



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : REUTILISATION DES EAUX NON CONVENTIONNELLES

THEME :

**ETUDE DE POSSIBILITE DE REUTILISATION DES EAUX
DE REJET DE LA STATION IFRI DE LA WILAYA DE
OUARGLA**

Présenté par :

MELAB YAMINA

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
DERNOUNI Youcef	M.A.A	Président
KHALED HOULI Samia	M.A.A	Examineur
KHADIM ALLAH Abderrahmane	M.C.B	Examineur
TAFAT Leila	M.A.A	Examineur
TOUIL Youcef	M.C.B	Promoteur

Session : septembre 2024



Remerciement

En premier lieu, je tiens à remercier sincèrement Dieu pour m'avoir accordé la force et le courage nécessaires pour mener à bien ce travail.

Un immense merci à ma famille, dont le soutien indéfectible et les sacrifices ont été essentiels pour m'accompagner jusqu'à ce jour.

Un grand merci à l'ensemble des enseignants et de l'équipe pédagogique de l'ENSH (École Nationale Supérieure de l'Hydraulique) pour leur soutien et leur enseignement tout au long de mon parcours académique.

Je souhaite tout particulièrement exprimer ma reconnaissance envers les enseignants spécialisés dans la réutilisation des eaux non conventionnelles. Leur dévouement et leurs connaissances ont été des piliers essentiels de ma réussite académique.

Je tiens à remercier chaleureusement les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail. Leur expertise et leur évaluation sont d'une importance capitale pour la finalisation de ce travail.

A la fin de ce travail, je tiens à exprimer mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à Mr **Touil Youcef** pour son encadrement qui a guidé l'élaboration de ce mémoire de fin d'études et Mr **Oulebsir Rafik** pour ses précieux conseils qui ont amélioré ce travail.

Dédicace

Ce mémoire, fruit de plusieurs années de travail acharné, est dédié avec amour et reconnaissance :

À ma mère

À ma mère, source de vie et de bonheur, que j'aime de tout mon cœur.

Toi qui te sacrifies toujours pour me voir réussir, toi qui es la lumière de mes jours.

Merci d'être là, de m'entourer de ton amour inconditionnel et de ta tendresse.

À ma famille

À mon frère et mes sœurs, pour leur affection et leurs encouragements.

À toute ma famille, pour son réconfort et sa fierté.

À mes bien-aimées

Aux membres de la salle de prière d'Aïcha, Mère des croyants, pour leur amitié sincère et les moments de bonheur partagés.

À mes mentors

À mes professeurs et encadrants, pour leur enseignement, leur guidance et leur confiance.

À tous ceux qui ont nourri ma soif de savoir et m'ont inspiré à donner le meilleur de moi-même.

À ma promotion

À mes camarades de promotion, avec qui j'ai partagé cette aventure universitaire.

En mémoire

À ceux qui ne sont plus là pour partager ce moment, mais qui vivent à jamais dans nos cœurs.

Que ce travail soit l'humble témoignage de ma gratitude envers vous tous.

Puisse-t-il être le début d'une nouvelle étape, riche en défis et en réalisations.

ملخص :

المياه العذبة نادرة في الجزائر، خاصة في منطقة ورقلة حيث ان المياه الجوفية مالحة للغاية. وقد أقيمت منشآت لإزالة النفايات المتراكمة من أجل الحصول على مياه الشرب، غير أن النفايات الناجمة عن هذه العمليات يمكن أن تكون لها عواقب وخيمة على البيئة. الهدف من هذه الدراسة هو فحص هذه النفايات السائلة (المحلول الملحي) من التناضح العكسي من أجل تقليل التأثير البيئي لمحطة إزالة المعادن افري.

أظهرت الدراسات أن هذا المحلول الملحي له خصائص تجعله قابل لإعادة الاستخدام، خاصة للسقي وأظهرت أن النتائج التي تم الحصول عليها من خلال التركيز على زراعة النخيل ان تدفق المحلول الملحي سيكون كافيا لتلبية الاحتياجات المائية لهذا المحصول، بعد الردم لمنع تراكم الأملاح على الجذور وحوض لتخزين المياه قبل إطلاقها. يوفر هذا فرصاً هامة لإعادة استعمال التصريفات من محطات إزالة المعادن، مما يجعل من الممكن تقليل بصمتها البيئية. الكلمات الرئيسية: محلول ملحي، إزالة المعادن، التناضح العكسي، إعادة الاستعمال.

Résumé :

Les eaux douces sont rares en Algérie, en particulier dans la région de Ouargla où les eaux souterraines sont très salées. Des installations de déminéralisation ont été installées afin de générer de l'eau potable, cependant les déchets de ces procédés peuvent avoir des conséquences néfastes sur l'environnement. Le but de cette étude consiste à examiner ces déchets liquides (saumures) d'osmose inverse dans le but de diminuer l'impact environnemental de la station de déminéralisation IFRI.

Les études ont démontré que ces saumures ont des propriétés qui les rendent réutilisables, notamment pour l'irrigation. Les résultats obtenus en se focalisant sur la culture de palmeraie dattier ont montrés que le débit de rejet des saumures serait adéquat pour répondre aux besoins en eau de cette culture, après avoir effectué un remblayage pour prévenir l'accumulation de sels sur les racines et un bassin de rétention pour stocker les eaux avant de les distribuer. Cela offre des opportunités intéressantes pour réutiliser les rejets des stations de déminéralisations, ce qui permet de diminuer leur empreinte écologique.

Les mots clés : la saumure, la déminéralisation, Osmose inverse, réutilisation.

Abstract:

Fresh water is rare in Algeria, especially in Ouargla region where groundwater is very salty. Demining facilities have been installed to generate drinking water; however, the waste from these processes can harm the environment. This study aims to examine this liquid waste

(brines) from reverse osmosis to reduce the environmental impact of the IFRI demineralization station.

The results obtained by focusing on date palm cultivation showed that the release rate of brine would be adequate to meet the water needs of this crop, after backfilling to prevent the accumulation of salts on the roots and a retention pond to store water before it is released. This offers interesting opportunities to reuse the discharges from demineralization stations, which makes it possible to reduce their ecological footprint.

Keywords: brine; demineralization; reverse osmosis; waste water reuse.

Table des matières :

Remerciement.....	2
Dédicace	3
Résumé	4
Liste des tableaux	11
Liste des figures	13
Liste des planches.....	15
Symboles et abréviations.....	16
Introduction générale.....	17
Chapitre I : Les techniques de déminéralisation des eaux salées	Erreur ! Signet non défini.
Introduction :	1
I.2.Schéma général d’une installation de dessalement :	1
I.3. Caractéristiques des eaux :	2
I.3.1. Eaux marines :	2
I.3.2. Eaux saumâtres :	2
I.3.3. Eaux déminéralisées :	2
I.4. Définition des objectifs de traitement :	3
I.5. Différents procédés de déminéralisations :	3
I.5.1. Procédé de déminéralisation par distillation :	3
I.5.2. Les procédés de déminéralisation membranaires :	6
I.5.2.1. L’électrodialyse :	6
I.5.2.2. L’osmose inverse :	7
I.6. Mode de fonctionnement des systèmes membranaires :	12
I.6.1. La filtration frontale :	12
I.6.2. La filtration tangentielle :	12
I.7.Choix de technique de déminéralisation :	13
I.7.1. Critères de choix d’un procédé de déminéralisation :	13
Conclusion :	15

Chapitre II : La réutilisation des eaux salées de la station de déminéralisation en irrigation. **Erreur ! Signet non défini.**

Introduction :	15
II.1. Le problème de l'eau en Algérie :	15
II.2. L'utilisation d'eau salées en irrigation :	15
II.3. Tolérance des plantes aux sels :	16
II.3.1. Lessivage :	17
II.4. Texture du sol et concentration de l'eau d'irrigation :	17
II.5. Besoin en eau des cultures en conditions salines et irrigation :	18
II.6. Méthodes d'irrigation et salinité :	18
Conclusion :	20

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude **Erreur ! Signet non défini.**

Introduction :	22
III.1. La situation géographique :	22
III.2. Situation topographique :	23
III.3. Description géologique :	23
III.3.1. Séismicité :	23
III.4. Ressources en eaux souterraines :	23
III.4.1. La nappe phréatique :	24
III.4.2. Le complexe terminal (CT) :	25
III.4.3.2. La nappe du Sénonien :	26
III.4.3. Le continental Intercalaire (CI) :	26
III.5. Situation climatologique :	27
III.5.1. La température :	28
III.5.2. La Pluviométrie :	29
III.5.3. La vitesse de vent :	30
III.5.4. L'humidité :	31
III.5.5. L'évaporation :	32
III.6. L'insolation :	33
III.7. Le sol :	34
III.8. Couverture végétale :	35
III.9. Système oasien de Ouargla :	36
Conclusion :	37

Chapitre IV : La description de la station IFRI **Erreur ! Signet non défini.**

Introduction :	39
IV.1. L'alimentation de la station de déminéralisation d'IFRI :	39
IV.2. Qualité de l'eau brute :	41
IV.3. Taux de conversion :	42
IV.4. Les étapes de la station de déminéralisation :	42
IV.4.1. Le prétraitement :	42
IV.4.2. Traitement principal par l'osmose inverse :	45
IV.4.2.1. Identification des membranes de la station :	45
IV.4.2.2. L'emplacement des membranes de la station :	46
IV.4.3. Poste traitement :	48
IV.4.4. La désinfection :	48
IV.5. Les réservoirs d'eau :	49
IV.5.1. Réservoir d'eau brute (40 m ³) :	49
IV.5.2. Réservoir d'eau filtrée et d'eau de lavage (155 m ³) :	49
IV.5.3. Réservoir de l'eau déminéralisée (120 m ³) :	49
IV.5.4. Réservoir de mélange d'eau traiter :	49
IV.5.5. Réservoir d'eau de rejet (40m ³) :	49
Conclusion :	50

Chapitre V : Vérification de dimensionnement de la station de déminéralisation IFRI **Erreur ! Signet non défini.**

Introduction :	50
V.1. Osmose inverse :	50
V.2. Calcul manuel :	51
V.2 .1. Les facteurs influençant le dimensionnement :	51
V.2.2. Calcul de la molalité (m=mol/1000 gr d'eau) :	54
V.2.3. Le calcul des conversions :	58
V.2.4. Calcul des débits :	59
V.3. Calcul de simulation par logiciel :	62
V.3.1. Le logiciel IMS-Design :	62
V.3.2. Le mode de fonctionnement de logiciel :	63
V.3.3. Les paramètres de fonctionnement de logiciel :	64

V.3.4. Utilisation de simulation de logiciel pour dimensionnement et le contrôle du fonctionnement :	64
V.4. Les résultats de calcul de simulation :.....	66
Conclusion :.....	71
Chapitre VI : L'irrigation par les eaux salées.....	72
Introduction :.....	72
VI.1. Qualité des eaux :	72
VI.1.1. La salinité :	72
VI.2. L'alcalinité :	75
VI.2.1. Le SAR (Sodium Absorption Ratio) :	76
VI.2.2. La conductivité électrique :	77
VI.3. Ressources en sol :	79
VI.3.1. Les sols de Sahara :.....	79
VI.4. Classification des sols :.....	80
VI.5. Les résultats d'analyse physico-chimique du sol :.....	80
Conclusion :.....	81
Chapitre VII : Calcul des besoins hydraulique.....	82
Introduction :.....	82
VII.1. Les critères de choix de la culture :.....	82
VII.1.1. La culture choisie :	82
VII.2. La présentation de périmètre à irriguer :.....	83
VII.3. Calcul les besoins en eau de la palmeraie dattier :.....	84
VII.3.1. Evapotranspiration de référence (ET_0) :.....	84
VII.3.2. Pluie efficace :	86
VII.3.3. L'évapotranspiration de culture (ET_c) :	87
VII.3.4. La réserve utilisable :.....	87
VII.3.5. La dose d'irrigation nette (D_n) :.....	88
VII.3.6. La dose de lessivage :.....	89
VII.3.7. Débit spécifique :.....	91
VII.3.8. Débit caractéristique :	91
Conclusion :.....	92
Chapitre VIII : Organisation de chantier.....	Erreur ! Signet non défini.
Introduction :.....	94

VIII.1. Travaux de réparation et installation de chantier :.....	94
VIII.1.1. Installations destinées au personnel :	94
VIII.1.2. Installations destinées au stockage des matériaux :	95
VIII.1.3. Installations destinées à la réparation des engins :.....	95
VIII.2. Les moyens des travaux de chantier :	95
VIII.2.1. Moyens humains :	95
VIII.2.2. Moyens matériels :	95
VIII.2.3. Matériels de terrassement :	95
VIII.3. Travaux à réalisés :	95
VIII.3.1. Construction du bassin de rétention :	96
VIII.3.2. Terrassement de périmètre :	96
VIII.4. Calcul des terrassements :.....	97
VIII.4.1. Calcul de volume du bassin de rétention :	97
VIII.4.2. Calcul du terrassement de périmètre :.....	98
Conclusion :.....	100
Conclusion générale	101
Références bibliographiques	102
Annexes	107

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Les cultures irriguées par les eaux salées.	16
Tableau III.1. Les températures moyennes, maximales, minimales d’Ouargla (2012-2022). Erreur ! Signet non défini.	
Tableau III.2. Les précipitations moyennes mensuelles d’Ouargla (2012-2022).	29
Tableau III.3. La vitesse moyenne mensuelle de vent à Ouargla.	30
Tableau III.4. L’humidité relative moyenne mensuelle en %.	31
Tableau III.5. Evaporation dans la région d’Ouargla (1996-2017).	33
Tableau III.6. Insolation moyenne journalière (h/j) pour chaque mois (2012-2022).	34
Tableau IV.1. Les débits des forages de la station de déminéralisations d’IFRI.	40
Tableau IV.2. Les caractéristiques physico-chimiques de l’eau à traiter.	41
Tableau IV.3. Le type de membrane.	45
Tableau IV.4. Les dimensions de la membrane.	46
Tableau V.1. Les caractéristiques initiales de la membrane.	51
Tableau V.3. Calcul de molalité des concentrations moyennes pondérées.	55
Tableau V.4. Les résultats de calcul pour le 1-ère et le 2-ème étages.	58
Tableau V.6. Les résultats des paramètres de traitement de l'eau par Osmose Inverse.	69
Tableau V.7. Les résultats de la qualité de l'eau à différentes étapes du processus de traitement.	70

Tableau V.8. Les caractéristiques des pompes haute pression.....	70
Tableau VI.1. Les résultats d'analyses des eaux de rejets.	73
Tableau.VI.2. Le calcul de conductivité corrigée à 25°C, à 20°C et la salinité à 20°C.....	74
Tableau VI.3. Les concentrations des paramètres physico-chimique des eaux de rejets.....	76
Tableau VI.4. La classification des eaux en fonction du SAR.....	77
Tableau VI.5. Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique.....	78
Tableau VI.6. Classification des sols sal sodiques selon Servant.	80
Tableau VI.7. Les résultats d'analyse physique des sols.	80
Tableau VI.8. Analyse chimique des sols.	81
Tableau VII.1. Résultats de calcul de l'évapotranspiration de référence par logiciel de calcul (CROPWAT8.0).....	85
Tableau VII.2. Les pluies efficaces obtenus par le logiciel (CROPWAT8).	86
Tableau VII.3. Estimation des besoins en eau des palmiers dattiers à Ouargla.....	89
Tableau VII.4. Besoins en irrigation des palmiers dattiers avec un supplément de 33% pour le lessivage.	90

Liste des figures

Figure I.1: Schéma général d'une installation de dessalement.	1
Figure I.2 : Distillation par détente successives [13].	4
Figure I.3 : Distillation à multi effets [13].	5
Figure I.4 : Compression de la vapeur [13].	6
Figure I.5 : Le principe d'électrodialyse [49].	7
Figure I.6 : Le principe d'osmose inverse [45].	8
Figure I.7 : Schéma général d'une installation d'osmose inverse [1].	9
Figure I.8: Module tubulaire [41].	10
Figure I.9 : Module fibre creuse [48].	10
Figure I.10: Module Spirale [52].	11
Figure I.11 : Montage des étages des modules d'osmose inverse.	12
Figure I.12 : Mise en œuvre de filtrations [40].	13
Figure III.1 : La situation géographique de la wilaya d'OUARGLA [14].	22
Figure III.3: Coupe hydrogéologique des aquifères du Sahara septentrionale [17].	24
Figure III.4. Le phénomène de la remontée de la nappe phréatique [35].	25
Figure III.5. Carte représentant les nappes du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal [39].	27
Figure III.6 : Evaluation des températures mensuelles d'Ouargla (2012-2022).	29

Figure III.7. Evaluation des Précipitations moyennes annuelles d'Ouargla (2012-2022).

Erreur ! Signet non défini.

Figure III.8 : Diagramme de vitesse de vent (m/s)..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure III.9 : L'évaluation d'humidité relative moyenne mensuelle à Ouargla. **Erreur ! Signet non défini.**

Figure III.10. L'évaporation dans la région de Ouargla..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure III.11. Diagramme de l'insolation moyenne mensuelle..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure III.9. Les palmeraies de la vallée de Ouargla [52]..... 36

Figure IV.1. Carte satellitaire de la station IFIRI (Source : google Earth Pro ,2024)..... 39

Figure IV.2. L'entrée d'eau à la station. 40

Figure IV.3. Les filtres à sable de la station d'IFRI. 43

Figure IV.4. Les filtres à cartouches de la station d'IFRI. 44

Figure IV.5. Injection de métabisulfite de sodium..... 44

Figure IV.6. Le module d'osmose inverse. 45

Figure IV.7. Schématisation de la membrane Hydranautics..... 46

Figure IV.8. Le placement des membranes de la station par étage..... 47

Figure IV.9. Le rejet de la station IFRI. 48

Figure V.1. L'interface de logiciel IMS-Design. 63

Figure V.2. L'interface de l'étape d'analyse par IMS-Design..... 64

Figure V.3. La 2-ème partie de l'étape d'analyse par IMS-Design. 65

Figure V.3. L'interface de l'étape de dimensionnement. 66

TableauV.5. Les résultats des calculs effectués à chaque étage..... 66

Figure V.6. L'interface d'exigences chimiques. 67

Figure V.7. L'interface de post traitement. 67

Figure VI.1. Diagramme de classification des eaux d'irrigation [9]..... 78

Figure VII.1. Schéma du périmètre à irriguer (Source : Autocad 2016, Ech :1/1000).	83
Figure VII.2. Evolution des évapotranspirations de référence en fonction des mois de l'année (Ouargla).	86
Figure VIII.1. Représentation graphique de la division de périmètre en parcelles.	99
Figure VIII.2. Les profils transversaux de la première et la deuxième parcelle.	99

Liste des planches

Planche 01 : Plan de situation.

Planche 02 : Plan de masse de la station IFRI.

Planche 03 : Profil en long.

Planche 04 : Plan de la situation de périmètre.

Symboles et abréviations

OI : Osmose inverse.

MSF : Multi-Stage Flash.

ME : Distillation a multi-effets.

DA : Dinar algérien.

\$: Euro.

pH : Potentiel hydrogène.

MES : Matières en suspension.

FAO : Food and Agriculture organization.

CE : Conductivité électrique.

CI : Continental intercalaire.

CT : Complexe terminale.

T : Température.

ONM : Office notionnelle de la météorologie.

ANRH : Agence notionnelle des ressources hydrauliques.

ADE : Algérienne des eaux.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

NTU : Nephelometric Turbidity Unit.

ppm : Partie par million.

UV : Ultraviolet.

psi : L'unité Anglo- saxonne de mesure de pression.

GPM : Gallon par minutes.

TDS : Total des solides dissous dans l'eau.

SAR : Apport d'absorption de sodium.

ET0 : Evaporation de référence.

Dn : La dose d'irrigation nette.

B_{net} : Les besoins nettes.

B_{brut} : Les besoins brutes.

Introduction générale

L'eau, bien commun essentiel à la vie, fait face à une demande croissante due à la croissance démographique et à l'industrialisation. L'Algérie, comme de nombreux autres pays, est confrontée à la problématique de la rareté de l'eau, qui entrave son développement socio-économique.

Dans la région de Ouargla, les eaux souterraines sont la principale source d'approvisionnement, mais elles sont très salées. Il est donc devenu nécessaire de mettre en place des unités de dessalement pour déminéraliser ces eaux et satisfaire les besoins en eau potable de la population. Différentes techniques de dessalement existent, comme l'osmose inverse et la distillation, qui ont atteint un stade d'exploitation industriel.

Cependant, le dessalement d'eau de mer, bien que permettant de rendre l'eau potable ou utilisable pour l'irrigation, peut avoir un impact négatif sur l'environnement en raison de la composition des rejets engendrés.

Face à cette problématique, l'agriculture explore l'utilisation de l'eau salée comme solution d'avenir. Bien que non potable, l'eau salée peut être utilisée pour l'irrigation, ce qui permet d'augmenter les surfaces cultivables, de réduire la pression sur les ressources en eau douce et d'améliorer la résilience agricole.

L'objectif de cette étude est d'analyser les déchets liquides issus du dessalement, notamment les saumures, afin de diminuer l'impact environnemental de la station de déminéralisation d'IFRI. Dans un premier temps, nous réalisons une synthèse bibliographique sur les méthodes de déminéralisation et l'utilisation des eaux salées pour l'irrigation. Ensuite, nous présenterons la région d'étude et décrirons la station, en examinant les différentes étapes du traitement et leur état opérationnel. Enfin, nous vérifions le dimensionnement de la station et explorons la possibilité d'irriguer une parcelle avec les eaux de rejet.

Chapitre I

Les techniques de déminéralisation des eaux salées

Introduction :

L'Algérie est confrontée à des difficultés majeures en matière de ressources en eau, en particulier dans les régions du Sud où la salinité des eaux souterraines dépasse souvent les normes de potabilité. La surexploitation et la salinisation des nappes sont à l'origine de cette situation, ce qui entrave le développement socio-économique du pays. Afin de faire face à ce défi majeur, de nombreux efforts ont été mis en place, en particulier en utilisant la déminéralisation des eaux saumâtres. Grâce à cette méthode, on peut obtenir une eau potable de haute qualité tout en produisant un rejet concentré en sels.

Au cours de ce chapitre, nous examinons la décision de choisir la méthode de déminéralisation la plus appropriée, qui dépend de divers facteurs tels que la salinité initiale de l'eau, le débit nécessaire, les coûts d'investissement et d'exploitation, ainsi que les contraintes environnementales associées à l'élimination du concentré salé.

