouselal.B,forage d'eau procédé et mesures, université Kasdi Merbah Ouargla, 2017
- [6] C. Gallus, extrait du Monde, 12
- [7] DEISA ,formation théorique et pratique pour l'opération et l'entretien de
- [8] Direction Ressources en eaux EL-OUED [D.R.E] ; étude d'avant-projetdétail pour l'estimation des besoins ,2008
- [9] Données climatologiques de la NASA sur les précipitations au Sahara
- [10] Dr Bourouga 2015
- [11] Etude du colmatage des membranes ♦ Gabriela Ciobanu¹ *, Gabriela Carja¹ ,Lacramioara Istrati² , Maria Harja¹ ¹ Faculté de Chimie Industrielle, Université Technique "Gh. Asachi" Iași, Bvd. D. Mangeron, Nr. 71 A, 700050 Iași, Roumanie ³ Faculté d'Ingénierie, Université de Bacău, Calea Mărășești, Nr. 157, 600115 Bacău, Roumanie.
- [12] Gary S. logsdpn,PE :water filtration practices , glacier publishing services ,1ère édition, 2008.
- [13] Hamouda, H. (2013).Les défis du développement durable des oasis sahariennes;.Vertigo, 13(2), 1-14.
- [14] HYDROPOINT, étude conception d'une station eaux saumâtres Djamaa,
- [15] J. Mania (Larhyss Journal, 2006)
- [16] J. Matricon. Vive Découvertes Gallimard. 2000.
- [17] Livre de H.C. Ohanian et J.M. Markert, éditions HRW (Chapitres sur lathermodynamique)
- [18] Médecin sans frontière (MSF), Auteur Viviane Renaudin
- [19] M. Chartier, Les prix du dessalement, Marée d'eau douce, Hydrols, 121, Mars 2002.
- [20] M. Moussa (Thèse de doctorat,Université de Batna, 2010) précipitations au Sahara
- [21] NASA -2008
- [22] Nicedtsk.best
- [23] Numéro spécial de Science et Vie sur l'eau, N°211, Juin 2000.
- [24] Office National de la Météorologie
- [25] OpenStax Physics Textbook - Temperature and Heat
- [26] P. Danis. Dessalement de l'eau de mer. Techniques de Ingénieur, J 2700. Juin 2003.
- a. phase 4 étude avant-projet ,2011
- [27] Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD): Rapport national surRevue des Sciences Humaines et Sociales, 12(2), 115-132.

- [28] Robert Bergman : Reverse Osmosis and Nanofiltration, glacier publishingservices, 2^{ème} édition, 2007.
- [29] Société Alfa Laval qui commercialise des systèmes de dessalement thermiques Observation du Sahara et du Sahel. « Système Aquifère du Sahara Septentrional ». Volume 4 : Modèle Mathématique. Projet SASS ; Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie- 229p station traitement eau potable Djamaa wilaya EL-OUED, 2018
- [30] Suezwaterhandbook.fr (Traitement de l'eau - Principes généraux de la filtration -Degremont®)
- [31] TAHRAOUI(B) et OBEIDI (M) ; Etude Potabilité et aptitude à l'irrigation des eaux des nappes profondes cas du CT et CI de la vallée d'El Oued, mémoire de Master en hydraulique option conception et diagnostic des systèmes d'AEP et d'assainissement, Université d'ELOUED, 2014
- [32] Techniques-ingenieur.fr (Nettoyage et décolmatage des membranes de filtration : Dossier
- [33] UNESCO ; project ERESS : étude des ressources en eau Sahara septentrional, 1972
- [34] Usine Nouvelle, 23 Septembre 1999.
- [35] ZITOUN (A). (2022), tableaux des analyses des eaux de la station, le suivie annuel de laboratoire de la station, Djamaa
- [36] <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/el-oued-1133/r/janvier-1/#climate-table-year>
- [37] https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_d%27El_Oued
- [38] (https://www.nasa.gov/audience/foreducators/stem-on-station/ditl_what_is_temperature)
- [39] <https://revues.univ-biskra.dz/>
- [40] (https://pmm.nasa.gov/precip-regime/TRMM_Sahara_desert)