I.1 Définition de dessalement d'eau de mer :

Le dessalement de l'eau (également appelé dessalage ou désalinisation) est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce (potable) à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer notamment). La technique du dessalement d'eau de mer représente une ressource alternative qui apporte des réponses aux besoins en eau à court et à long terme. Le dessalement d'eau s'impose progressivement comme la solution de premier plan pour faire face au stress hydrique croissant, c'est-à-dire au déséquilibre entre la demande en eau et la quantité disponible. Le problème de l'eau potable se posant de façon aiguë sur notre planète, et particulièrement dans notre pays, ce qui a engendré le développement des techniques de dessalement d'eau de mer qui soient économiques, plus fiables et protectrice de l'environnement [47].

I.2. Schéma général d'une installation de dessalement :

Une installation de dessalement peut être segmentée en quatre postes principaux :

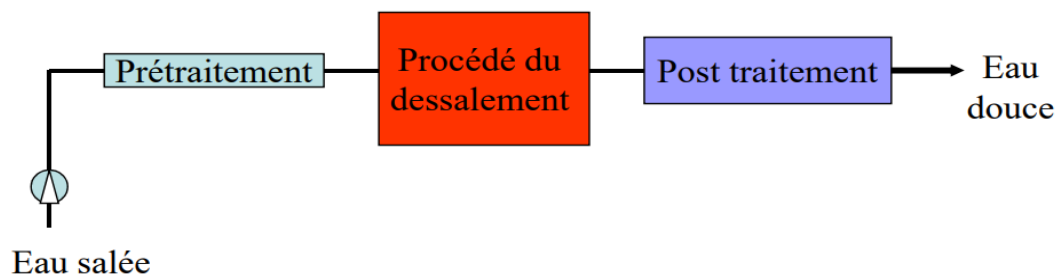


Figure I.1: Schéma général d'une installation de dessalement.

Le schéma représente un processus de traitement de l'eau où l'eau salée subit d'abord un prétraitement pour éliminer les impuretés, suivie d'un procédé de dessalement qui extrait le sel et les minéraux, puis d'un poste de traitement pour garantir la qualité de l'eau, aboutissant à la production d'eau douce prête à l'utilisation.

I.3. Caractéristiques des eaux :

I.3.1. Eaux marines :

L'eau de mer est une substance complexe qui renferme tous les éléments essentiels à la vie (calcium, silicium, carbone, azote, phosphore, oligo-éléments), des substances organiques (concentrations allant de 0,5 à 2 mg) et, naturellement dissous, les gaz présents dans l'atmosphère [17].

L'eau de mer présente une alcalinité faible. Le pH se situe entre 7,5 et 8,4. Les eaux de mer se distinguent principalement par leur salinité, qui correspond à leur concentration totale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). Les eaux des mers et des océans ont une salinité moyenne de 35 g/L. Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées [17].

I.3.2. Eaux saumâtres :

Une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer est appelée eau saumâtre. Les eaux saumâtres sont généralement composées d'environ 1 à 10 g de sels par litre. Il arrive parfois que ce soient des eaux de surface, mais généralement des eaux souterraines qui ont accumulé des sels.

Dans les sols qu'elles ont traversés, certains sels sont dissous. Il est donc essentiel que leur composition soit influencée par la nature des sols traversés et la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont : CaCO_3 , CaSO_4 , MgCO_3 et Na Cl [22].

I.3.3. Eaux déminéralisées :

La déminéralisation, aussi connue sous le nom de désionisation, est une méthode qui vise à supprimer les sels et minéraux naturels de l'eau. Cela génère une eau appelée déminéralisée ou désionisée, qui ne renferme ni sels ni minéraux et présente une conductivité électrique faible [23]. On utilise la déminéralisation de l'eau dans certaines utilisations particulières :

-Dans des situations où la présence de minéraux pourrait causer un entartrage et une détérioration des équipements, tels que l'eau utilisée pour les chaudières, les centrales vapeur, les fers à repasser, etc [23].

-Dans les secteurs pharmaceutique, alimentaire et électronique, il est essentiel d'utiliser une eau de grande pureté [23].

I.4. Définition des objectifs de traitement :

Il est possible de les classer en deux catégories :

- La santé publique, qui signifie que l'eau distribuée ne doit pas contenir de substances toxiques (organiques ou minérales) ou d'organismes pathogènes pour les consommateurs. Il est donc nécessaire qu'elle respecte les normes physico-chimiques et bactériologiques.
- La protection du réseau de distribution, et aussi des installations des usagers (robinetterie, chauffe-eau...) contre l'entartrage et/ou corrosion.

Dans tous les pays, ces objectifs se traduisent par une réglementation officielle. Cette dernière est fonction de critères de santé publique, du degré de développement du pays considéré et des progrès de la technologie [1].

I.5. Différents procédés de déminéralisations :

I.5.1. Procédé de déminéralisation par distillation :

La distillation est une méthode qui implique la vaporisation, la condensation et la récupération de la chaleur excédentaire. Elle offre de l'énergie sous forme de chaleur ou de travail mécanique. Les distillateurs contemporains fonctionnent entre 5°C et 125°C et produisent de l'eau douce avec une salinité inférieure à 100 mg/L. Cependant, cette eau doit être régénérée avant de l'utiliser. Le processus de distillation comprend trois étapes : création de vapeur, transfert à un condensateur et fusion.

C₁) Procédé par détente successive ou "Multi Stage Flash" (MSF) :

Cette méthode implique une évaporation rapide d'une partie de l'eau chauffée sous une pression d'environ 2 bars, entraînant un flux de vapeur concentrée vers la chambre de distillation de la cellule suivante. Ce processus se poursuit jusqu'à ce qu'une pression de 0,05 bar, environ 30°C, soit atteinte. Le principe des détente successive permet d'avoir jusqu'à 50 cellules (figure I.2), mais un prétraitement soigneux est essentiel pour réduire les enchevêtrements.

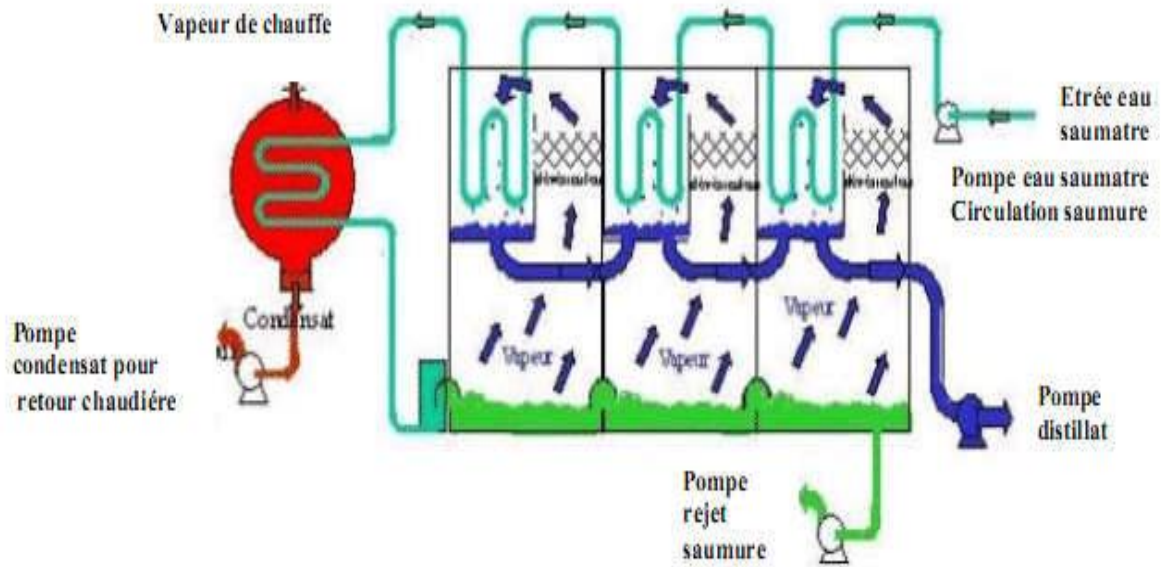


Figure I.2 : Distillation par détente successive [13].

Le principal avantage de cette technologie est sa capacité à fabriquer des unités à grande échelle, ce qui la rend adaptée aux grands complexes de dessalement, notamment dans les régions tropicales.

C2) Le processus de distillation à multi-effets (ME) :

La méthode ME vise à maximiser l'utilisation de l'énergie de la vapeur d'eau pour évaporer l'eau, ce qui entraîne des transferts de chaleur successifs appelés "effets" à des températures plus basses (figure I.3). Contrairement à la méthode MSF, l'eau reçoit la majeure partie de son énergie lors de son évaporation.

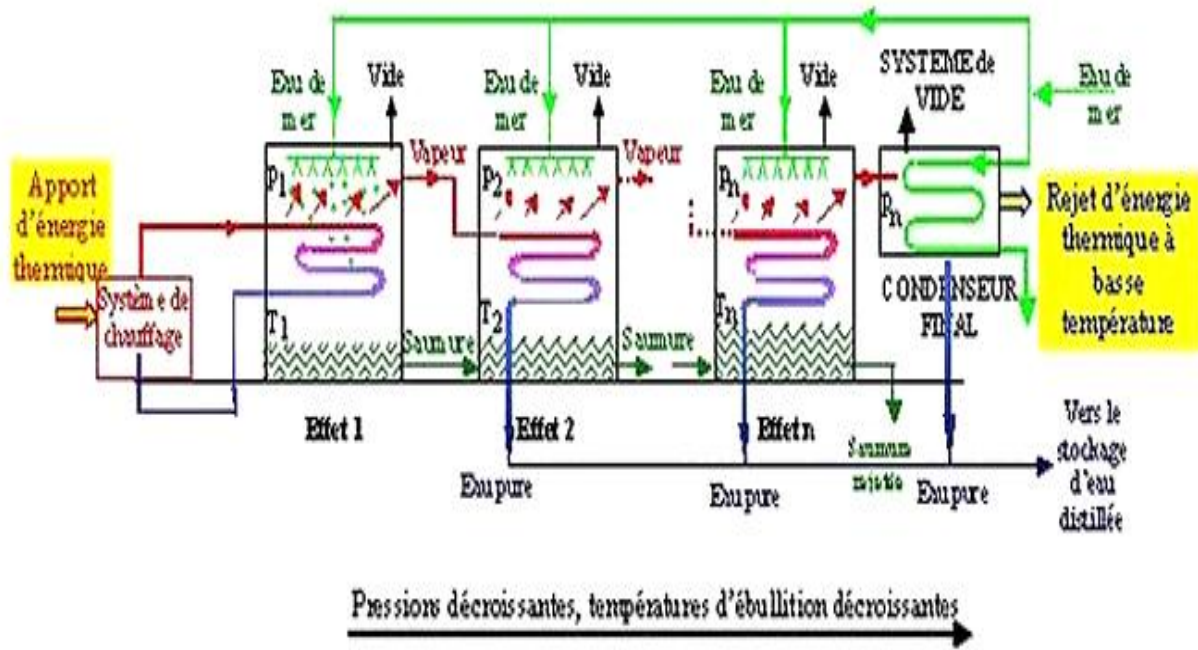


Figure I.3 : Distillation à multi effets [13].

La méthode ME offrant des avantages économiques avec une salinité de l'eau plus faible. Cependant, à mesure que les différences de température diminuent, la surface d'échange pour le transfert d'énergie doit être plus grande, ce qui rend l'investissement important.

C3) Compression de la vapeur :

Cette méthode fonctionne de manière similaire à une pompe à chaleur, avec un compresseur génère de l'énergie (Figure I.4). La vapeur produite augmente sa température de saturation, lui permettant de transférer la chaleur vaporisée à l'eau chauffée avec un gradient thermique favorable, ce qui garantit des performances optimales.

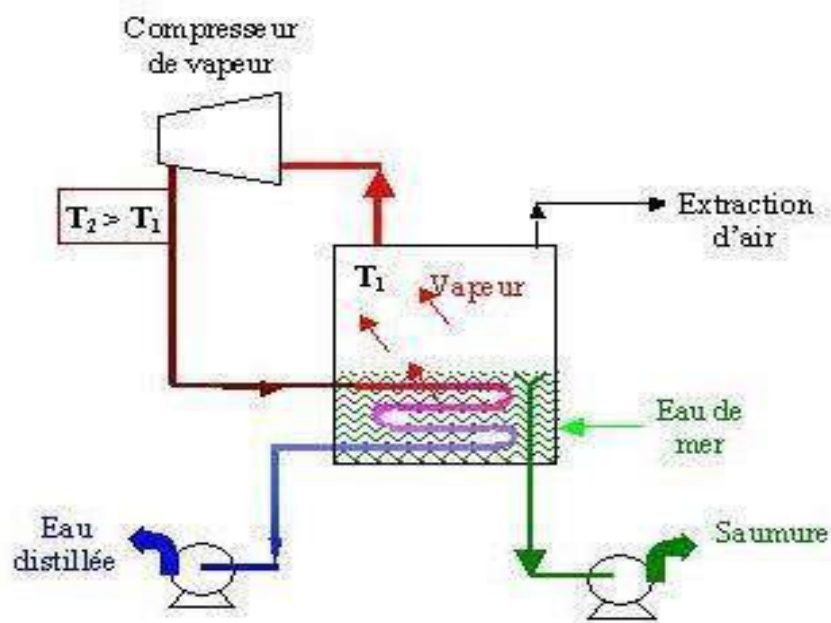


Figure I.4 : Compression de la vapeur [13].

Le compresseur aspire le fluide à basse température et à basse pression, puis le comprime, ce qui augmente à la fois sa pression et sa température.

I.5.2. Les procédés de déminéralisation membranaires :

I.5.2.1. L'électrodialyse :

L'électrodialyse est un processus électrochimique qui utilise des membranes sélectives aux ions pour séparer les sels dissous dans l'eau. En appliquant un courant électrique continu, les cations sont attirés vers la cathode et les anions vers l'anode. Des membranes perméables aux cations ou aux anions, placées entre les électrodes, permettent de collecter séparément les ions retenus, voici la figure (I.5) qui illustre ce principe :

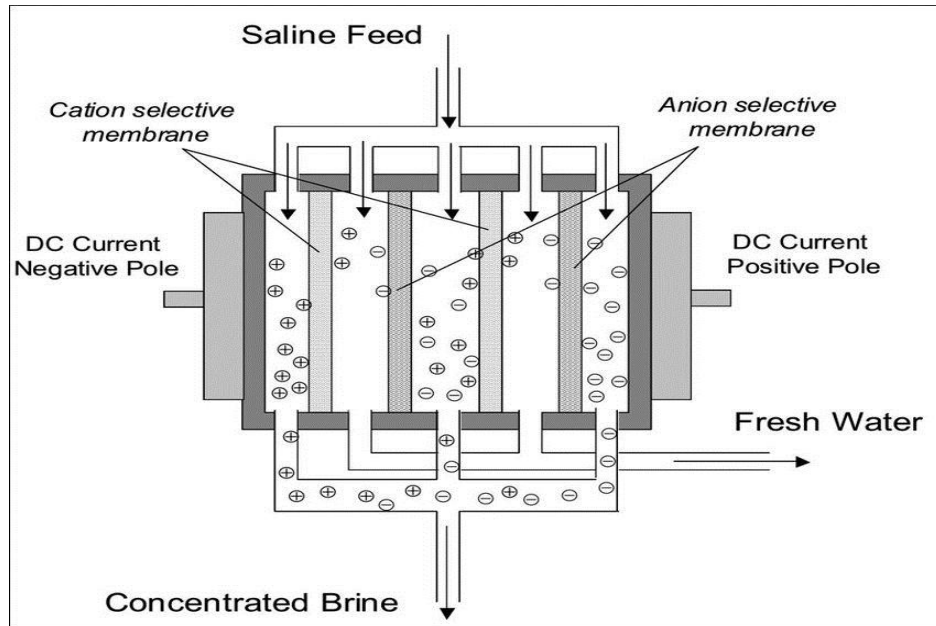


Figure I.5 : Le principe d'électrodialyse [49].

L'électrodialyse permet d'obtenir de l'eau purifiée en alternant des cellules d'eau salée et dessalée.

I.5.2.2. L'osmose inverse :

L'osmose inverse est un procédé de purification de l'eau naturel et simple qui vise à retenir les impuretés présentes dans l'eau, laissant passer uniquement les molécules d'eau. Pour parvenir à cet objectif, la pression hydraulique est utilisée pour contraindre l'eau à traverser une membrane semi-perméable. Cette membrane retient les particules présentes dans l'eau en raison de la différence de pression, empêchant ainsi leur passage ce qui illustre la figure (I.6).

L'efficacité et la vitesse de filtration dépendent du matériau utilisé pour la membrane d'osmose inverse. Pour obtenir des résultats optimaux en termes d'efficacité et de durabilité, il est courant d'utiliser une membrane composée de cellulose, de polyamide et de poly sulfone.

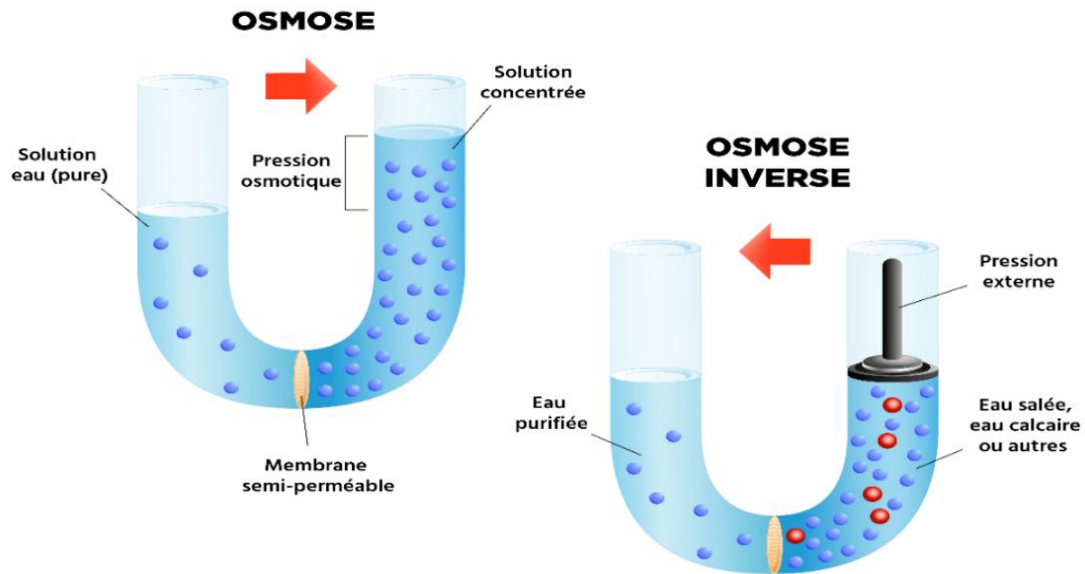


Figure I.6 : Le principe d'osmose inverse [45].

La pression osmotique est définie comme la pression minimale nécessaire pour empêcher le passage d'un solvant d'une solution moins concentrée à une solution plus concentrée à travers une membrane semi-ouverte. La pression osmotique est calculée par la loi de Van't Hoff suivante [1] :

$$\pi_i = i * C * R * T$$

Où :

- π_i : Pression osmotique (en atm ou Pa).
- i : Coefficient de van 't Hoff, représentant le nombre d'espèces d'ions ou de molécules résultant de la dissociation du soluté. Par exemple, pour le chlorure de sodium (NaCl), $i = 2$ (Na^+ et Cl^-).
- C : Concentration molaire du soluté (en mol/L).
- R : Constante des gaz parfaits, qui vaut $0,082 \text{ L.atm.mol}^{-1}/\text{K}^{-1}$.
- T : Température en kelvins (K).

I.5.2.2.1. Installation osmose inverse :

Les principaux constituants d'une installation d'osmose inverse sont les suivants (figure I.7) [1] :

- La membrane proprement dite - le module.
- La pompe haute pression.
- Le poste de traitement.

L'écoulement de fluide sur la membrane est continu et tangentiel. Cet écoulement tangentiel permet de limiter l'accumulation sur la membrane des diverses espèces (particules, molécules, ions) retenues par cette dernière.

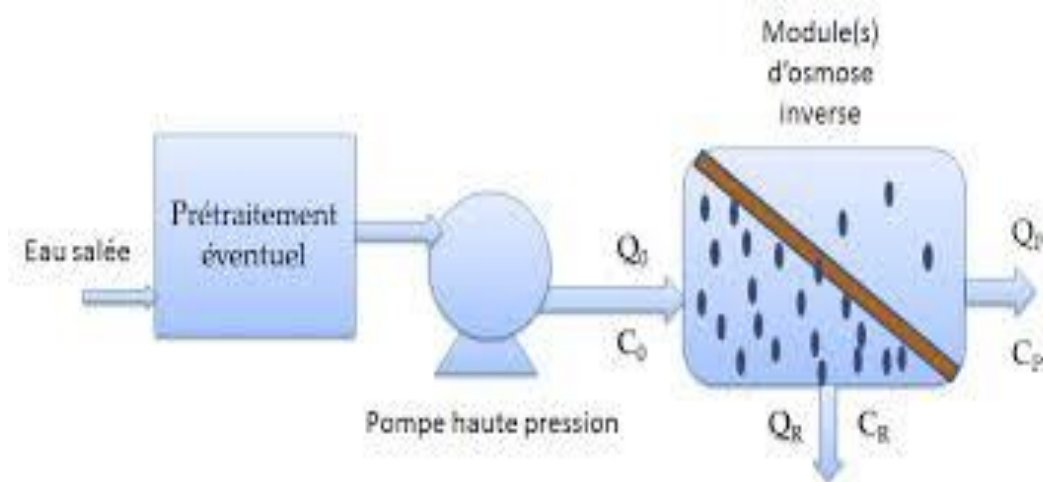


Figure I.7 : Schéma général d'une installation d'osmose inverse [1].

Le débit d'entrée (Q_0) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes. Une partie (débit Q_p) passe à travers la membrane (perméat).

Alors que l'autre partie est retenue par la membrane (concentrat ou rétentat) qui représente environ de 30% de débit d'alimentation [1].

I.5.2.2.2. Modules d'Osmose Inverse :

Pour être utilisées, les membranes doivent être installées dans des structures appelées modules. Actuellement, quatre types de modules sont disponibles sur le marché :

A- Modules Tubulaires :

Ces modules se composent des tubes en métal ou en plastiques, auxquels est attachée une membrane semi-perméable (Figure I.8). Ces tubes sont ensuite disposés en séries ou en parallèles dans une enveloppe cylindrique pour former le module unitaire [33].

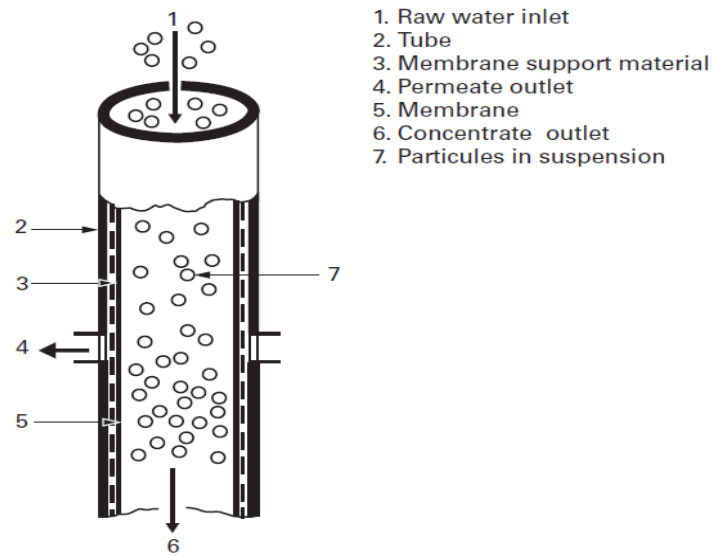


Figure I.8: Module tubulaire [41].

En raison de son coût élevé, ce type de module n'est plus employé dans le dessalement, mais reste courant dans le secteur agroalimentaire [33].

B- Modules Fibres Creuses :

Les modules à fibres creuses sont des dispositifs de filtration constitués d'un grand nombre de fibres creuses assemblées en U ou en longueurs parallèles ou croisées à l'intérieur d'un carter de géométrie tubulaire, comme illustre la figure (I.9) suivante :

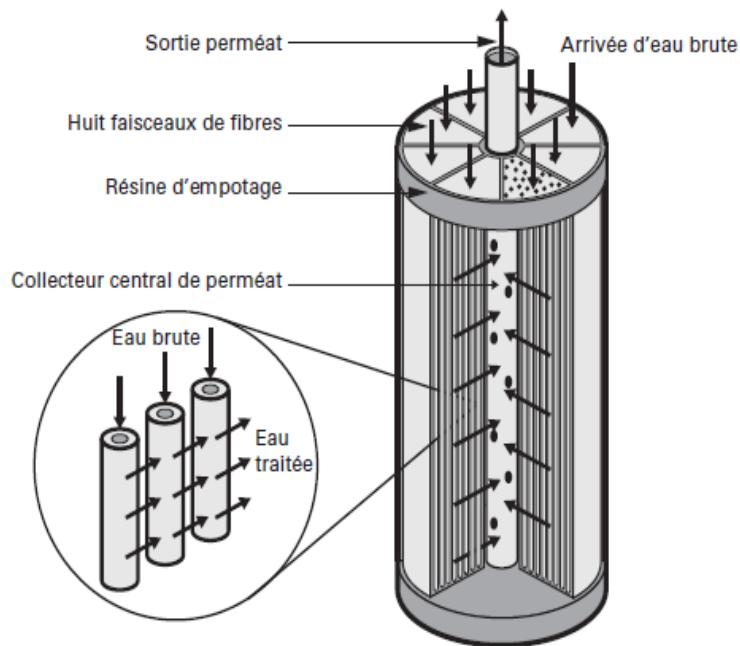


Figure I.9 : Module fibre creuse [48].

Cependant, contrairement aux modules tubulaires, qui se composent d'une membrane et d'un support interne, les fibres creuses remplissent à la fois la fonction de membrane et celle de support [33].

C-Modules Planes :

Les modules plans sont les plus simples et les plus anciens, les membranes sont empilées en mille-feuilles séparées par des cadre intermédiaires qui assurent la circulation des fluides.

D-Modules Spirales :

Dans cette configuration, les membranes planes sont enroulées autour d'un tube creux perforé conçu pour recueillir le perméat. Un treillis plastique est placé entre les membranes pour induire une turbulence dans l'écoulement du fluide, comme montre la figure (I.10).

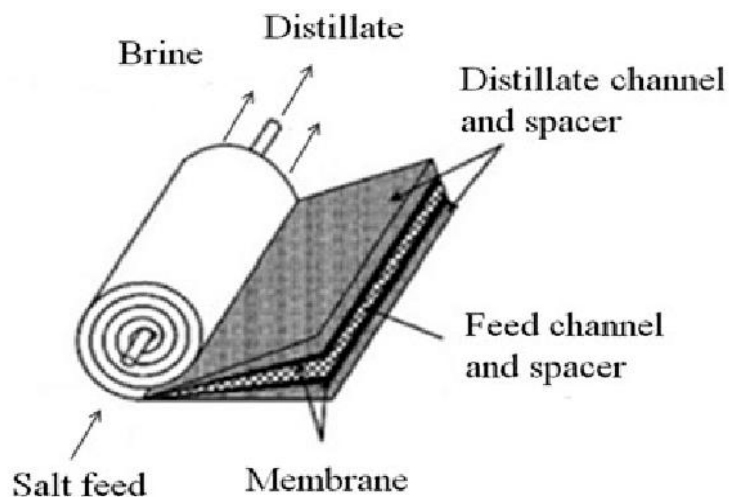


Figure I.10: Module Spirale [52].

I.5.2.2.3. Les différents types de montage d'unité d'osmose inverse :

- **Le montage série-rejet :** Le montage en série-rejet consiste à connecter le rejet de premier étage au deuxième, c'est-à-dire le débit de rejet du premier étage va être traité dans le deuxième étage ce qui augmente le débit de perméat et entraîne des débits et des qualités de production différents pour chaque étage.
- **Le montage série-production :** Le montage en série-production implique de relier la production du premier étage au deuxième c'est à dire le débit produit de l'étage 1 va alimenter l'étage 2, ce qui favorise la production d'une eau de haute qualité mais

entraîne également un taux de rejet élevé (le concentrat de deuxième étage on le recircule dans le premier étage).

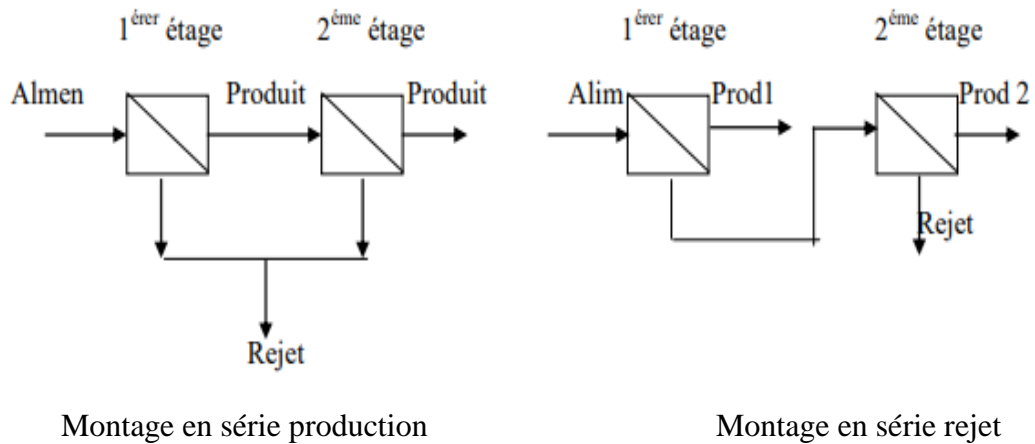


Figure I.11 : Montage des étages des modules d'osmose inverse.

Les objectifs de production d'eau, la qualité requise et les spécificités de l'application déterminent le choix entre un montage en série-rejet et un montage en série-production. Les deux options présentent des bénéfices différents en ce qui concerne l'efficacité et la qualité du produit final.

I.6. Mode de fonctionnement des systèmes membranaires :

Il existe deux modes de fonctionnement des systèmes membranaires : la filtration frontale et la filtration tangentielle ;

I.6.1. La filtration frontale :

La filtration frontale consiste à acheminer le flux d'alimentation dans la direction perpendiculaire au plan de la membrane. La surface retient les particules solides et les solutés, ce qui entraîne une superposition de couches qui, progressivement, entraînent le colmatage par la formation d'un gâteau. Cela nécessite une maintenance régulière.

I.6.2. La filtration tangentielle :

Dans le cadre de la filtration tangentielle, le fluide à traiter pénètre dans le module afin de se rapprocher de la membrane à travers un flux équivalent. Dans cette méthode de mise en œuvre, il est donc essentiel d'avoir une entrée qui correspond à l'alimentation et deux sorties, à savoir le perméat qui représente le passage d'une partie du flux initial à travers la membrane, et le concentrât ou retentât qui représente le flux qui n'a pas traversé la membrane, comme la montre la figure (I.11).

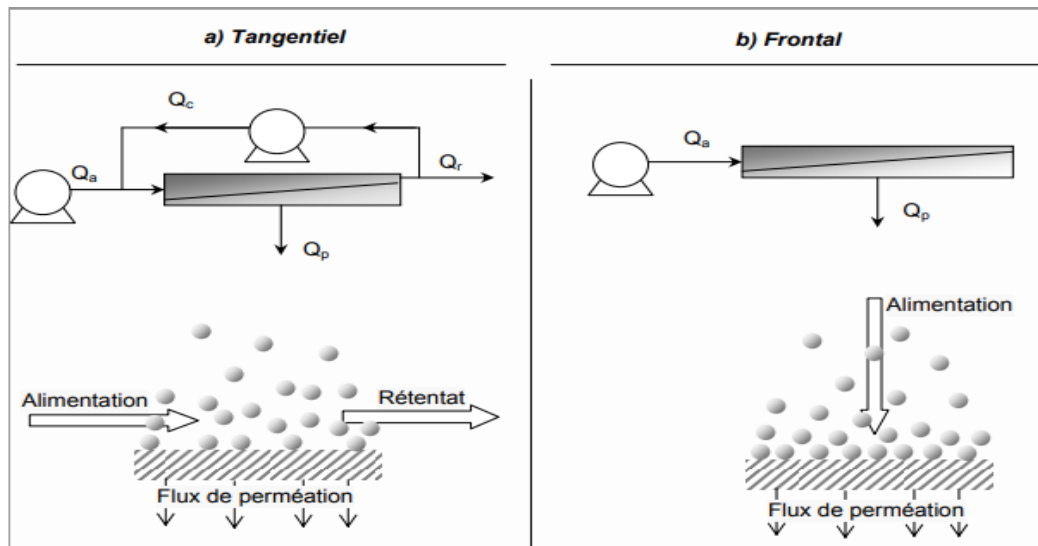


Figure I.12 : Mise en œuvre de filtrations [40].

Le principal avantage de l'écoulement tangentiel, par rapport à l'écoulement frontal, est le fait que le mouvement tangentiel de l'alimentation balaie la surface de la membrane limitant ainsi l'accumulation des particules et réduit par conséquent le processus de colmatage [33].

I.7.Choix de technique de déminéralisation :

I.7.1. Critères de choix d'un procédé de déminéralisation :

Il y a deux ordres de facteurs à considérer lorsqu'on choisit un procédé de dessalement :

- **Les critères économiques :**

Selon sa nature (énergie renouvelable, gaz, carburant) et sa disponibilité locale (pays importateurs ou producteurs...), le prix de l'énergie peut varier. Le coût des produits chimiques diffère selon qu'ils sont disponibles localement ou importés. Le coût d'un mètre cube d'eau. Cela varie en fonction des conditions financières, comme les taux d'intérêt et le coût de la main-d'œuvre.

- **Les critères techniques :**

Parmi les critères techniques se trouvent :

- Salinité de l'eau à traiter.
- Le débit d'eau à traiter.

Pour le choix entre ces trois techniques. Voici un aperçu comparatif de leurs principales caractéristiques [16] :

▪ Distillation :

- Procédé robuste, bien maîtrisé, adapté aux eaux très salées et de qualité fluctuante.
- Représentait 60% de la production mondiale d'eau dessalée en 2000, les variantes sont la distillation à détente successive (MSF) et la distillation à effet multiple (ME).
- Consommation énergétique plus élevée que l'osmose inverse, de l'ordre de 6 à 7 kWh/m³ contre 3 à 4 kWh/m³ pour l'osmose inverse.
- Coût de production de 0,9 à 2,52 \$/m³ contre 0,49 à 1,12 \$/m³ pour l'osmose inverse.

▪ Électrodialyse :

- Utilise un champ électrique pour transférer sélectivement les ions à travers des membranes.
- Adapté aux eaux saumâtres de salinité modérée (< 5 g/L).
- Taux de conversion élevé.
- Salinité du perméat de 500 ppm.
- Coût de production plus élevé que l'osmose inverse (191,51 DA/m³ contre 175,11 DA/m³).

▪ Osmose inverse :

- Procédé membranaire utilisant une pression pour forcer le passage de l'eau à travers une membrane semi-perméable.
- Représentait 70% de la production mondiale en 2010.
- Consommation énergétique plus faible que la distillation, de 3 à 4 kWh/m³.
- Salinité du perméat inférieure à 500 ppm.
- Coût de production de 0,49 à 1,12 \$/m³.
- Adapté aux eaux saumâtres et a eaux très salées.

Selon la comparaison des trois méthodes, l'osmose inverse est la technique la plus performante et utilisable dans la plupart des situations en raison de son coût énergétique bas, de sa capacité à produire de l'eau potable de haute qualité, de son faible coût de revient par m³ par rapport aux deux autres techniques, et de son adaptabilité aux eaux saumâtres et salées, ainsi qu'aux grands débits d'alimentation.

Conclusion :

Dans ce chapitre, différentes méthodes de déminéralisation ont été étudiées. Malgré les avantages et les inconvénients de chaque méthode, l'Algérie a choisi l'osmose inverse en raison de sa faible consommation d'énergie et de sa capacité à produire une eau de grande pureté, même à partir d'eaux à forte concentration en sels. Ce qui fait dans la plupart des stations de déminéralisation du sud algérien, cette méthode est particulièrement appréciée.

Chapitre II

**La réutilisation des eaux salées de la station de
deminéralisation en l'irrigation**

Chapitre II : La réutilisation des eaux salées de la station de déminéralisation en irrigation

Introduction :

L'Algérie est confrontée à un grave stress hydrique, avec une pénurie de ressources en eau douce. L'utilisation de la déminéralisation est devenue une solution viable pour fournir de l'eau dans les régions où les ressources en eau sont salées ou saumâtres.

Selon le premier chapitre, la déminéralisation entraîne un rejet d'eau d'environ 30 % de l'alimentation, ce qui n'est pas négligeable, surtout face à l'augmentation des besoins en eaux pour les différents domaines. La réutilisation des eaux saumâtres a été considérée comme une solution stratégique pour le sud d'Algérie, en réponse à la pénurie croissante d'eau douce. La croissance démographique, l'augmentation des besoins agricoles et industriels et la salinisation des nappes phréatiques aggravent cette pénurie. Il est recommandé de réutiliser les eaux saumâtres pour l'irrigation des cultures tolérantes à la salinité. Cependant, des systèmes de drainage et de lessivage adéquats sont nécessaires pour éviter l'accumulation de sels dans les sols.

II.1. Le problème de l'eau en Algérie :

Le problème de l'eau est aggravé ces dernières années de sécheresse qui ont touché l'ensemble du pays, ont montré combien il était nécessaire d'accorder la plus grande attention à l'eau. Cette essentielle ressource est menacée dans sa qualité et dans sa quantité. Malgré la construction de nouveaux barrages et le recours au dessalement, l'Algérie enregistrera un déficit en eau de 1 milliard de m³ d'ici l'an 2025 [46].

La pénurie d'eau en Algérie est causée par plusieurs facteurs interdépendants. Tout d'abord, la sécheresse et les changements climatiques ont entraîné une réduction significative des précipitations, avec des déficits de 30 % au cours des deux dernières années. Cette situation complique le rechargement des nappes phréatiques, aggravée par la pollution et la salinisation. Parallèlement, la croissance démographique a multiplié par 4,5 la population depuis l'indépendance, tandis que la consommation d'eau a augmenté de 40 %, exerçant une pression supplémentaire sur des ressources déjà limitées [3].

II.2. L'utilisation d'eau salées en irrigation :

L'utilisation d'eau salée en irrigation présente des avantages significatifs ainsi que des défis considérables. D'une part, dans les régions arides et semi-arides, l'eau salée constitue souvent la seule ressource hydrique disponible, rendant son utilisation indispensable pour soutenir l'agriculture. Certaines cultures, notamment celles à forte valeur économique, montrent une

Chapitre II : La réutilisation des eaux salées de la station de déminéralisation en irrigation

tolérance accrue à des niveaux de salinité élevés, ce qui optimise l'utilisation des ressources hydriques.

Cependant, l'irrigation avec de l'eau salée pose des défis majeurs, notamment la salinisation des sols, qui peut entraîner une accumulation de sels néfastes, compromettant la santé des plantes et réduisant les rendements agricoles. L'excès de sodium et d'autres ions salins peut perturber l'absorption d'eau par les plantes, induisant un stress hydrique et affectant leur croissance. Par conséquent, des pratiques de gestion appropriées, telles que le drainage efficace et le lessivage des sels, sont essentielles pour atténuer ces effets néfastes.

En somme, bien que l'utilisation d'eau salée en irrigation puisse être une solution viable dans certaines conditions, elle nécessite une gestion rigoureuse et des techniques innovantes pour garantir la durabilité de l'agriculture.

II.3. Tolérance des plantes aux sels :

Le tableau (II.1) suivant présente les types de cultures pouvant être irriguées avec les eaux salées.

Tableau II.1 : Les cultures irriguées par les eaux salées.

	Conductivité électrique d'eau d'irrigation ($\mu\text{S/cm}$, et mg/l)					
Salinité (mg/l)	<2000	2000-3000	3000-4000	4000-5000	5000-7000	>7000
Conductivité($\mu\text{S/cm}$)	<3125	3125-4700	4700-6250	6250-7800	7800-10938	>10938
Les cultures irriguées	Citrus	Figues	Sorgho	Soja	Carthame	Coton
	Pommes	Olives	Arachide	Palmier dattier	Blé	Orge
	Pêche	Brocoli	Riz	Phalaris aquatique	Betterave sucrière	Agropyre
	Raisins		Tomates	Betteraves	Trèfles	Rye Grass
	Fraise		Concombre	Fétuque	Artichauts	Orge des rats
	Pommes de Terre		Cantaloup		Chiendent pied de poule	

Source :[23].

Ce tableau présente les types des cultures tolérantes à la salinité qui sont adaptés à l'irrigation avec les eaux de rejet de déminéralisation, en fonction des niveaux de salinité

Chapitre II : La réutilisation des eaux salées de la station de déminéralisation en irrigation

rencontrés localement, Cela nous guide à choisir la culture en fonction de la qualité d'eau disponible.

II.3.1. Lessivage :

En zones arides et semi-arides, l'irrigation des sols salés nécessite un apport d'eau supérieur aux besoins des cultures [51], pour permettre le lessivage des sels hors de la zone racinaire avant que leur niveau ne nuise à la croissance des plantes. Le lessivage est le facteur principal pour maintenir la salinité du sol à un niveau acceptable pour les cultures.

La fréquence et la quantité de lessivage dépendent de la qualité de l'eau, du climat, du type de sol et de la tolérance des plantes à la salinité. En général, le lessivage est appliqué à chaque irrigation ou périodiquement quand l'accumulation des sels devient excessive. Un lessivage périodique lorsqu'un excès de sels se produit est préférable à un lessivage à chaque arrosage [28] [29] [30] [31], car ce dernier augmente le risque d'engorgement et d'asphyxie des cultures.

Le lessivage des sols est une pratique importante pour réduire la salinité, mais il doit être suivi d'un drainage adéquat. En effet, si les eaux en excès issues du lessivage ne sont pas évacuées correctement, elles peuvent s'accumuler au niveau des zones racinaires, ce qui peut être néfaste pour la croissance et le développement des plantes. Le drainage doit être conçu de manière à évacuer rapidement l'excès d'eau du lessivage, en fonction des caractéristiques du sol et de la culture. Cela peut impliquer la mise en place de drains souterrains, de fossés ou de systèmes de pompage, selon les conditions locales.

II.4. Texture du sol et concentration de l'eau d'irrigation :

Tant que le sol retient une partie de l'eau d'irrigation égale à sa capacité de rétention seulement, donc la quantité de sels retenue par un sol argileux soit toujours supérieure à celle retenue par un sol sableux. Une argile dont la capacité de rétention est 30% retiendra donc trois fois plus de sels qu'un sable dont la capacité de rétention est 10% s'ils sont traversés tous deux par une eau de salinité donnée.

Selon AUBERT et OLLAT (1969) [5], sur sol sableux calcaire il est possible d'utiliser des eaux titrant 4.5g à 5g de sels/l et même parfois plus. Les sols sableux ne risquent donc pas de se saler facilement par l'irrigation ; les sols à texture moyenne gardent de l'eau, cette eau a tendance à migrer vers le haut puis à s'évaporer et à déposer ses sels.

Chapitre II : La réutilisation des eaux salées de la station de déminéralisation en irrigation

II.5. Besoin en eau des cultures en conditions salines et irrigation :

Le besoin en eau des cultures est basé sur l'évapotranspiration. Presque tous les auteurs sont d'accord sur le fait que le sel diminue la transpiration [50]. On observe une relation de proportionnalité entre la réduction de l'évapotranspiration due à l'accroissement de la salinité du sol et la réduction correspondante du rendement relatif [36]. La réponse du rendement des cultures à la contrainte hydrique d'origine saline ou résultant d'une sécheresse édaphique est donc similaire [36]. Car l'effet osmotique se traduit par des symptômes semblables à ceux causés par la sécheresse [11]. Dans les milieux salés la pression osmotique du sel vient s'ajouter à la force de succion du sol et s'oppose à l'alimentation hydrique des plantes. Le point de flétrissement se situe à un niveau plus élevé d'humidité si la solution du sol contient du sel que si elle n'en contient pas ; ainsi en Tunisie on a remarqué qu'il y a flétrissement des plantes de tomate pour 14 à 15% d'humidité dans un sol dont la solution contient 7g/l de sels, alors que le flétrissement ne se produit qu'à 9% d'humidité pour un sol sans sels [12]. Le pilotage de l'irrigation est donc plus compliqué avec les eaux salées qu'avec les eaux douces [28].

II.6. Méthodes d'irrigation et salinité :

Le choix de la méthode d'irrigation avec l'eau salée dépend :

- De la distribution des sels et l'eau dans le sol.
- La sensibilité des plantes au mouillage foliaire.
- La fréquence d'irrigation.

Le mauvais choix de la méthode d'irrigation non seulement aggrave la salinisation du sol mais aussi peut créer des problèmes de drainage [30].

A. L'irrigation de surface : En général, la méthode la plus courante et la plus fréquemment employée entraîne une accumulation de sels sous la zone racinaire, mais cela dépend des conditions de lessivage. La salinité dans la couche supérieure augmente entre deux irrigations pour l'irrigation par cuvettes et par planches, puis diminue pendant l'irrigation. D'autre part, en irrigation à la raie, les sels sont plus susceptibles de s'accumuler au milieu du milliard, surtout dans la partie supérieure, ce qui demande une attention particulière pour le lit de semences.

B. L'irrigation par aspersion : C'est une méthode qui permet une économie d'eau surtout dans le cas des sols très filtrants. Cependant, le problème de l'aspersion dans le cas de l'utilisation des eaux salées est le risque de brûlure de feuilles mais les cultures ne sont pas toutes pareillement sensibles. L'arboriculture et les ornements sont sensibles à l'aspersion

Chapitre II : La réutilisation des eaux salées de la station de déminéralisation en irrigation

lorsque l'eau contient une quantité de Na et de Cl supérieure à 3meq/l, par contre la sensibilité des cultures annuelles est plus élevée 15 à 20 ou 30 meq/l [6][7]. Quant à son effet sur le sol, elle a tendance aussi à provoquer une salure importante des couches superficielles [12]. Au Sahara Algérien, l'irrigation sous pivot avec des eaux salées a engendré une salinisation des sols notamment dans la couche de la surface [21][22]. MOUHOUCHE (2000) [42] a montré que la CE des sols sous pivot au Sahara varie de 6 ds/m au début de la campagne à plus de 24 ds/m en fin de campagne.

C. L'irrigation goutte à goutte : La micro irrigation peut permettre une économie concernant la ressource hydrique, l'énergie de pompage et la fertilisation [53]. L'introduction de l'irrigation goutte à goutte a donné un grand avantage dans l'utilisation de l'eau salée [6][30][31]. En effet, les feuilles ne sont pas mouillées et la partie de sol sous le goutteur où se trouvent les racines est constamment humide ce qui empêche la concentration et l'accumulation des sels. Mais les sels s'accumulent sur la surface entre les goutteurs et le front d'humectation [30][8][32]. Les racines des plantes tendent à se concentrer dans la zone lessivée à proximité des goutteurs évitant ainsi les sels accumulés au front d'humectation [29]. Une salinité élevée de l'eau d'irrigation peut être tolérable en irrigation goutte à goutte par rapport à d'autres méthodes d'irrigation [30]. En effet, l'irrigation fréquente maintient l'eau du sol à 50% de l'eau utile donc réduit l'effet du potentiel osmotique. Aussi l'irrigation goutte à goutte peut donner des récoltes meilleures que celles des autres types d'irrigations dans le cas où l'on doit utiliser de l'eau salée [6].

Comparée à l'irrigation à la raie, l'irrigation goutte à goutte a donné les 35 rendements les plus élevés et un meilleur calibre de tomate en conditions salines [13][24]. MASMOUDI (2000) [38] a trouvé une augmentation du rendement des cultures maraîchères irriguées au goutte à goutte varie entre 3% à 36% d'augmentation selon la salinité des eaux qui varie de 2 à 6 ds/m par rapport à celles irriguées à la raie. Ainsi, HAMDY et al (1995) [28] ont trouvé avec une eau de CE 9 ds/m que l'irrigation goutte à goutte a donné une production nettement meilleure que l'irrigation de surface.

Des résultats similaires ont été obtenus en comparaison avec l'aspersion en utilisant de l'eau salée [19].

Chapitre II : La réutilisation des eaux salées de la station de déminéralisation en irrigation

Conclusion :

Ce chapitre met en évidence la possibilité de réutiliser les eaux de rejet des stations de déminéralisation après une analyse physico-chimique de ces eaux. Il est essentiel de surveiller attentivement cette réutilisation afin d'assurer le respect des réglementations et des normes algériennes concernant l'irrigation avec les eaux salées. Il est essentiel de sélectionner le système d'irrigation et le type de culture en fonction de la qualité et de la quantité d'eau recyclée sur une surface agricole donnée.

Chapitre III

Présentation de la zone d'étude

Introduction :

Ce chapitre offre un aperçu global de la zone d'étude de Ouargla, mettant en lumière sa situation géographique, topographique, géologique et climatologique et les dévers ressources en eaux. Ces éléments fournissent une base précise pour comprendre la problématique abordée tout au long de ce travail.

III.1. La situation géographique :

La Wilaya d'Ouargla couvre une superficie de 211 980 km² et comprend 21 communes et 10 daïras. Compte plus de 541045 habitants.

Ouargla est entourée par plusieurs autres wilayas. Au sud-ouest, elle est limitrophe de In Salah. À l'ouest et au nord-ouest, elle partage des frontières avec les wilayas de Djelfa et Ghardaïa. Au sud, elle est adjacente à la wilaya d'Illizi, tandis qu'au nord, elle est bordée par la wilaya d'El Oued. Enfin, à l'est, elle touche la frontière avec la Tunisie, comme illustre la figure (III.1).

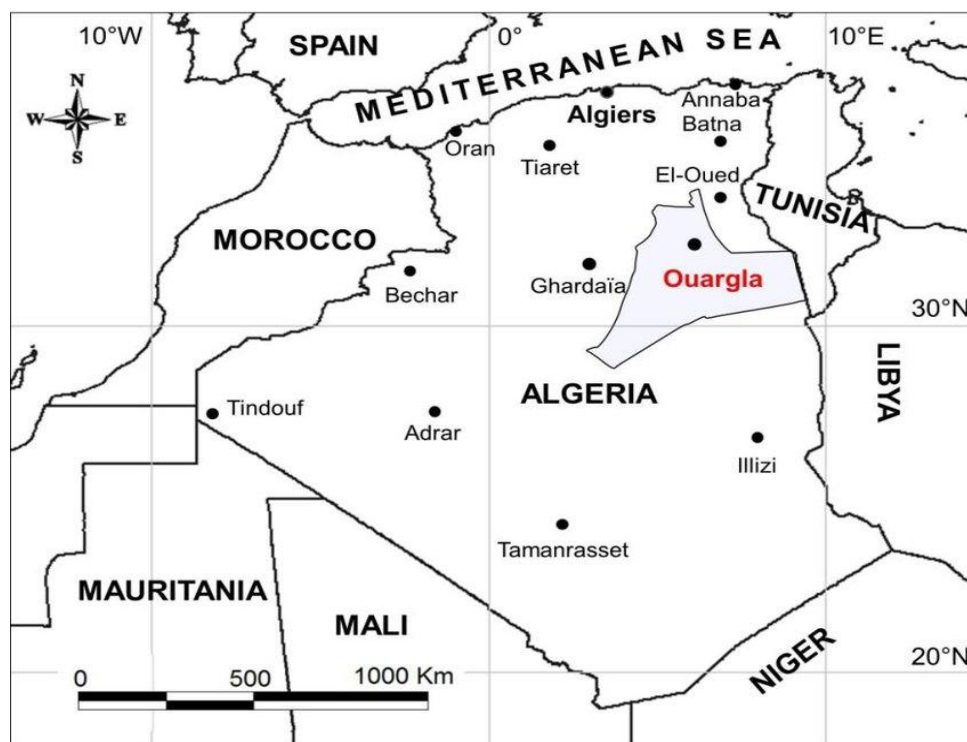


Figure III.1 : La situation géographique de la wilaya d'OUARGLA [14].

Cette figure met en évidence les frontières de la wilaya d'Ouargla en Algérie, ainsi que ses limites internationales.

III.2. Situation topographique :

La Wilaya de Ouargla est située au sud-est du pays, au bas Sahara, à l'intérieur des frontières avec une latitude de 28°45' et 33°55' et une longitude de 3° et 9° 35' avec une superficie de 163 230 km². Elle se situe à une altitude de 128 m au-dessus du niveau de la mer, à 190 km à l'est de Ghardaïa et à 388 km au sud de Biskra et 160 km au sud-ouest de Touggourt.

Sur le plan topographique, la wilaya d'Ouargla est caractérisée par un relief généralement plat, avec une légère pente vers le nord, d'une inclinaison moyenne de 1/1000, orientée d'ouest en est.

III.3. Description géologique :**III.3.1. Séismicité :**

L'Algérie est divisée en cinq zones sismiques distinctes, comme illustré dans la figure (III.2) :

- Zone 0 : Risque sismique très faible, quasi improbable.
- Zone I : Risque sismique faible.
- Zone IIa : Risque sismique modéré.
- Zone IIb : Risque sismique moyen.
- Zone III : Risque sismique élevé.

D'après cette division, la wilaya d'Ouargla se situe dans la zone 0. Cela signifie que le risque d'occurrence d'un tremblement de terre dans cette région est extrêmement faible, voire quasi nul.

III.4. Ressources en eaux souterraines :

Les nappes souterraines captives et phréatiques sont présentes dans les oasis d'Ouargla, ce qui fait que le grand bassin sédimentaire du Sahara septentrional contient trois principaux aquifères, comme illustre la figure (III.3).

- La nappe du continental intercalaire, l'un des plus grands réservoirs captifs au monde (CI), se trouve en profondeur.

- Le complexe terminal (CT) est situé au niveau intermédiaire.
- Les nappes phréatiques se trouvent en surface.

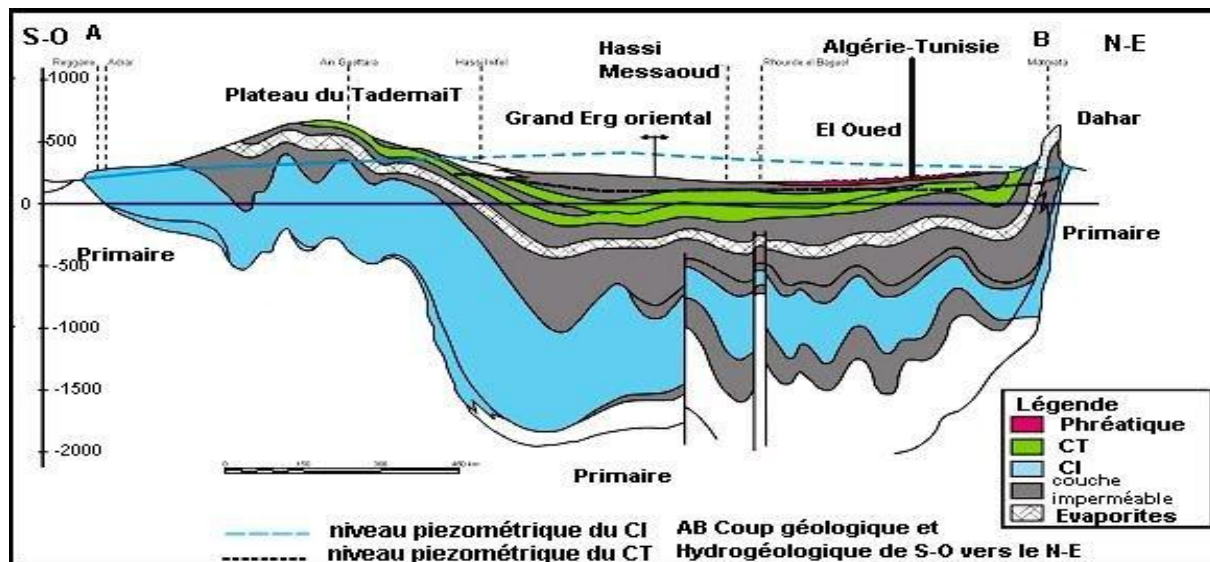
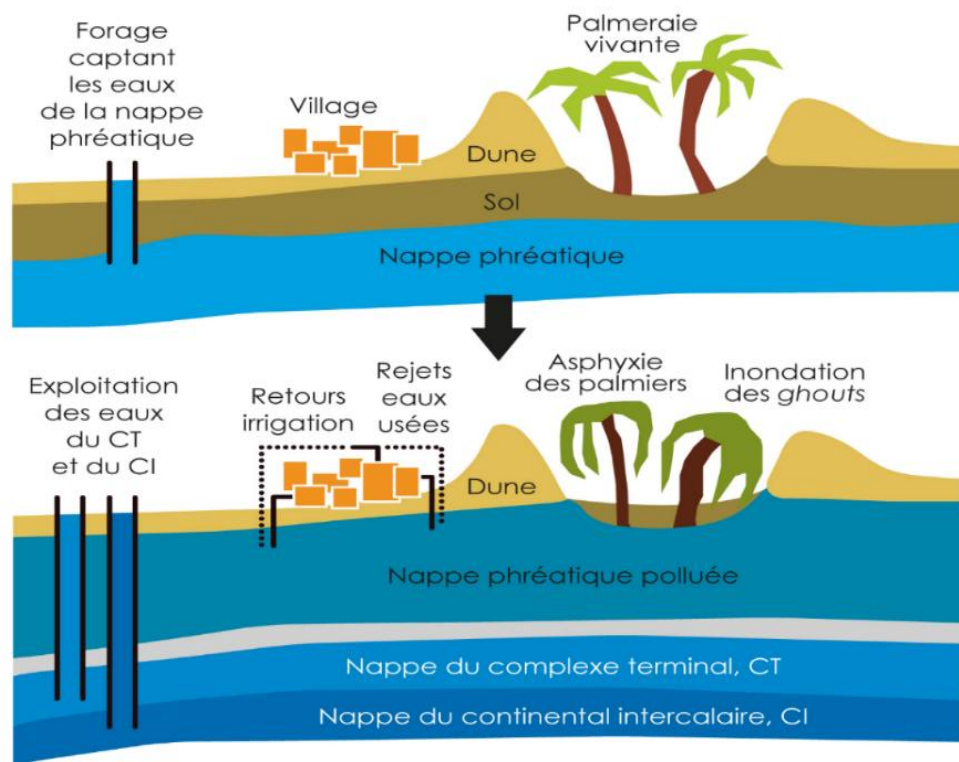


Figure III.3: Coupe hydrogéologique des aquifères du Sahara septentrionale [17].

À l'heure actuelle, les nappes CI et CT sont les deux principales ressources hydriques de la région d'Ouargla, tandis que la nappe phréatique (nappe superficielle) est une ressource hydrique fortement salée et reste inexploitée.

III.4.1. La nappe phréatique :

À Ouargla, la profondeur de la nappe phréatique superficielle est de 1 à 8 m, sur un substratum imperméable, avec une salinité très variable, moins de 50 g/l dans la ville et dépassant 190 g/l près des chotts, à cause du lessivage des formations gypseuses et argileuses, combinée à la remontée du niveau de la nappe, qui entraîne des affaissements de terrain et des conditions défavorables à l'agriculture.



Source : d'après B. Remini, 2006. Cartographie : Fl. Troin • CITERES 2018.

Figure III.4. Le phénomène de la remontée de la nappe phréatique [35].

Les rejets des eaux usées et les retours d'irrigation sont les principaux facteurs de remontée de la nappe phréatique à Ouargla, comme le montre la figure (III.4). Ces éléments favorisent l'élévation du niveau de la nappe, ce qui entraîne différents problèmes environnementaux et agricoles dans la région.

III.4.2. Le complexe terminal (CT) :

Le système aquifère du C.T, couvre la majeure partie du bassin du Sahara septentrional sur environ 350 000 Km, sa profondeur varie entre 100 à 600 m. Les eaux du complexe terminal sont fortement salées, leur capacité électrique varie entre 2400 et 10600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'évolution spatiale de la minéralisation révèle que les fortes concentrations ($\text{CE} > 8000 \mu\text{S}/\text{cm}$) se trouvent au niveau du chott entre Sidi Khouiled et Ain El Beida, tandis que les faibles teneurs ($\text{CE} < 4000 \mu\text{S}/\text{cm}$) sont localisées au centre et à l'ouest de la ville de Ouargla [8]. Cette nappe du C.T est composée de trois nappes aquifères, de bas en haut nous avons la nappe du Turonien, la nappe du Sénonien et la nappe du mio-pliocène.

III.4.3.1. La nappe du mio-pliocène : L'exploitation de la nappe mio-pliocène est extrêmement ancienne, cette nappe se trouve à une profondeur de 60 à 100 m constituée de

sables fins à grossiers à graveleux., sa salinité varie de 1,8 et 4,6 g/l dans la région d'étude, alors que sa température est de l'ordre 23 à 25°C, elle est généralement destinée à l'irrigation [27].

III.4.3.2. La nappe du Sénonien : Il s'agit d'une nappe sous-sol méconnue de la vallée de l'oued Mya, qui comprend du sénonien lagunaire et du sénonien carbonate. Dans la ville d'Ouargla, la nappe de sénonien carbonaté est d'une profondeur de captage entre 150 et 240 m, elle est principalement utilisée pour fournir de l'eau potable en raison de sa qualité chimique exceptionnelle par rapport aux autres nappes.

III.4.3.3. La nappe de Turonien : elle est constituée de calcaire fissuré et est également un aquifère captif, identifié sur une épaisseur de 60 mètres, sur un substratum imperméable de céno-manien anhydritique et argileux.

III.4.3. Le continental Intercalaire (CI) :

L'aquifère du Continental Intercalaire est défini comme les formations continentales du crétacé inférieur, situées entre l'Albien et le Néocomien, composées de sables, de grès avec des intercalations d'argiles (figure III.5), dont la profondeur du toit varie entre 700 et 1200 mètres environ, à Ouargla la profondeur varie entre 1125 m et 1350 m. Les eaux de cette nappe se caractérisent généralement par une température élevée, d'environ 55°C, ainsi qu'une forte pression, ce qui entraîne de nombreux défis techniques. Cependant, la salinité de ces eaux est relativement faible, ne dépassant pas 1,7 à 2 g/l [27].

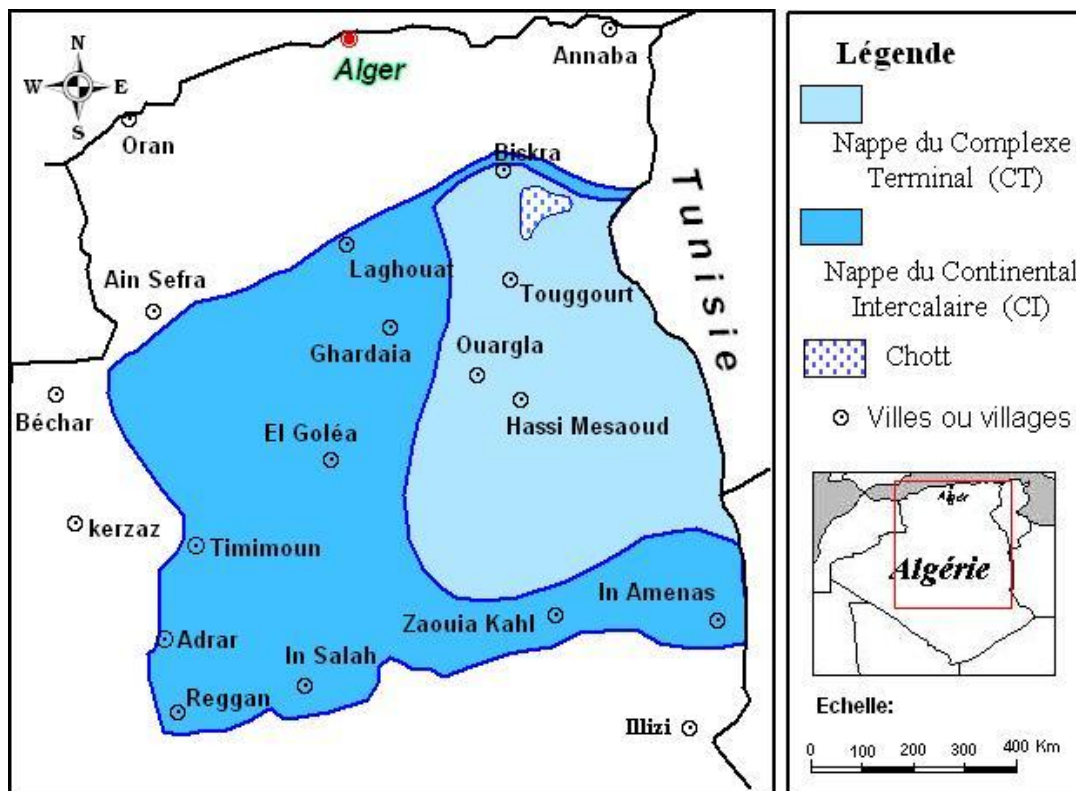


Figure III.5. Carte représentant les nappes du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal [39].

Dans la zone d'étude, l'aquifère du Continental Intercalaire se manifeste sous la forme d'une nappe artésienne, représentant la principale réserve d'eau souterraine dans le Sahara algérien. Au-dessus de cette nappe se trouve la nappe du Complexe Terminal, qui se présente sous forme d'une nappe libre [44].

III.5. Situation climatologique :

En dépit de sa position relativement septentrionale, la région d'Ouargla est exposée à un climat désertique très différent. L'aridité se traduit par :

- Des températures élevées pendant l'été : souvent dépassant les 50°C.
- Des précipitations faibles : ne dépassant pas plus de 45 mm par an.
- Une forte évaporation : causée par la sécheresse de l'air, ce qui accentue l'aridité.

L'impact de ces paramètres hydro-climatiques sur le comportement hydraulique et le bilan hydrique des aquifères de la région est important. L'aridité restreint la pénétration des précipitations et encourage l'évaporation, ce qui diminue la recharge des nappes phréatiques.

Les informations climatiques recueillies à la station pluviométrique d'Ouargla jouent un rôle crucial dans :

- La compréhension du fonctionnement des systèmes hydrogéologiques.
- L'évaluation des ressources en eau disponibles.
- La gestion durable des nappes phréatiques.

III.5.1. La température :

La température exerce une influence majeure sur divers paramètres météorologiques tels que l'évaporation, l'évapotranspiration, la végétation et le déficit d'écoulement. À Ouargla, les étés sont remarquablement chauds, comparables à ceux du Sahara central, caractérisés par des variations constantes de température. L'analyse des températures, basée sur les données recueillies sur le site de la NASA pour la période de 2012 à 2022 [34], est présentée dans le tableau (III.1).

Tableau III.1. Les températures moyennes, maximales, minimales d'Ouargla (2012-2022).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tmax(C°)	23.01	25.75	30.31	37.18	42.40	45.28	47.51	45.73	43.03	36.40	29.13	22.65
Tmin(C°)	0.59	1.74	4.25	8.55	13.92	18.96	23.09	24.11	18.92	12.32	5.20	1.93
Tmoy(C°)	9.90	12.07	16.09	21.57	26.72	31.95	34.97	34.23	30.3	23.27	15.83	11.25

Source(<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>).

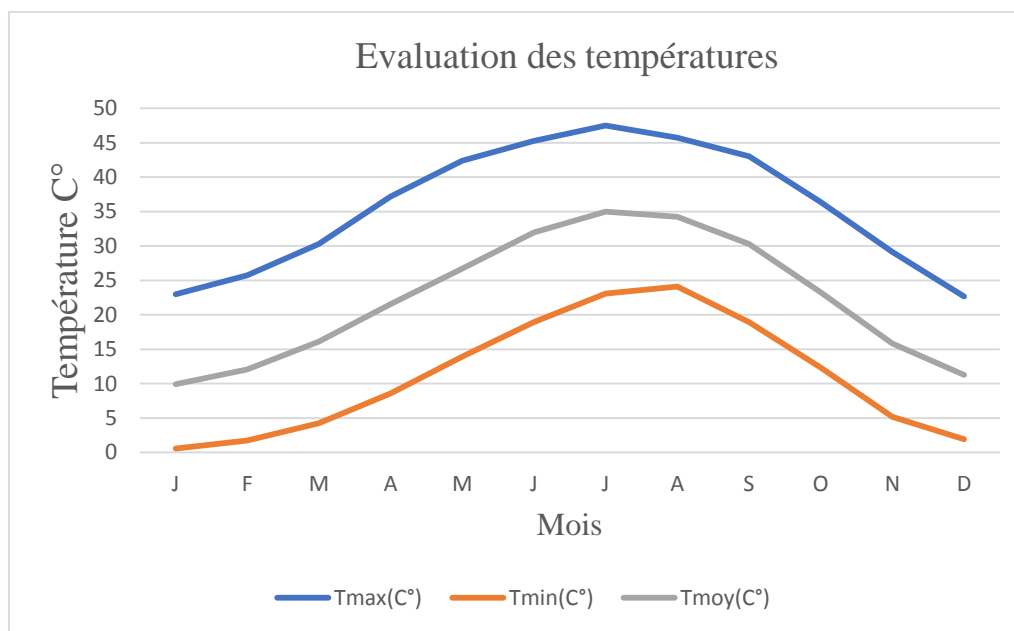


Figure III.6 : Evaluation des températures mensuelles d'Ouargla (2012-2022).

D'après la figure (III.6), les températures les plus élevées sont observées en juillet et août, avec des températures allant jusqu'à 47°C. Les températures les plus basses sont observées en décembre et janvier (0°C -2°C). C'est une particularité de la partie nord du Sahara continental.

III.5.2. La Pluviométrie :

La Wilaya de Ouargla présente un climat de type Saharien, avec une faible pluviométrie, des températures élevées, une forte évaporation et une faible biodiversité.

Outre leur rarefaction, les précipitations dans la région de Ouargla sont instables, tandis que la sécheresse est presque totale de mars à juin, comme illustré le tableau (III.2) suivant :

Tableau III.2. Les précipitations moyennes mensuelles d'Ouargla (2012-2022).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Précipitations mensuelles(mm)	10.7	2.14	5.26	1.63	3.31	0.42	0.21	0.97	5.52	6.27	6.53	4.78

Source (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>).

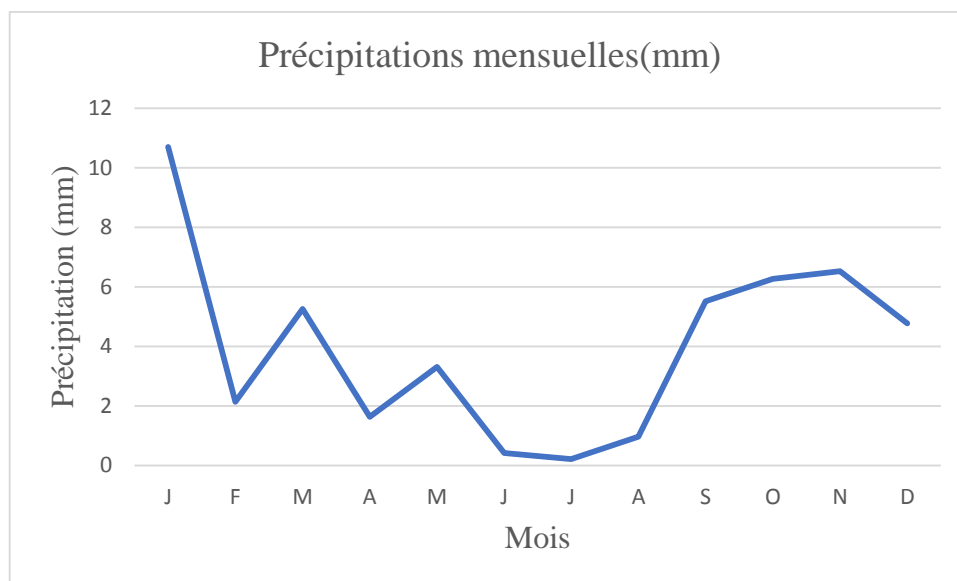


Figure III.7. Evaluation des Précipitations moyennes annuelles d'Ouargla (2012-2022).

Les précipitations varient considérablement, étant peu abondantes en hiver et absentes en été. En janvier, la valeur maximale de précipitation est de 10,7 mm, tandis qu'en juillet, elle atteint un minimum de 0,21 mm. En général, les pluies dans la région sont de faible intensité.

III.5.3. La vitesse de vent :

Les vents dominants proviennent des directions Est et Nord-est, suivis dans une moindre mesure par ceux venant des directions Ouest et Sud-Ouest, caractérisés par le Sirocco. En général, les vents sont les plus intenses au printemps, transportant des sables éoliens et pouvant persister pendant trois jours consécutifs, voir le tableau (III.3) suivant ;

Tableau III.3. La vitesse moyenne mensuelle de vent à Ouargla.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Vent(m/s)	5.81	6.32	6.58	6.78	6.40	6.52	6.06	5.64	5.62	5.26	5.55	5.51

Source (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>).

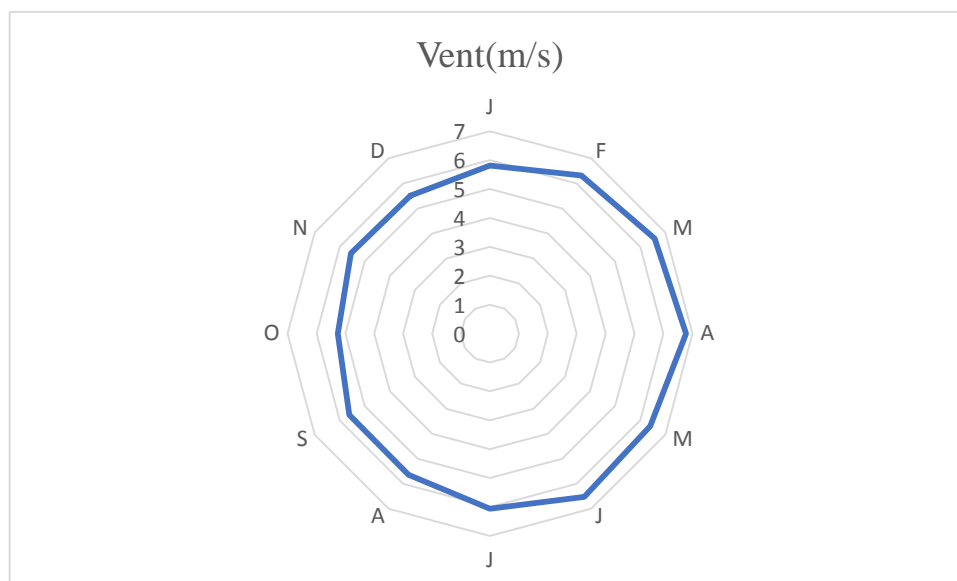


Figure III.8 : Diagramme de vitesse de vent (m/s).

D'après le tableau, on observe une vitesse minimale du vent pendant les mois d'octobre, novembre, et décembre, atteignant 5.44 m/s. Le vent atteint sa vitesse maximale en Avril avec une vitesse de 6.78 m/s.

III.5.4. L'humidité :

Dans la région d'Ouargla, l'humidité joue un rôle essentiel en influençant l'évaporation et en ayant des répercussions significatives sur l'environnement local, comme la sécheresse et la pénurie d'eau. Le tableau (III.4) montre que l'humidité moyenne mensuelle est plus élevée en hiver qu'en été, sans doute en raison de la saisonnalité de ces deux périodes.

Tableau III.4. L'humidité relative moyenne mensuelle en %.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Humidité relative (%)	54.16	45.85	38.24	32.47	27.50	21.22	17.82	21.42	28.95	37.45	47.18	60.01

Source (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>).

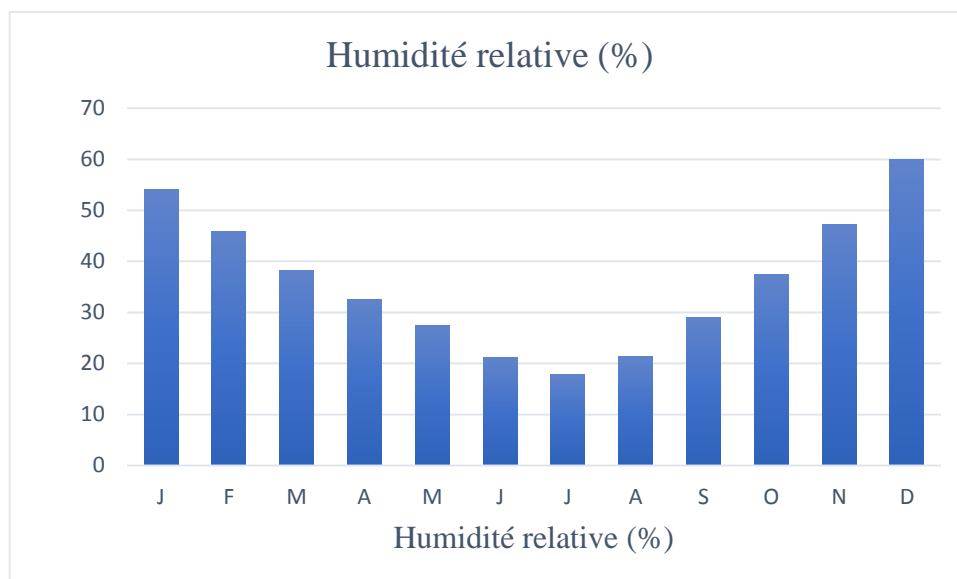


Figure III.9 : L'évaluation d'humidité relative moyenne mensuelle à Ouargla.

La figure (III.9) montre que le mois de décembre est marqué par une humidité relative maximale de 60.01%, qui chute jusqu'à 17.82 % en juillet, ce qui indique une forte évapotranspiration et une sécheresse notable. Les mois de juillet et juin sont les plus secs, avec des moyennes d'humidité de 17.82 % et 21,22 % respectivement. Cela signifie que l'air est très sec pendant l'été. En revanche, les mois les plus humides sont décembre et janvier, avec des moyennes d'humidité de 60,01 % et 54,16 % respectivement. Bien que plus élevées qu'en été, ces taux d'humidité restent relativement faibles.

III.5.5. L'évaporation :

Dans la région d'Ouargla, l'évaporation est un phénomène physique qui augmente avec la température et la sécheresse de l'air. La quantité d'eau qui s'évapore pendant une période donnée dépend de plusieurs facteurs, notamment :

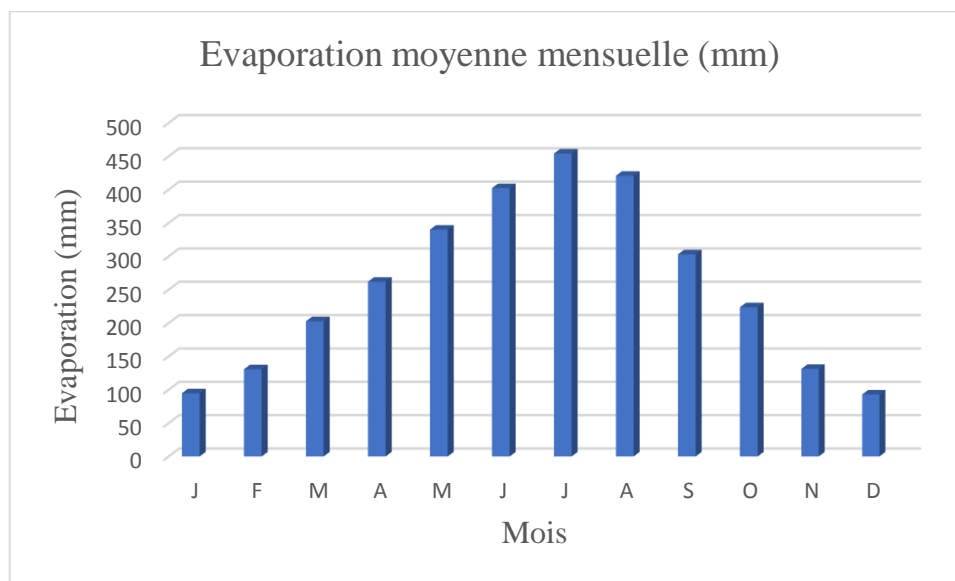
- Les conditions atmosphériques telles que la température, l'humidité, le vent et la pression.
- Les caractéristiques de la surface où se produit l'évaporation, comme la nature du sol, la présence de végétation, etc.

Le tableau (III.5) présente les données d'évaporation mensuelle dans la région d'Ouargla (1996-2017).

Tableau III.5. Evaporation dans la région d'Ouargla (1996-2017).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Evaporation (mm)	94.7	130.8	202.7	261.9	340	402.2	454.1	420.8	303	223.6	131.3	92.9

Source : [43].

**Figure III.10.** L'évaporation dans la région de Ouargla.

Selon la figure (III.10), on observe des fluctuations saisonnières significatives dans l'évaporation dans la région d'Ouargla. Les valeurs les plus élevées sont observées pendant les mois d'été, de juin à août, avec un maximum de 454,13 mm en juillet. D'un autre côté, les mois d'hiver, de décembre à février, sont les plus bas, avec un minimum de 92,90 mm du mois de décembre. Des valeurs intermédiaires sont observées pendant les mois de transition, de mars à mai et de septembre à novembre. Il est possible d'expliquer ces évaporations élevées par le climat désertique de la région, qui se distingue par des températures très élevées, une faible humidité et des vents forts.

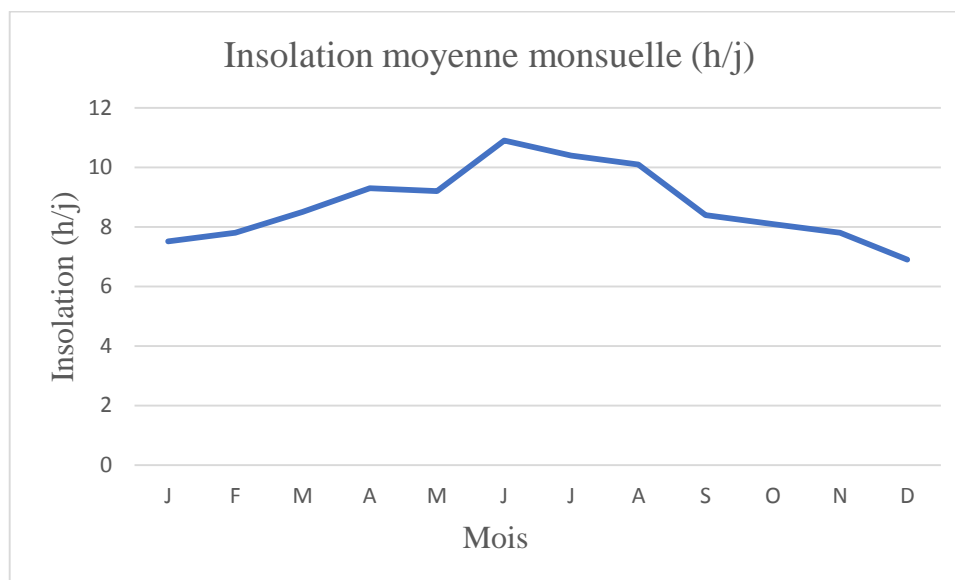
III.6. L'insolation :

On tient généralement compte de l'insolation comme élément du climat lors du calcul de l'évapotranspiration potentielle. Le tableau (III.6) présente les valeurs mensuelles moyennes observées :

Tableau III.6. Insolation moyenne journalière (h/j) pour chaque mois (2012-2022).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Insolation (h/j)	7.51	7.8	8.5	9.3	9.2	10.9	10.4	10.1	8.4	8.1	7.8	6.9

Source (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>)

**Figure III.11.** Diagramme de l'insolation moyenne mensuelle.

Selon la figure (III.11), l'intensité de l'insolation quotidienne est élevée tout au long de l'année (>7 h/j). Sa durée varie de 6.9 h à 7.8 h pendant les mois froids et est significative pendant les mois chauds 10.9 heures.

III.7. Le sol :

Les caractéristiques pédologiques de la région d'Ouargla sont particulières, avec des sols légers à dominante sableuse et une structure spécifique. Selon ROUVILLOIS-BRIGOL en 1975, ces sols se caractérisent par une faible teneur en matière organique, un pH alcalin et une bonne aération. On peut classer les différents types de sols couramment observés à Ouargla en trois groupes principaux :

1. Les sols sal-sodiques : Ces sols sont caractérisés par une teneur élevée en sels et en sodium, affectant leur fertilité et leur structure.

2. Les sols hydromorphes : Ces sols sont influencés par la présence d'une nappe phréatique proche de la surface, entraînant une saturation en eau et des conditions d'anaérobiose.

3. Les sols à minéraux bruts : Ces sols sont peu évolués, avec une faible accumulation de matière organique et de minéraux, souvent associés à des zones arides ou semi-arides.

Cette diversité pédologique reflète les conditions climatiques et géomorphologiques spécifiques de la région d'Ouargla, influençant ainsi les potentialités agricoles et les pratiques de gestion des terres.

III.8. Couverture végétale :

La couverture végétale dans la wilaya d'Ouargla est caractéristique des régions sahariennes, adaptée aux conditions arides du climat. Voici les principales caractéristiques de la végétation dans cette région :

1. **Palmeraies :** Les palmeraies sont l'élément végétal dominant, avec des oasis de palmiers dattiers qui constituent l'essentiel de la végétation cultivée (figure III.9). Ces palmeraies sont irriguées par les eaux souterraines. [37].
2. **Végétation naturelle :** En dehors des zones oasiennes, la végétation naturelle est très clairsemée et adaptée aux faibles précipitations. On trouve principalement des espèces végétales xérophiiles comme l'armoise blanche.
3. **Oueds :** Les oueds (lits de rivières temporaires) constituent des zones où la végétation est plus dense, profitant de l'humidité des sols. On y trouve des espèces comme le tamaris et le palmier nain.
4. **Sebkhas :** Les sebkhas (dépressions salées) sont quasiment dépourvues de végétation en raison de la forte salinité des sols. Seules quelques espèces halophiles très résistantes peuvent s'y développer.

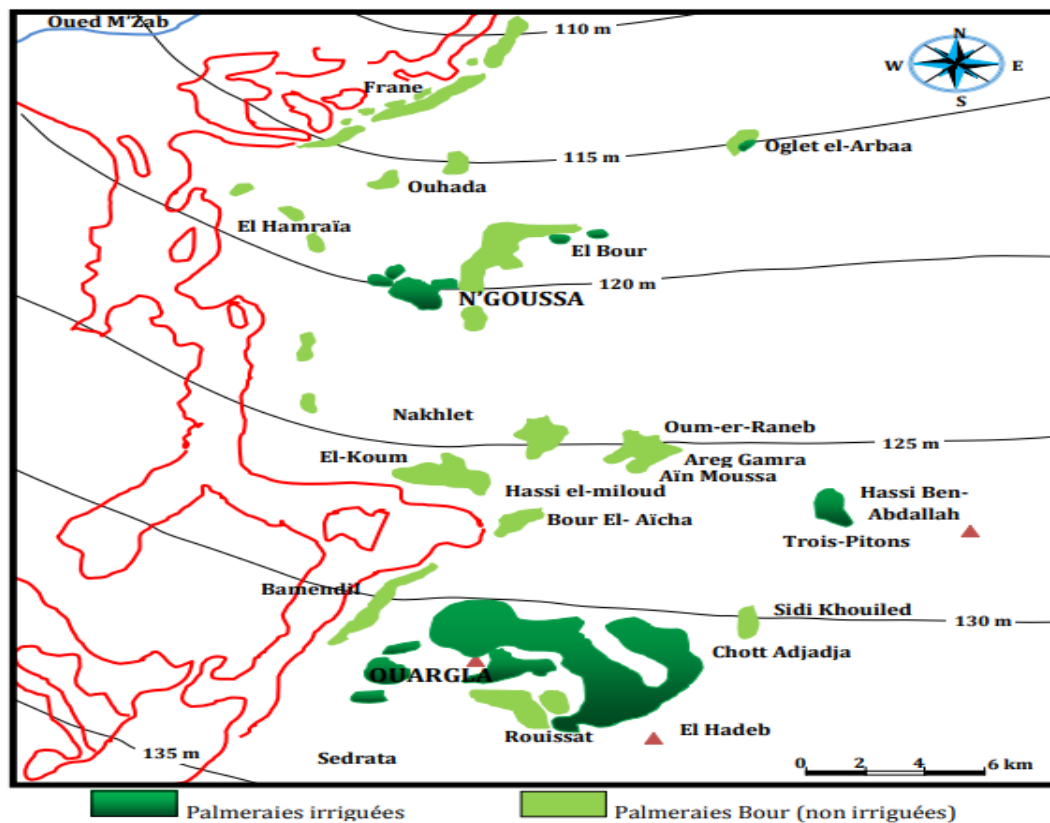


Figure III.9. Les palmeraies de la vallée de Ouargla [52].

En résumé, la végétation d'Ouargla est très adaptée aux conditions désertiques, dominée par les palmeraies oasiennes et quelques espèces végétales xérophiles et halophiles dans les zones naturelles. La rareté des précipitations et la salinité des sols sont les principaux facteurs limitants pour le développement de la végétation dans cette région.

III.9. Système oasien de Ouargla :

La présence de diverses perturbations dans la cuvette de Ouargla révèle un écosystème oasien en déséquilibre et en péril. Traditionnellement équilibratrice, l'agriculture oasienne est en voie de déclin en raison de la baisse de la phoeniculture et de la spéculation foncière qui a conduit à une urbanisation préoccupante des oasis. La cuvette de Ouargla est menacée par cette tendance à un déséquilibre écologique, où les perturbations touchent à la fois les éléments naturels et humains essentiels. En même temps, le précieux patrimoine des oasis est gravement endommagé, ce qui aggrave la situation critique de la région.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons analysé la région d'Ouargla, caractérisée par des conditions géographiques et climatiques désertiques, avec des températures élevées, des précipitations limitées et des vents forts. Cette zone présente une végétation, qui est particulièrement adaptée aux conditions désertiques de la région d'Ouargla. Ainsi les diverses ressources souterraines, mettant en évidence la minéralisation relativement élevée de l'eau dans la région.

En somme, Ouargla souffre d'une aridité extrême, où l'évaporation et la transpiration entraînent une perte d'eau significative, rendant l'accès à de l'eau potable et la durabilité des cultures particulièrement problématiques.

Chapitre IV

La description de la station IFRI

Introduction :

La région d'Ouargla fait face à une pénurie d'eau chronique en raison de son climat aride. Pour y remédier, les autorités ont exploré les ressources en eaux souterraines, notamment le complexe terminal et le continental intercalaire. L'objectif principal est de traiter ces eaux, d'abord pour la ville d'Ouargla, puis pour l'ensemble de la wilaya. La méthode de traitement choisie est la déminéralisation par osmose inverse, qui nécessite un prétraitement avancé pour éviter le colmatage des membranes. Ce processus vise à fournir une eau douce et potable.

Ce chapitre vise à décrire l'état de fonctionnement de la station de déminéralisation d'IFRI.



Figure IV.1. Carte satellitaire de la station IFRI (Source : google Earth Pro ,2024).

IV.1. L'alimentation de la station de déminéralisation d'IFRI :

La station de déminéralisation de IFRI a été alimentée à son lancement par quatre forages de la nappe sénonien (DAOUNE, SILICE, IFRI 01, IFRI 02). Toutefois, lorsqu'il est apparu que les besoins de la population locale n'étaient pas satisfaits, deux forages supplémentaires (IFRI04, IFRI05) ont été ajoutés de manière arbitraire pour remédier à cette insuffisance (figure IV.2).



Figure IV.2. L'entrée d'eau à la station.

Les 6 forages qui alimentent la station sont caractérisés par des débits variés, illustrés dans le tableau (IV.1). Cette variabilité des débits est essentielle pour comprendre la capacité d'approvisionnement en eau de la station et son adaptation aux besoins des consommateurs.

Tableau IV.1. Les débits des forages de la station de déminéralisations d'IFRI.

Forage	Débit (m ³ /j)
Silice	2880
Douane	1920
IFRI 01	2280
IFRI02	1920
IFRI 04	2640
IFRI 05	1440
Total	13080

Source :ADE Ouargla [2]

La mobilisation de ces forages permet à la station d'IFRI de bénéficier d'un débit total de **13 080 m³** par jour.

IV.2. Qualité de l'eau brute :

D'après les analyses effectuées en laboratoire, les résultats sont présentés dans le tableau (IV.2) :

Tableau IV.2. Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau à traiter.

Forages	Silice	La Douane	IFRI 2	IFRI 1	IFRI 4	IFRI 5
Paramètres						
pH	7.45	7.45	7.5	7.45	7.64	7.62
Température (°C)	23	23	23	23	25	25
Conductivité (µs/cm)	3240	3970	4630	2980	4270	2490
Calcium (Ca ²⁺) (mg/l)	180.36	255	256	300.6	208.42	164.32
Magnésium (Mg ²⁺) (mg/l)	97.22	94.8	112	136.53	153.12	97.22
Sodium (Na ⁺) (mg/l)	300	520	620	455	420	250
Potassium (K ⁺) (mg/l)	22	24.8	28.8	32	29	17
Chlorure (Cl ⁻)(mg/l)	606.52	800	980	1021.58	846.47	545.33
Sulfate (SO ₄ ²⁻) (mg/l)	580	890	960	740	780	282
Nitrate (NO ₃ ⁻) (mg/l)	17.4	38	37	17.4	16.7	15.42
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)(mg/l)	106.89	138	132	126.88	120.83	117.12
Nitrites (NO ₂ ⁻) (mg/l)	0.015	0.016	0.016	0.015	<0.005	<0.005
Sulfures (S ₂ ⁻) (mg/l)	0.01	0.01	0.01	0.01	/	/
Fer (mg/l)	0.0046	0.0046	0.014	0.0046	00	00
Manganèse (mg/l)	0.014	0.014	0.014	0.014	/	/
Silicium (Si) (mg/l)	8.06	3.88	5.16	8.3	/	/

Source : laboratoire centrale, ADE d'Ouargla [2]

Les analyses physico-chimiques de l'eau à traiter, présentées dans le tableau IV.2, révèlent des variations significatives des paramètres entre les différents forages.

En examinant les différentes caractéristiques des forages, nous constatons que La Douane présente une conductivité de 3240 µs/cm et des niveaux de nitrates à 17.4 mg/l, sans indication de problèmes de turbidité. Pour IFRI 1, la situation est moins favorable, avec une conductivité élevée de 4630 µs/cm et des nitrates à 38 mg/l, bien que la turbidité ne soit pas spécifiée. IFRI

2 affiche également une conductivité élevée de 3970 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et des nitrates à 37 mg/l. En revanche, IFRI 4 montre une conductivité plus basse à 2980 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et des nitrates similaires à ceux de La Douane, soit 17.4 mg/l, sans problème de turbidité signalé. Enfin, IFRI 5 présente la conductivité la plus basse à 2490 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et les niveaux de nitrates les plus bas à 16.7 mg/l. Sur la base des données fournies, aucun forage ne semble avoir des niveaux de nitrates ou d'autres contaminants qui dépassent les normes de potabilité, ce qui est un indicateur positif. Cependant, en termes de conductivité, IFRI 1 présente la valeur la plus élevée (4630 $\mu\text{s}/\text{cm}$), ce qui peut indiquer une qualité d'eau moins favorable par rapport aux autres forages. Ainsi, bien que tous les forages semblent acceptables selon les normes présentées, IFRI 1 pourrait être considéré comme ayant la mauvaise qualité d'eau en raison de sa conductivité élevée, suggérant une concentration plus importante en sels dissous.

IV.3. Taux de conversion :

Le taux de conversion de chaque ligne de traitement, ainsi que de l'ensemble de la station, est d'environ 75%. Cela signifie que 75% de l'eau brute alimentant la station est transformée en eau traitée, le reste étant rejeté sous forme de concentrat.

IV.4. Les étapes de la station de déminéralisation :

Les différentes étapes d'une station de déminéralisation sont cruciales afin d'atteindre la qualité d'eau désirée (annexe 1). Les trois méthodes principales comprennent :

1. Prétraitement.
2. Traitement principal.
3. Désinfection.

IV.4.1. Le prétraitement :

Le prétraitement englobe tous les processus réalisés sur l'eau d'alimentation afin de la rendre compatible avec le bon fonctionnement du système de traitement, tant sur le plan physique, chimique que bactériologique.

- **Chloration :**

Il est crucial de procéder à la chloration afin de purifier l'eau et d'éviter la croissance biologique qui entraîne le bi colmatage des membranes. L'hypochlorite de sodium (eau de

Javel, NaClO) est utilisé pour introduire le chlore. Avec la chloration, les organismes pathogènes présents dans l'eau sont éliminés et l'eau est protégée contre toute contamination potentielle lors de son transport ou de son stockage.

▪ **La filtration :**

La filtration, dans le cadre d'un processus de traitement de l'eau, vise à clarifier l'eau en la faisant passer à travers un milieu poreux (filtre) composé d'un matériau granulaire. Ce filtre retient les matières en suspension, permettant ainsi une bonne élimination des bactéries, de la couleur et de la turbidité.

La station IFRI se compose de trois trains, chacun équipé de son propre filtre à sable (figure IV.3) d'une surface unitaire de 15.12 m² et d'un filtre à cartouche (Figure IV.4). Quatre pompes d'alimentation basse pression (trois en fonctionnement et une de secours) d'une capacité de 8784 m³/j alimentent les filtres à cartouche avec de l'eau filtrée, contenant 80 cartouches dans chaque filtre. De plus, trois pompes (deux en service et une de secours) d'une capacité de 9600 m³/j chacune assure une basse pression pour l'alimentation des filtres à sable. Ces filtres sont essentiels pour garantir la qualité de l'eau produite par la station. Le filtre à sable élimine les particules plus grosses et les sédiments de l'eau, tandis que le filtre à cartouche élimine les particules plus petites et les impuretés.



Figure IV.3. Les filtres à sable de la station d'IFRI.



Figure IV.4. Les filtres à cartouches de la station d'IFRI.

Entre les filtres à sables et les filtres à cartouche le métabisulfite de sodium est injecté en aval du filtre à sable (figure IV.5) dans le système pour éliminer la concentration de chlore libre. Cela est nécessaire pour éliminer l'effet oxydant du chlore libre sur les membranes, car celui-ci agit comme un oxydant.



Figure IV.5. Injection de métabisulfite de sodium.

Des mesures de chlorométrie sont prévues pour évaluer la quantité de chlore libre, ajuster l'injection de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ et déclencher une alarme ou arrêter l'installation en cas de détection de chlore libre.

IV.4.2. Traitement principal par l'osmose inverse :

Suite au prétraitement des eaux brutes, on passe à la prochaine étape, qui revêt une importance capitale : le traitement par osmose inverse. L'objectif de cette phase est de faire éliminer les sels de l'eau.

IV.4.2.1. Identification des membranes de la station :

Les membranes de la station sont produites par le constructeur Hydranautics, le tableau (IV.3) montre que les membranes utilisées dans la station IFRI sont de type spiralé.

Tableau IV.3. Type de la membrane.

La configuration	Spiralé
Membrane polymère	Composite polyamide
Surface active de membrane	37.1 m ²

La figure (IV.6) schématise le module d'osmose inverse utilisé dans la station IFRI. Ce module est la pièce maîtresse du procédé, où s'effectue la séparation de l'eau dessalée (perméat) et de la saumure concentrée.



Figure IV.6. Le module d'osmose inverse.

La membrane est schématisée dans la figure (IV.7), illustrant ses caractéristiques et visualisant la structure de la membrane.

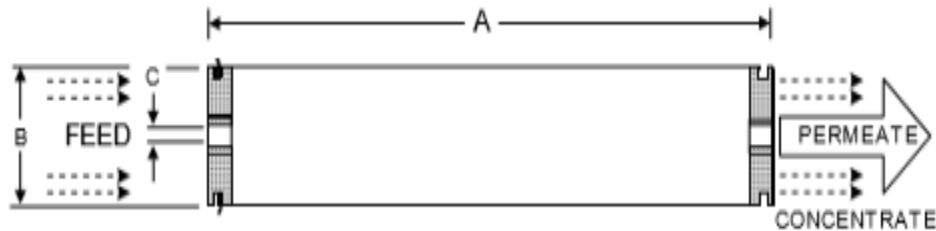


Figure IV.7. Schématisation de la membrane Hydranautics.

Les dimensions de la membrane utilisé dans la station est illustré dans le tableau (IV.4).

Tableau IV.4. Les dimensions de la membrane.

Longueur A (mm)	Diamètre B (mm)	C (mm)	Poids (kg)
1016	200	28.6	16.4

IV.4.2.2. L'emplacement des membranes de la station :

La station dispose de trois trains d'osmose inverse, mais un de ces trains est généralement mis en marche en fonction de la disponibilité d'eau d'alimentation et des besoins des consommateurs. Chaque train travaille à une durée de 8 heures et est composée de deux étages.

Les membranes sont placées dans des tubes de pression, comprenant 6 unités par tube, réparties sur deux niveaux différents comme illustré la figure (IV.8).

1. Initialement, il y a 12 tubes de pression, chacun contenant 6 membranes (totalisant 72 membranes par ligne), avec 3 lignes au total, ce qui donne un nombre total de 216 membranes.
2. Au deuxième étage, nous avons 6 tubes de pression, chacun équipé de 6 membranes (totalisant 36 membranes par ligne). Avec 3 lignes au total, le nombre total de membranes est de 108.



Figure IV.8. Le placement des membranes de la station par étage.

Le deuxième étage est alimenté par le concentrât du premier étage. Le système membranaire de ce genre est connu sous le nom de système di-étage en série rejet.

La station IFRI fonctionne avec un montage en série-rejet à deux étages avec un arrangement 2/1 pour réduire au maximum le débit de rejet.

IV.4.2.3. Le rejet d'osmose inverse :

Le rejet d'osmose inverse est généralement plus salé que l'eau d'alimentation. Ce phénomène est dû à la nature même du processus d'osmose inverse, qui sépare l'eau en deux flux : un flux de perméat (eau purifiée) et un flux de concentrat (rejet) qui contient une concentration plus élevée de solutés et de contaminants.

Le rejet de la station d'osmose inverse IFRI illustré dans la figure (IV.9) est collecté dans un réservoir de 40 m³.

Par la suite, ce rejet est transporté à travers une conduite en polyéthylène haute densité (PEHD) de 200 mm de diamètre afin d'être déversé dans un canal trapèze, près d'une sebkha.



Figure IV.9. Le rejet de la station IFRI.

Le perméat est l'eau pure produite, tandis que la saumure doit être gérée de manière appropriée pour éviter les impacts environnementaux négatifs.

IV.4.3. Poste traitement :

Après le processus d'osmose inverse, l'eau douce produite est stockée dans une bache d'eau traitée. Cette eau ne répond pas aux normes de potabilité, il est donc nécessaire de la mélanger avec de l'eau provenant de la bache d'eau prétraitée, ce qui donne un mélange de deux tiers d'eau douce et un tiers d'eau filtrée. Ensuite, un produit chimique désinfectant est ajouté pour assurer la qualité de l'eau. Enfin, le mélange est pompé à travers un système de pompage pour une distribution ultérieure.

IV.4.4. La chloration :

À l'issue du processus d'osmose inverse, il est essentiel de procéder à une chloration pour garantir la protection de l'eau contre toute contamination pendant son transport. L'eau de Javel, qui contient de l'hypochlorite de sodium, est un agent efficace pour éliminer les micro-organismes pathogènes et non pathogènes et garantir la qualité microbiologique de l'eau avant sa distribution et dans son parcours jusqu'à arriver aux robinets des consommateurs.

IV.5. Les réservoirs d'eau :**IV.5.1. Réservoir d'eau brute (40 m³) :**

Le réservoir d'eau brute de la station de déminéralisation d'IFRI joue un rôle central dans l'approvisionnement en eau de la station. Il collecte et stocke l'eau provenant des six forages qui alimentent la station. Ce réservoir permet donc de mélanger les eaux issues de ces différentes sources ce qui permet d'homogénéiser leurs caractéristiques physico-chimiques avant traitement.

IV.5.2. Réservoir d'eau filtrée et d'eau de lavage (155 m³) :

L'eau filtrée est acheminée par une pompe à basse pression et stockée dans un réservoir d'une capacité de 155 m³, équipé d'une sonde de niveau et d'un système anti-humidité (l'ADE-Ouargla en 2010).

IV.5.3. Réservoir de l'eau déminéralisée (120 m³) :

On l'utilise pour recevoir l'eau déminéralisée provenant de l'osmose inverse. On utilise également cette eau dessalée pour nettoyer les membranes d'osmose inverse en cas de colmatage.

IV.5.4. Réservoir de mélange d'eau traiter :

L'eau osmosée sera traitée par ajout de chaux pour ajuster le pH, tandis que la désinfection sera réalisée en utilisant une solution d'hypochlorite de sodium (eau de Javel). La chloration est utilisée pour éliminer les micro-organismes présents dans l'eau et prévenir de nouvelles contaminations lors de son transport ou de son stockage. Une fois traitée, l'eau sera mélangée avec les eaux prétraitées pour respecter les normes de potabilités ensuite les transférées vers un château d'eau de 500 m³ pour la distribution.

IV.5.5. Réservoir d'eau de rejet (40m³) :

Le réservoir d'eau de rejet joue un rôle crucial en collectant les eaux salines générées par l'osmose inverse, garantissant une gestion efficace des effluents. Les eaux concentrées sont ensuite acheminées par une conduite spécialement conçue pour transporter les eaux de rejet vers le milieu naturel.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue d'ensemble de la station de déminéralisation. L'eau brute subit plusieurs étapes avant d'atteindre le processus d'osmose inverse. Tout d'abord, elle est filtrée à travers des filtres à sable, suivis de filtres à cartouches. Après l'ajout de produits chimiques tels que le chlore, l'eau entre dans la phase d'osmose inverse, où les sels et autres impuretés sont séparés. Enfin, l'eau traitée est mélangée avec l'eau prétraitée afin de garantir qu'elle respecte les normes de potabilité avant d'être distribuée aux consommateurs.

Chapitre V

**Vérification de dimensionnement de la station de déminéralisation
IFRI**

Introduction :

Lors du lancement de la station de déminéralisation d'IFRI, qui est alimentée par quatre puits (DAOUNE, SILICE, IFRI 01, IFRI 02), il a été constaté que les besoins en eau de la population locale n'étaient pas entièrement satisfaits. Pour pallier cette insuffisance, deux puits supplémentaires (IFRI 04, IFRI 05) ont été ajoutés de manière aléatoire.

L'étude se concentre sur la vérification du dimensionnement de la station de déminéralisation d'IFRI suite à l'ajout de deux nouveaux forages, en utilisant deux méthodes complémentaires : le dimensionnement manuel qui donne les détails de calcul, et le dimensionnement par logiciel qui fournit des résultats détaillés et optimisés en tenant compte de la qualité de l'eau, des doses de produits chimiques nécessaires et du dimensionnement des équipements, mais qui s'appuie sur les données du dimensionnement manuel (taux de conversion et débit de production) sans en donner les détails des calculs et en étant limité à une bibliothèque restreinte de types de membranes prédéfinis. L'étude examine également les débits, car la station ne fonctionne qu'à un tiers de sa capacité, entraînant une variabilité dans la qualité de l'eau d'alimentation.

L'objectif est de déterminer si l'intégration de ces six forages sera suffisante à faire fonctionner la station à pleine capacité.

V.1. Osmose inverse :

La station IFRI, qui a un débit d'alimentation de 13080 m³/j et utilise l'arrangement 2/1, est équipée de membranes d'osmose inverse de type spiralé, fabriquées par Hydranautics, appartenant à la gamme ESPA2/LD, dont les spécificités techniques sont présentées dans le tableau V.1.

Tableau V.1. Les caractéristiques de la membrane.

Les caractéristiques	L'unité	Les valeurs
Débit spécifique initial Q_{w10}	m^3/j	37.9
Diamètre (D)	mm	200
La surface membranaire	m^2	37.10
Conversion (Y)	%	75
Température (T)	°C	25
Pression de fonctionnement Pf	psi (Kpa)	150 (1050)
Concentration de l'eau d'alimentation (en NaCl) CF°	mg/l	1500
Taux de rétention de sel SP_0	%	99.6
La perte de charge moyenne $\Delta P_{fro} / 2$	Psi (Kpa)	5 (34.483)

Les performances initiales de la membrane d'osmose inverse sont déterminées par ces caractéristiques, qui seront modifiées au fil du temps en fonction des conditions d'utilisation et de la qualité de l'eau d'alimentation.

V.2. Calcul de dimensionnement :

Le dimensionnement d'un perméateur implique les étapes suivantes :

1. Détermination des paramètres initiaux qui influencent le dimensionnement, tels que la perméabilité initiale de la membrane, la molalité totale des eaux des forages et la concentration de l'eau d'alimentation. Cette étape consiste à étudier l'état d'un seul perméateur dans chaque étage.

V.2 .1. Les facteurs influençant le dimensionnement :

En raison des différences entre les conditions de fonctionnement actuelles et les conditions standard du perméateur, des corrections sont nécessaires, y compris la production de débit.

Le débit de production initial aux conditions standard est donné par la formule :

$$Q_{w0} = K_{wi}(\Delta P_0 - \Delta \pi_0) \dots \dots \dots (V.1)$$

Q_{w0} : le débit initial de production dans les conditions standards.

K_{wi} : perméabilité initiale de la membrane.

ΔP_0 : différence de pression à travers la membrane.

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

Si le débit initial aux conditions standard est connu, il est possible de calculer la perméabilité de la membrane, qui peut ensuite être utilisée dans des conditions autres que standard :

$$Kwi = \frac{Qw0}{\Delta P0 - \Delta \pi 0} \dots\dots\dots (V.2)$$

On pose :

$$K'wi = \frac{1}{\Delta P0 - \Delta \pi 0} \dots\dots\dots (V.3)$$

$K'wi$: facteur de pression aux conditions standards.

La différence de pression osmotique entre une solution concentrée et une solution diluée séparées par une membrane est supposée être égale à la pression osmotique moyenne entre les deux solutions.

$$\Delta\Pi 0 = \frac{0,2654.Cfr0*(T+273)}{1000-\frac{Cfr0}{1000}} \dots\dots\dots (V.4)$$

- La concentration en sel dans l'eau de rejet :

$$CR0 = \frac{Cf0}{1-Y0} \dots\dots\dots (V.5)$$

$Cf0$: La concentration en sel dans l'eau d'alimentation.

$CR0$: La concentration en sel dans l'eau de rejet.

$Y0$: Le taux de conversion.

$$CR0= \mathbf{6000} \text{ ppm NaCl.}$$

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

$$Cfr0 = \frac{Cf0+CR0}{2} \dots\dots\dots (V.6)$$

$$Cfr0= \mathbf{3750} \text{ ppm NaCl.}$$

Donc :

$$\Delta\Pi 0 = \frac{0,2654.Cfr0*(T+273)}{1000-\frac{Cfr0}{1000}} \dots\dots\dots (V.7)$$

$$\Delta\Pi_0 = 297.70 \text{ Kpa.}$$

Pour le module ESPA2/LD, aux conditions standards on a :

$$\Delta P_0 = P_{f0} - \left(\frac{\Delta P_{fr}}{2}\right) \dots\dots\dots (\mathbf{V.8})$$

ΔP_{fr} : la perte de charge dans le perméateur.

P_{f0} : pression absolue de l'alimentation.

$$\Delta P_0 = 1015.52 \text{ Kpa.}$$

Donc :

$$K'_{wi} = \frac{1}{\Delta P_0 - \Delta \pi_0}$$

$$K'_{wi} = 0.00139 \text{ Kpa}^{-1}.$$

En utilisant $k'_{wi} = 0.00139 \text{ Kpa}^{-1}$, nous pourrions calculer le facteur de correction de la pression des modules.

$$PC_{Fi} = K'_{wi} * (P_{fi} - \left(\frac{\Delta p_{fri}}{2}\right) - \Delta \Pi_{fri}) \dots\dots (\mathbf{V.9})$$

P_{fi} : La pression de fonctionnement dans les conditions réelles.

Un autre facteur à considérer est le coefficient de rétention de l'eau au niveau de la membrane (MFRC), qui varie de manière linéaire en fonction de la pression, et ce, pour une durée de vie déterminée (voir l'annexe 02).

Le dernier facteur de correction concerne la correction du débit de production en raison de l'influence de la température sur la productivité du perméateur.

$$TCF_1 = 1.03^{T-22} \dots\dots\dots (\mathbf{V.10})$$

T : Température en °C.

D'où le débit corrigé est :

$$Q_{pi} = TCF_i * MFRC_i * PC_{Fi} * Q_{wi0} \dots\dots\dots (\mathbf{V.11})$$

▪ **Emplacement des permeateurs dans l'installation :**

La pression d'alimentation au deuxième étage est inférieure à celle du premier étage en raison des pertes de charge subies à travers les perméateurs et les divers raccords.

$$PF2 = PF1 - \Delta PFr1 - PBAL \dots \dots \dots \text{(V.12)}$$

Pour les perméateurs ESPA2/LD en utilisant les raccords en nylon (PBAL = 241.32 Kpa).

D'après les résultats des analyses physico-chimiques présentés dans le tableau (IV.2) du chapitre IV, il est possible de calculer les concentrations moyennes pondérées des différents solutés présents dans les eaux d'alimentation de la station. Les valeurs obtenues sont présentées dans le tableau (V.2) :

Tableau V.2 : Calcul des concentrations moyennes pondérées.

Forages Paramètres	Mélange des eaux de forages
pH	7.52
Température (°C)	23.67
Conductivité (µs/cm)	3596.67
Calcium (Ca ²⁺) (mg/l)	227.274
Magnésium (Mg ²⁺) (mg/l)	117.169
Sodium (Na ⁺) (mg/l)	425
Potassium (K ⁺) (mg/l)	26.014
Chlorure (Cl ⁻) (mg/l)	803.787
Sulfate (SO ₄ ²⁻) (mg/l)	716.734
Nitrate (NO ₃ ⁻)	122.567
Bicarbonate HCO ₃ ⁻ (mg/l)	22.942
Nitrites (NO ₂ ⁻) (mg/l)	0.0122
Sulfures (S ₂ ⁻) (mg/l)	0.007
Fer (mg/l)	0.005
Manganèse (mg/l)	0.01
Silicium (Si) (mg/l)	4.55

La concentration totale des sels dissous dans les eaux d'alimentation est de **2466,07** mg/l.

V.2.2. Calcul de la molalité (m=mol/1000 gr d'eau) :

La molarité est déterminée par la loi suivante :

$$mi = \frac{Ci \times 10^6}{(1000 * Mi * (10^6 - TDS))} \dots \dots \dots \text{(V.13)}$$

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

Mi : Masse molaire de l'élément (g).

**Chapitre V :
de déminéralisation IFRI**

Vérification de dimensionnement de la station

TDS : Total des solides dissous (mg/l).

Cette approche permet le calcul de la molalité de chaque composant dans une solution, qui peut ensuite être utilisée pour calculer la molalité totale en additionnant les molalités de tous les composants. Les valeurs obtenues sont présentées dans le tableau (V.3) :

Tableau V.3. Calcul de molalité des concentrations moyennes pondérées.

Les éléments	Concentration moyenne pondérée (mg/l)	La masse molaire (g)	La molalité (mol/1000g d'eau)
Ca ²⁺	227.274	40.08	0.006
Mg ²⁺	117.169	24.31	0.005
Na ⁺	425	22.99	0.019
K ⁺	26.014	39.1	0.001
Cl ⁻	803.787	35.45	0.023
SO ₄ ²⁻	716.734	96.06	0.007
HCO ₃ ⁻	122.567	61.02	0.0004
NO ₃ ⁻	22.942	62.01	0.001
Somme	2466.07		0.0623

La molalité a été déterminée par la relation suivante :

$$m_i = \frac{C_i * 1000}{M_i * (1000000 - TDS)} \dots \dots \dots \text{(V.14)}$$

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

M_i : masse molaire de l'élément (g)

TDS : Total des solides dissous (mg/l)

TDS = ΣC_i = **2466.07** mg/l.

mt = 0.0623 mol/1000g d'eau

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

$$C_f = \frac{1.12 * m_t * 10^6}{38.5 + 1.12 * m_t} \dots \dots \dots \text{(V.15)}$$

m_t : La molalité total.

A.N :

C_f = **1808. 60 ppm NaCl**

La station travaille à deux étages avec une conversion totale de 75% et une perte de charge moyenne : $\Delta PFR = 68.965$ Kpa par module.

Pour calculer les différents paramètres de système d'osmose inverse, on calcul par étirassions en supposant un taux de conversion de 50% pour les deux étages ($Y1 = 50\%$ et $Y2 = 50\%$), on peut utiliser les relations suivantes :

- Concentration en sels du rejet :

$$CR1 = \frac{CF1}{1-Y} \dots \dots \dots \text{(V.16)}$$

$$CR1 = 3617.2 \text{ ppm NaCl.}$$

- Concentration moyenne en sels entre l'alimentation et le rejet :

$$CFR1 = \frac{CF1+CR1}{2} \dots \dots \dots \text{(V.17)}$$

$$CFR1 = 2712.90 \text{ ppm NaCl.}$$

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

$$\Delta \Pi_{fr1} = \frac{0.2654 * C_{fr1} * (T + 273)}{1000 - \left(\frac{C_{fr1}}{1000}\right)}$$

$$\Delta \Pi_{fr1} = 215.14 \text{ Kpa.}$$

- Facteur de correction de la production :

$$PCF1 = K'Wi0 * \left(Pf1 - \left(\frac{\Delta p_{fr0}}{2}\right) - \Delta \Pi_{fr1} \right)$$

$$PCF1 = 1.113.$$

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

MFRC1 = 0,829 à 150 Psi, 22C° et 3 ans la durée de vie de la membrane.

- Facteur de correction de température :

$$TCF1 = 1.03^{T-22}$$

T : Température en °C.

$$TCF1 = 1.093.$$

- Détermination du nombre de perméateurs global pour l'installation :

Dans cette étape, les paramètres initiaux calculés précédemment sont utilisés pour déterminer les débits de production, d'alimentation et de rejet, ainsi que les solides totaux de production et de rejet, et la perte de charge à travers le perméateur.

- Débit de production :

$$Q_{p1} = TCF1 * MFRC1 * PCF1 * Q_{wi0}$$

$$Q_{p1} = 38.22 \text{ m}^3/\text{j}.$$

- Débit d'alimentation :

$$Q_{al1} = \frac{Q_{p1}}{Y_1} \dots\dots\dots (V.18)$$

$$Q_{al1} = 76.44 \text{ m}^3/\text{j}$$

- Débit de rejet :

$$Q_{r1} = Q_{al1} - Q_{p1} \dots\dots\dots (V.19)$$

$$Q_{r1} = 38.22 \text{ m}^3/\text{j}$$

- Débit moyenne entre l'alimentation et le rejet :

$$Q_{fr1} = \frac{Q_{al1} + Q_{r1}}{2} \dots\dots\dots (V.20)$$

$$Q_{fr1} = 57.33 \text{ m}^3/\text{j}$$

- La Perte de charge à travers le perméateur :

On a $Q_{fr1} = 57.33 \text{ m}^3/\text{j} = 10.52 \text{ GPM}$, en projette cette valeur sur la courbe (voir l'annexe 03), on trouve la valeur de la perte de charge à travers le perméateur.

$$\Delta P_{FR1} = 56.85 \text{ Kpa}.$$

Remarque :

On a appliqué les mêmes formules de calcul pour le deuxième étage.

Après plusieurs conversions, tous les résultats des valeurs calculées sont résumés dans le tableau V.4 :

Tableau V.4. Les résultats de calcul pour le 1-ère et le 2-ème étages.

Les paramètres de calculs	Etage 01	Etage 02
la concentration de l'eau d'alimentation en ppm NaCl CF (mg/l)	1808.60	5275.85
Concentration en sel du rejet CR (mg/l)	5275.85	7234.13
Concentration moyenne en sel entre l'alimentation et le rejet CFR (mg/l)	3542.23	6254.99
Pression osmotique moyenne entre l'alimentation et le rejet PPFRC (Kpa)	281.15	497.83
Facteur de correction de la production PCF	1.019	0.29
Facture de correction du flux de rétention de la membrane MFRC	0.829	0.829
Facteur de correction de température TCF	1.093	1.093
Débit de production QP (m ³ /j)	34.99	9.96
Débit d'alimentation Qal (m ³ /j)	53.24	36.79
Débit de rejet QR (m ³ /j)	18.25	26.83
Débit moyen entre l'alimentation et le rejet QFR (m ³ /j)	35.74	31.81
Perte de charge à travers perméateur ΔPFR (Kpa)	35.44	31.54

Selon les calculs effectués, nous pouvons entamer le calcul des taux de conversion.

V.2.3. Le calcul des conversions :

Étant donné que la station adopte un arrangement 2/1 pour calculer les taux de conversion globaux et les débits de production totaux, on obtient pour le premier étage :

$$\text{Etage 1 : } 2 \times QP1 = 2 * 34.99 = \mathbf{69.98 \text{ m}^3/\text{j.}}$$

Et pour le deuxième étage :

$$\text{Etage 2 : } 1 \times QP2 = 1 * 9.96 = \mathbf{9.96 \text{ m}^3/\text{j.}}$$

- **Débit de production total :**

$$QP_t = \mathbf{79.94 \text{ m}^3/\text{j.}}$$

- **Débit d'alimentation :**

Le débit d'alimentation est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$Q_{al} = \frac{Q_{pt}}{Y}$$

Où : $Y=75\%$

$$Q_{al} = 106.59 \text{ m}^3/\text{j}$$

Le taux de conversion pour le premier étage est donné par la formule suivante

$$Y_1 = \frac{QP_1}{Q_{al}}$$

$$Y_1 = 65.65 \%$$

Pour le deuxième étage, le taux de conversion est calculé comme suit :

$$Y_2 = \frac{QP_2}{(Q_{al} - QP_1)}$$

$$Y_2 = 27.21 \%$$

V.2.4. Calcul des débits :

- **Calcul de débit spécifique :**

$$Q_{sp} = \frac{Q_{pt}}{N_t} \dots \dots \dots \text{(V.21)}$$

N_t : nombre de perméateurs.

$$Q_{sp} = 26.65 \text{ m}^3/\text{j}$$

- **Calcul des débits de production en m^3/j :**

Le débit de production du premier étage est calculé comme suit :

Étage 1 :

$$Q_{pt1} = Q_{p1} * N_{t1} \dots \dots \dots \text{(V.22)}$$

Où N_{t1} représente le nombre total de perméateurs du premier étage, qui est égal à 216.

Ainsi,

$$Q_{pt1} = 7557.84 \text{ m}^3/\text{j}.$$

Le débit de production du deuxième étage est donné par :

Étage 2 :

$$Q_{pt2} = Q_{p2} * N_{t2} \dots \dots \dots \text{(V.23)}$$

Où N_{t2} : le nombre de permeateurs totale de deuxième étage. Qui égale à 108.

$$Q_{pt2} = 1075.68 \text{ m}^3/\text{j}.$$

Donc le débit de production d'une ligne devient :

$$Q_{pt} = 8633.52 \text{ m}^3/\text{j}.$$

▪ **Calcul du débit de rejet total:**

Le débit de rejet total est calculé comme suit :

$$Q_{rt} = N_{t2} * Q_{r2} \dots \dots \dots \text{ (V.24)}$$

Ce qui donne :

$$Q_{rt} = 2897.64 \text{ m}^3/\text{j}.$$

▪ **Calcul de la conversion totale :**

La conversion totale est déterminée par la formule suivante :

$$Y_t = \frac{Q_{pt}}{Q_{pt} + Q_{rt}} \dots \dots \dots \text{ (V.25)}$$

Donc :

$$Y_t = 74.87 \text{ \%}.$$

▪ **Calcul de débit d'alimentation total :**

Le débit d'alimentation total est calculé par :

$$Q_{al} = \frac{Q_{pt}}{Y_t}$$

$$Q_{al} = 11531.35 \text{ m}^3/\text{j}$$

▪ **Le débit de production des 3 lignes :**

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

$$Q_{PT} = 25900.56 \text{ m}^3/\text{j}$$

▪ **Le débit de rejet des 3 lignes :**

$$Q_{RT} = Q_{rt} * 3$$

$$Q_{RT} = 8692.92 \text{ m}^3/\text{j}$$

- Le débit d'alimentation des 3 lignes :

$$Q_{alT} = Q_{al} * 3$$

$$Q_{alT} = 34594.04 \text{ m}^3/\text{j}$$

Il est constaté que le débit total des six forages alimentant la station, qui est de 13 080 m³/j, est inférieur au débit d'alimentation requis lorsque la station fonctionne à pleine capacité pour faire fonctionner les trois lignes. Cela entraîne un déficit de 21514.04 m³/j.

Il est également remarqué que le débit actuel de 13 080 m³/j permet de faire fonctionner un terrain et un sixième d'un autre terrain. Donc, si la station fonctionnait à pleine capacité, le débit de rejet serait d'environ 8692.92 m³/j. Cependant, dans son état de fonctionnement actuel, le débit de rejet n'est que de 2897.64 m³/j.

En résumé, le débit actuel des six forages est insuffisant pour alimenter la station à pleine capacité, ce qui entraîne un déficit important et un débit de rejet réduit par rapport à la capacité maximale de la station.

V.2.4. Calcul de la qualité de l'eau produite :

- Facteurs de correction de la rétention de sels :

$$SPCF1 = \frac{CF0 * CFR1}{PCF1 * CF1 * CFR0} \dots\dots\dots (V.26)$$

$$SPCF1 = 0.77$$

$$SPCF2 = CF0 * \frac{CFR2}{PCF2 * CF2 * CFR0} \dots\dots\dots (V.27)$$

$$SPCF2 = 1.64$$

- Taux de rétention des sels :

$$SP1 = SP0 * SPCF1 \dots\dots\dots (V.28)$$

$$SP1 = 0.0031.$$

$$SP2 = SP0 * SPCF2 \dots\dots\dots (V.29)$$

$$SP2 = 0.0066.$$

- Les solides totaux dissous de la production :

$$TDSP1 = SP1 * TDS_0 \dots \dots \dots (V.30)$$

$$TDSP1 = 7.64 \text{ mg/l.}$$

$$TDSP2 = SP2 * TDSr1 \dots \dots \dots (V.31)$$

$$TDSP2 = 47.27 \text{ mg/l.}$$

- Les solides totaux dissous du rejet :

$$TDSr1 = \frac{TDS - Y * TDSP1}{1 - Y1} \dots \dots \dots (V.32)$$

$$TDSR1 = 7162.59 \text{ mg/l.}$$

$$TDSr2 = \frac{TDSr1 - Y * TDSP2}{1 - Y2} \dots \dots \dots (V.33)$$

$$TDSR2 = 9791.45 \text{ mg/l.}$$

- Les solides totaux dissous de mélange :

$$TDSt = \frac{QP1 * TDSP1 + QP2 * TDSP2}{QPt} \dots \dots \dots (V.34)$$

$$TDSt = 12.58 \text{ mg/l.}$$

La valeur de TDS (Total Dissolved Solids) est de 12.58 mg/l, ce qui indique une très faible salinité. Étant donné ce niveau, il est nécessaire de procéder à une reminéralisation, qui s'effectue par l'ajout d'eau filtrée à l'eau osmosée de sorte que l'eau atteigne les normes de potabilité.

V.3. Calcul de simulation par logiciel :

V.3.1. Le logiciel IMS-Design :

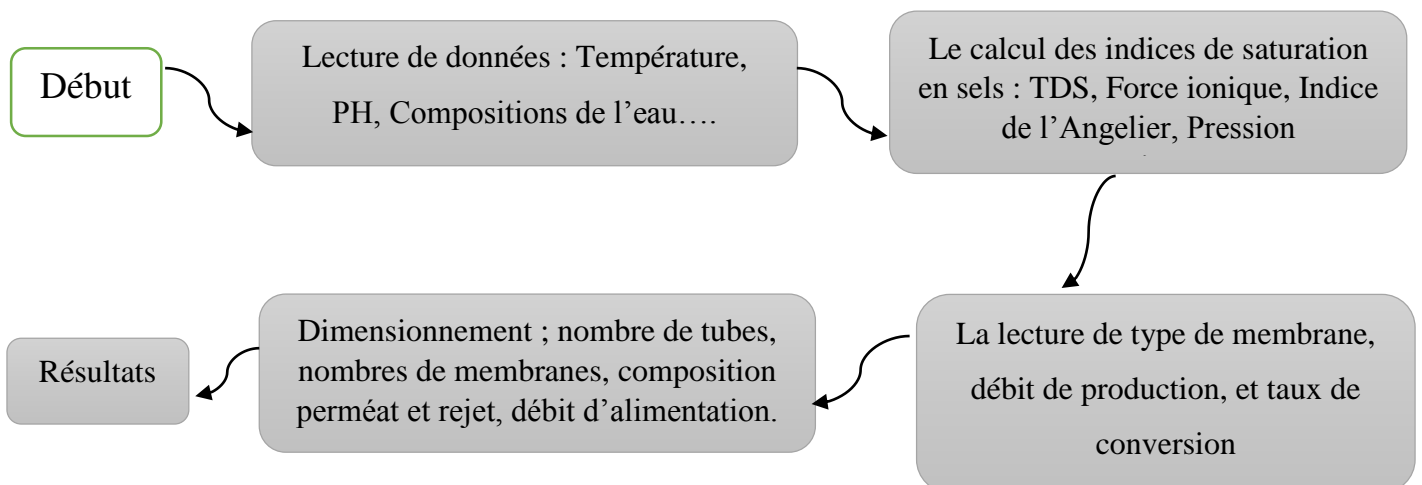
L'outil de dimensionnement IMS-Design est conçu pour les experts en dessalement et déminéralisation. Il met à disposition des caractéristiques avancées et des graphiques précis afin de simplifier la conception et l'analyse des systèmes à membranes. Ce logiciel facilite la gestion des données lors de la séparation par osmose inverse, en permettant de sélectionner la membrane et la configuration idéales en fonction de la qualité et de la quantité d'eau à traiter. Son utilisation principale est le traitement des eaux destinées à l'industrie chimique et à la distribution d'eau potable.



Figure V.1. L'interface de logiciel IMS-Design.

Les membranes sélectives d'osmose inverse de la marque Hydranautics sont utilisées dans la station de déminéralisation des eaux saumâtres IFRI, une entreprise mondialement connue dans le domaine de la déminéralisation des eaux. Cette entreprise fait appel à un logiciel nommé « IMS Design » afin d'aider à évaluer les dimensions des membranes de la station.

V.3.2. Le mode de fonctionnement de logiciel :



V.3.3. Les paramètres de fonctionnement de logiciel :

- **Débit de production :**

$$Q_p = 8633.52 \text{ m}^3/\text{j.}$$

Cette valeur représente le débit de production journalière calculé manuellement.

- **Taux de conversion :** représente la fraction du débit d'alimentation qui passe à travers la membrane sous forme de perméat. Dans ce cas, il a été calculé manuellement.

$$Y=75\%$$

- **La qualité de l'eau :** mesurée par des paramètres tels que le TDS (Total des Solides Dissous) et le pH, inclut les concentrations en ions présents dans l'eau.

V.3.4. Utilisation de simulation de logiciel pour dimensionnement et le contrôle du fonctionnement :

Nous allons expliquer le processus de création d'une simulation logicielle étape par étape, en illustrant chaque étape avec des captures d'écran.

Première interface :

Cela nécessite l'entrée des valeurs provenant du rapport d'analyse de l'eau, y compris les concentrations en ions, le pH, la température, la conductivité électrique et le type d'eau, comme illustré dans la figure V.2.

Projet: MELAB MELANGE Calculé par: b Yamina Température: 25.0 °C Type d'eau: Eau saumâtre de forage faible colm Date: 28/08/2024

pH: 7.52 CO3: 0.427 mg/l CO2: 4.879 mg/l NH3: 0.00 mg/l E Conductivité: 4496 µs/cm

Cations		Anions	
	mg/l	mg/l	mg/l CaCO3
Ca	227.27	HC03	122.57
Mg	117.17		100.47
Na	425.00	SO4	716.73
K	26.01		746.59
NH4	0.00	Cl	803.79
Ba	0.000		1133.70
Sr	0.000	F	0.00
			0.00
		NO3	22.94
			18.50
		PO4	0.00
			0.00
		SiO2	4.55
		B	0.00
Total, meq/l	40.11	Total, meq/l	40.00

Figure V.2. L'interface de l'étape d'analyse par IMS-Design.

Chapitre V : de déminéralisation IFRI

Vérification de dimensionnement de la station

La condition requise à cette étape est l'équilibre ionique entre les anions et les cations, avec une tolérance de variation inférieure à 10% entre les deux.

- La deuxième partie de l'écran fournit les valeurs calculées par le logiciel, notamment le TDS et la pression osmotique, comme illustré dans la figure V.3.

Saturations					
TDS calculé	2466	mg/l	CaSO4	19.9	%
Pression osmotique	1.4	bar	BaSO4	0.0	%
Ca3(PO4)2 SI	0.00		SrSO4	0.0	%
CCPP	10.78	mg/l	CaF2	0.0	%
SI Langelier	0.2		silice	3.5	%

Figure V.3. La 2-ème partie de l'étape d'analyse par IMS-Design.

En comparant les valeurs de TDS calculées manuellement et par le logiciel IMS Design, on constate qu'elles sont identiques.

Deuxième interface :

Nécessite la saisie de paramètres, y compris le débit de perméat, le taux de conversion, l'âge des membranes, le choix de la membrane, le nombre d'étages et le nombre de tubes nécessaires pour le système comme illustré dans la figure (V.4).

Projet: MELAB MELANGE		Calculé par: b Yamina		Température: 25,0 °C		Type d'eau: Eau saumâtre de forage faible colmDate: 14/09/2024	
Trains				Pass1		Pass1	
pH alimentation	7.52	Produit chimique	None			Système	
Taux de conversion perméat %	74.87	Concentration de la solution, %	100			Débit de production total de l'usine m3/d 25900.50	
flux / train perméat, m3/d	8633.5	taux de dosage de produits chimiques mg/l	0.000			Nombre de trains 3	
Flux moyen lmh	26.4	Âge membranes années	3.0				
Débit alimentation, m3/d	11531.3	Perte de flux %, par an	5				
Débit rejet m3/d	2897.8	Coefficient de colmatage	0.857				
		% d'augmentation par an du passage en sels	7.0				
		Débit de mélange m3/d	0.0				
Spécifications du système							
	l'étage 1		l'étage 2				
Type d'élément	ESPA2-LD		ESPA2-LD				Etages
Éléments / Tube	6		6				Pass1
Nombre de tubes	12		6				2
							Recalc. Config

Figure V.3. L'interface de l'étape de dimensionnement.

Cette phase nous a fourni le débit d'alimentation, le débit de rejet et le débit de production de la station. En comparant ces résultats avec ceux obtenus par calcul manuel, nous constatons qu'ils sont identiques.

V.4. Les résultats de calcul de simulation :

Les résultats de la simulation fournissent toutes les informations nécessaires pour le dimensionnement de la station, y compris les débits, les pressions et la qualité de l'eau.

La figure V.4 présente en détail les conditions de cette simulation.

Mélange perméat			
Nom du projet	MELAB MELANGE		page : 1/3
Calculé par	b Yamina	flux / train perméat	8633.5 m3/d
Débit Pompe HP	480.42 m3/h	le flux total du produit	30546.60 m3/d
Pression alimentation	10.5 bar	Number of trains	3
Température alimentation	25.0 °C(77.0°F)	écoulement de l'eau brute / train	13080.0 m3/d
pH eau alimentation	7.52	Taux de conversion perméat	74.87 %
Dosage produit chimique, mg/l, -	None	Débit de mélange	10182.2 m3/d
Energie spécifique	0.49 kwh/m3	Age élément	3.0 années
NDP pass	7.1 bar	Déclin du flux %, par an	5.0
Flux moyen	26.4 l/mh	Coefficient de colmatage	0.86
		Perte de flux par an, %	7.0 %
		Perte de charge canalisation inter-étage	0.207 bar
		Type	Eau saumâtre de forage faible colmatage
		alimentation	

Figure V.4. Les conditions de simulation.

Les résultats obtenus à chaque étage sont présentés dans le tableau V.5, qui inclut les débits, les pressions et les concentrations de solutés.

Tableau V.5. Les résultats des calculs effectués à chaque étage.

Pass-Étage	Débit perm (m ³ /h)	Débit conc (m ³ /h)	Pression conc (bar)	Pression Alim (bar)	TDS (mg/l)	Elément Type	Quantité	PV*Elément
1-1	268.2	18.25	9.5	10.5	7.6	ESPA2-LD	72	12*6
1-2	91.5	20.12	8.5	9.5	47.3	ESPA2-LD	36	6*6

Ce tableau fournit les valeurs clés de dimensionnement pour chaque étage, permettant d'optimiser la conception du système d'osmose inverse en fonction des objectifs de traitement.

La figure (V.6) illustre la quantité d'anti-scalant requise pour prévenir la précipitation des sels à la surface de la membrane.

Projet: MELAB MELANGE Calculé par: b Yamina Température: 25.0 °C

Système Pass1

Débit alimentation, m3/d	11511.4
Débit perméat, m3/d	8633.5
Débit total produit, m3/d	10202.2

Résumé des coûts des produits chimiques

	Perméat Pass1	Total Produit
USD/m3	0.000	0.000
USD/kgal	0.000	0.000
USD/Mega litres	0.000	0.000
USD/Mega usgal	0.000	0.000
USD/Mega m3	0.000	0.000
USD/Acre.ft	0.000	0.000

Dosage SMBS alimentation

Solution concentrat. %	10.0
Densité spécifique	1.10
coût de la solution USD/ l de 10% sol.	0.0
Dose, mg/l base de 100%	3.0
Consommation kg/h	14.4

Dosage séquestrant alimentation

Solution concentrat. %	40.0
Densité spécifique	1.00
coût de la solution USD/ l de 10% sol.	0.0
Dose, mg/l base de 100%	0.0
Consommation kg/h	0.0

Figure V.6. L'interface d'exigences chimiques.

L'interface de post-traitement nous fournit la qualité de l'eau après le mélange de l'eau osmosée avec l'eau filtrée. La figure (V.7) présente la dose d'hypochlorite de sodium (NaOCl) requise pour la désinfection de mélange issue du procédé de reminéralisation

Cations			Anions			Post-traitement - Consommation chimique.	
	mg/l	mg/l CaCO3		mg/l	mg/l CaCO3		NaOCl
Ca	56.86	142.15	HCO3	31.83	26.09	Solution concentrat. %	10.0
Mg	29.31	120.14	SO4	180.09	187.60	Densité spécifique	1.05
Na	111.02	241.35	Cl	206.87	291.78	coût de la solution USD/l	0.0
K	6.75	8.63	F	0.00	0.00	Dose, mg/l 100 %	4.0
NH4	0.00	0.00	NO3	6.57	5.29	Consommation kg/h	57.5
Ba	0.000	0.00	PO4	0.00	0.00	Taux de dosage des produits chimiques, mg/l (concentration 100%)	
Sr	0.000	0.00	SiO2	1.16		NaOH	0.0
			B	0.00		NaHCO3	0.0
						Na2CO3	0.0
						Ca(OH)2	0.0
						H2SO4	0.0
						HCl	0.0
						CO2	0.0
						NaOCl	4.0
Total, meq/l		10.25	total, meq/l		10.22	Degasser Outlet CO2, mg/l	
							5.0

Figure V.7. L'interface de post traitement.

Le schéma (figure (V.8)) présente la configuration de système de traitement avec reminéralisation, depuis son entrée jusqu'à sa sortie de la station.

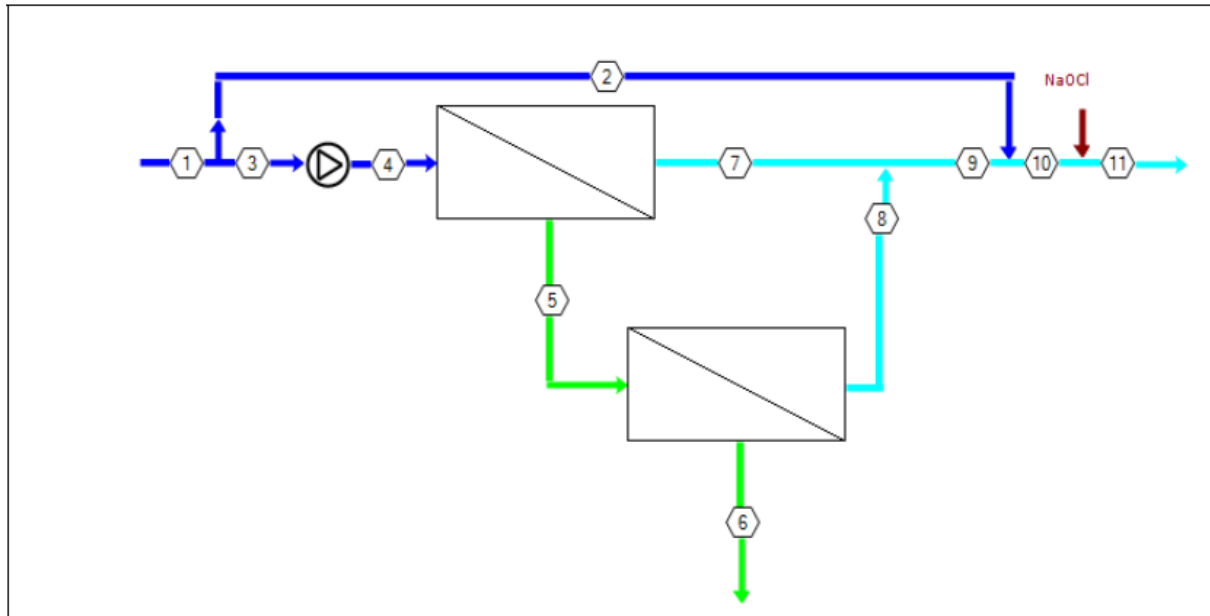


Figure V.8. Configuration de système de traitement avec reminéralisation.

Nous suivons les différents passages de l'eau on a :

1. Entrée d'eau brute provenant des six forages.
2. Eau filtrée destinée au réservoir de mélange.
3. Débit entrant dans la pompe haute pression.
4. Débit d'eau entrant dans le système d'osmose inverse.
5. Débit de rejet du premier étage.
6. Débit de rejet du deuxième étage.
7. Débit produit du premier étage.
8. Débit produit du deuxième étage.
9. Débit de perméat total.
10. Débit de mélange composé de l'eau perméat et de l'eau filtrée
11. Débit après la désinfection par NaOCl.

Chaque étape du processus de traitement de l'eau est caractérisée par les débits, les pressions, les concentrations de solutés (TDS) et la conductivité électrique, comme l'illustre le tableau (V.6).

Tableau V.6. Les résultats des paramètres de traitement de l'eau par Osmose Inverse.

Stream NO	Débit (m ³ /h)	Pression (bar)	TDS (mg/l)	CE (µs/cm)
1	545	0	2466	4496
2	64.5	0	2466	4496
3	480	0	2466	4496
4	480	10.5	2466	4496
5	203	9.48	7163	9443
6	120.74	8.46	9792	12909
7	315	0	7.6	11.9
8	44.8	0	47.3	73.9
9	360	0	12.5	19.5
10	425	0	422	881
11	425	0	425	887

Le tableau (V.7) présente la qualité de l'eau à différentes étapes du traitement, incluant l'eau brute, l'eau d'alimentation, l'eau de perméat, ainsi que les eaux concentrées du premier et du deuxième étage, et le produit mélangé.

Tableau V.7. Les résultats de la qualité de l'eau à différentes étapes du processus de traitement.

Ion (mg/l)	Eau brute	Eau alimentation	imprégner l'eau	Concentrat-1	Concentrat-2	Blended Product
Dureté, CaCO3	1048.38	1048.38	0.787	2478.6	4178.4	160.12
Ca	227.27	227.27	0.171	537.3	905.8	34.71
Mg	117.17	117.17	0.088	277.0	467.0	17.90
Na	425.00	425.00	0.563	992.9	1645.4	78.69
K	26.01	26.01	1.149	60.7	100.3	4.93
NH4	0.00	0.00	0.000	0.0	0.0	0.00
Ba	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00
Sr	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.00
H	0.00	0.00	0.001	0.0	0.0	0.00
CO3	0.43	0.43	0.000	2.9	9.1	0.07
HCO3	122.57	122.57	5.132	286.1	471.6	23.05
SO4	716.73	716.73	2.238	1691.8	2845.5	112.61
Cl	803.79	803.79	0.858	1887.0	3149.1	138.25
F	0.00	0.00	0.000	0.0	0.0	0.00
NO3	22.94	22.94	0.771	51.4	80.2	6.69
PO4	0.00	0.00	0.000	0.0	0.0	0.00
OH	0.01	0.01	0.000	0.0	0.0	0.00
SiO2	4.55	4.55	0.102	10.7	17.8	0.78
B	0.00	0.00	0.000	0.0	0.0	0.00
CO2	4.88	4.88	1.88	4.88	4.88	4.88
NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	2466	2466	12.5	7163	9792	417.66
pH	7.52	7.52	6.22	7.86	8.05	6.84

D'après les résultats de tableau, nous constatons également que la qualité de l'eau produite respecte les normes de potabilité Algérienne, ce qui la rend appropriée pour la consommation humaine.

Dans le cadre de cette étude, la partie qui retient particulièrement notre attention est le rejet. Ce rejet présente une salinité de 9792 mg/l pour un débit de 120.74 m³/h.

V.5. Pompe haute pression :

L'alimentation des modules d'osmose inverse par des pompes haute pression est essentielle afin de garantir la pression requise pour la filtration, ce qui permet une séparation efficace des sels et des contaminants dissous. Elles assurent un débit constant d'eau et améliorent la récupération d'eau pure, ce qui garantit une production d'eau déminéralisée de grande qualité.

Tableau V.8. Les caractéristiques des pompes haute pression.

Type de pompe	Nombre des pompes	Débit des pompes	HMT	Puissance
---------------	-------------------	------------------	-----	-----------

Haute-pression	3+1	480.42 m ³ /h	234 m	0.49 Kw/m ³
----------------	-----	--------------------------	-------	------------------------

Dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé trois pompes haute pression, ainsi qu'une pompe supplémentaire en tant que secours.

En comparant entre les résultats du logiciel et ceux calculés manuellement on observe des valeurs globalement similaires. Cependant, il existe de légères différences dans les décimales pour certaines valeurs.

Les débits et les TDS sont presque identiques, avec des variations mineures qui peuvent être attribuées à des arrondis. Prenons le cas du débit de perméat :

Débit de perméat calculé manuellement : 314,78 m³/h.

Débit de perméat selon le logiciel : 315 m³/h.

TDS de perméat calculé manuellement : 7.6 mg/l.

TDS de logiciel : 7.64 mg/l.

Cette comparaison démontre que les méthodes de calcul utilisées, qu'elles soient manuelles ou assistées par logiciel, produisent des résultats cohérents et fiables.

Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons procédé au dimensionnement manuel de la station de déminéralisation d'eau par osmose inverse à IFRI. Ensuite, une simulation a été réalisée en utilisant le logiciel d'analyse des données de traitement par membrane (IMS-Design). Selon ces deux méthodes, les résultats montrent que le débit d'alimentation actuel de 13 080 m³/j ne permet pas d'exploiter la station à pleine capacité. On peut expliquer cela par les quantités de rejets évacués dans l'environnement naturel, ce qui aggrave la situation.

Chapitre VI

L'irrigation par les eaux salées

Chapitre VI : L'irrigation par les eaux salées

Introduction :

Confrontée à une demande croissante en eau douce pour divers usages (domestique, industriels, agricole), l'agriculture se tourne vers l'utilisation de l'eau salée comme solution d'avenir. L'eau salée, bien que non potable peut être utilisée pour l'irrigation. Cela permet d'augmenter la surface agricole cultivable, de réduire la pression sur les ressources en eau douce et d'améliorer la résilience agricole face au stress hydrique. Cependant, pour une utilisation optimale de l'eau salée, plusieurs conditions doivent être réunies :

- Choix de cultures tolérantes à la salinité. Il existe de nombreuses espèces et variétés de plantes qui peuvent s'adapter à des conditions salines.
- Mise en place de techniques de gestion adéquates. Cela inclut l'utilisation de systèmes d'irrigation efficaces, le drainage adéquat du sol et des pratiques de fertilisation adaptées.
- Adaptation des pratiques culturales aux conditions spécifiques. Les dates de semis et de récolte, la densité de plantation et d'autres pratiques doivent être ajustées en fonction de la salinité du sol et de l'eau.

L'utilisation de l'eau salée en agriculture n'est pas une solution miracle, mais elle représente une alternative prometteuse face aux défis de la raréfaction de l'eau douce. Des recherches et des innovations continues permettront d'optimiser son utilisation et de maximiser ses avantages pour une agriculture durable.

VI.1. Qualité des eaux :

Deux paramètres sont généralement utilisés pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation : la salinité et l'alcalinité.

VI.1.1. La salinité :

Pour s'assurer que la salinité des eaux des rejets respecte les critères de réutilisation en irrigation, des tests ont été effectués sur la température, la conductivité électrique (CE), le pH et la turbidité de ces eaux. Le tableau (VI.1) résume les résultats d'analyses en laboratoire à ce sujet.

Tableau VI.1. Les résultats d'analyses des eaux de rejets.

Jours	pH	T (°C)	C.E (µs/cm)	Turbidité (NTU)
1	8.76	25.8	9230	0.4
2	7.92	25.8	9850	0.790
3	7.97	23.2	6060	1.80
4	7.94	23.2	5660	1.5
5	8.08	22.3	9310	1.120
6	8.04	24.2	8580	1.72
7	8.00	23.1	9100	1.21
8	8.05	24.7	8780	0.847
9	8.08	23	8520	0.960
10	8.11	23.4	7250	1.6
11	8.11	23.1	8060	1.5
12	8.17	23.4	8250	1.85
13	8.13	24	8930	2.77
14	8.10	23.3	9660	1.29
15	8.15	24.5	9550	0.922
16	7.96	26.7	11530	0.674
17	7.83	25.1	13020	0.847
18	7.95	24.6	11060	0.676
19	7.96	25	10970	0.597

Afin de déterminer la salinité des eaux de rejets, des analyses ont été effectuées sur la conductivité électrique (CE) et la température sur une période de 19 jours.

VI.1.1.1. La correction de CE en fonction de la température :

La conductivité d'un liquide dépend largement de la température. Cette dernière sera relevée très exactement au cours de la mesure. En dehors de 25 °C, effectuer une correction de la conductivité électrique mesurée à θ °C d'après la formule [25] :

$$C_{25\text{ °C}} = C_T \times f \dots \dots \dots \text{(VI.1)}$$

CT = Conductivité obtenue à la température lue sur le thermomètre.

F : Facteur de correction de la température, donné par (annexe 04).

Étant donné que la température a un impact sur la conductivité électrique (CE), il est nécessaire d'appliquer des corrections à la valeur de CE mesurée en fonction de la température. Pour ce faire, on utilise le tableau de correction (annexe 04) qui permet de ramener la CE mesurée à une température de référence, généralement 25°C. Cela permet d'obtenir une valeur de CE corrigée, représentative de la salinité réelle de l'eau, indépendamment des variations de température.

Tableau.VI.2. Le calcul de conductivité corrigée à 25°C, à 20°C et la salinité à 20°C.

La température (°C)	Le facteur de correction	La conductivité corrigée à 25 °C (µs/cm)	La conductivité à 20 °C (µs/cm)	La salinité à 20°C (mg/l)
25.8	0.983	9063.07	8121.03	6166.97
25.8	0.983	9682.55	8676.12	6581.22
23.2	1.039	6296.34	5641.88	4279.63
23.2	1.039	5880.74	5269.48	3997.13
22.3	1.060	9868.6	8842.83	6707.68
24.2	1.017	8725.86	7818.87	5930.96
23.1	1.041	9473.1	8488.44	6438.86
24.7	1.006	8832.68	7914.58	6003.56
23	1.044	8894.84	7914.77	6045.85
23.4	1.035	7503.75	6723.79	5100.29
23.1	1.041	8390.46	7518.33	5702.99
23.4	1.035	8538.75	7651.21	5803.78
24	1.021	9117.53	8169.83	6197.18
24.5	1.011	9655.05	8651.48	6562.53
26.7	0.965	11126.45	9969.94	7562.64
25.1	0.998	12993.96	11643.33	9901.86
24.6	1.008	11148.48	9989.68	7577.61
25	1	10970	9829.75	7456.30

Une fois les conductivités électriques (CE) sont corrigées, la moyenne de ces valeurs de CE corrigées à 20°C est calculée sur les 19 jours de suivi, donne alors une estimation fiable de la salinité des rejets.

- CE (moy) à 20°C = 7416.88 µs/cm.
- CE (max) à 20°C = 11643.33 µs/cm.

- CE (min) à 20°C = 5269.48 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Pour convertir les mesures de conductivité électrique (CE) à 20°C en concentration saline (mg/l) en utilisant (annexe 05), on obtient :

- Salinité (moy) à 20°C = 5626.03 mg/l.
- Salinité (max) à 20°C = 9901.86 mg/l.
- Salinité (min) à 20°C = 3997.13 mg/l.

Ces valeurs représentent la salinité des eaux de rejets, indépendamment des variations de température.

Ces changements observés dans la conductivité et la salinité des rejets sont attribuables à la variation de la qualité des eaux d'entrée, notamment les eaux des forages, qui influent directement sur les caractéristiques physico-chimiques des rejets obtenus.

En comparant les résultats des analyses des 19 jours avec ceux fournis par le logiciel, nous constatons une différence. Cela s'explique par le fait que la station n'a pas été fonctionné avec les six forages et à pleine capacité, ce qui entraîne des conditions différentes.

VI.2. L'alcalinité :

L'eau utilisée pour l'irrigation joue un rôle crucial dans le développement des cultures. Sa qualité peut avoir un impact significatif sur le sol et les plantes. En effet, toutes les sources d'eau naturelles renferment des sels minéraux dissous, et c'est la concentration ainsi que la proportion de ces sels qui influent sur les possibilités d'utilisation de l'eau pour l'irrigation. Les principaux constituants dissous dans l'eau d'irrigation sont :

- Les cations : Sodium (Na^+), Calcium (Ca^{2+}), Magnésium (Mg^{2+}).
- Et les anions : Chlorure (Cl^-), Sulfate (SO_4^{2-}), Bicarbonate (HCO_3^-).

On trouve également d'autres éléments mineurs en quantité moindre.

La qualité de l'eau d'irrigation est donc fonction de deux facteurs principaux :

- La nature des sels dissous, exprimée par le rapport d'absorption du sodium (**SAR**).
- La quantité totale de sels dissous, mesurée par la conductivité électrique (**CE**).

VI.2.1. Le SAR (Sodium Absorption Ratio) :

Le SAR (Sodium Absorption Ratio) est un paramètre important à prendre en compte, car si l'eau est très riche en sodium, celui-ci peut se fixer sur les sites d'échange cationique du complexe du sol, remplaçant ainsi les cations calcium (Ca²⁺) et magnésium (Mg²⁺), qui sont essentiels pour la structure du sol et la croissance des plantes [9].

Pour évaluer le risque lié au sodium, il faut donc considérer à la fois la concentration en ions sodium (Na⁺) et celle en ions calcium (Ca²⁺) et magnésium (Mg²⁺) [9].

$$SAR = [Na^+ / \sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / 2}] \dots\dots\dots(VI.2)$$

Où : [Na⁺], [Ca²⁺] et [Mg²⁺] sont des concentrations exprimées en méq.g/l.

Après avoir effectué les analyses sur les eaux de rejet, voici les résultats présentés sous forme de tableau (VI.3) :

Tableau VI.3. Les concentrations des paramètres physico-chimique des eaux de rejets.

Paramètres	L'unité	La valeur
pH		8.05
Température	°C	20
CE à 20°C	µS/cm	11567.20
Calcium (Ca ²⁺)	mg/l	905.8
Magnésium (Mg ²⁺)	mg/l	467
Sodium (Na ⁺)	mg/l	1645.4
Potassium (K ⁺)	mg/l	100.3
Chlorure (Cl ⁻)	mg/l	3149.1
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	mg/l	2845.5
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/l	80.2
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	mg/l	471.6
Nitrites (NO ₂ ⁻)	mg/l	/
Fer (Fe ²⁺)	mg/l	00

D'après les valeurs de Ca, Mg et Na obtenues dans le tableau (VII.3), nous avons calculé le SAR, qui s'élève à **11.42**.

Le taux de sodium adsorbable (SAR) de l'eau d'irrigation permet de classer les eaux en quatre (4) catégories (Classification USSSL (United States Salinity Laboratory)), illustré dans le tableau (VI.4) suivant [9] :

Tableau VI.4. La classification des eaux en fonction du SAR.

La classe	Coefficient d'adsorption du sodium	Danger d'alcalinisation
S1	$SAR \leq 10$	Risque faible
S2	$10 < SAR \leq 18$	Risque moyen
S3	$18 < SAR \leq 26$	Risque élevée
S4	$SAR > 26$	Risque très élevée

Tel que :

S1 : peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans risque d'alcalinisation.

S2 : peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture fine, à moins qu'il n'y ait du gypse dans le sol.

S3 : peuvent provoquer des difficultés dans la plupart des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques.

S4 : généralement impropres à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité très faible et si on ajoute du gypse ou autre source de sa soluble pour améliorer le bilan ionique.

VI.2.2. La conductivité électrique :

Selon la salinité de l'eau, exprimée par sa conductivité électrique CE à 25 °C exprimée en ($\mu\text{S}/\text{cm}$), on distingue cinq 5 classes ; (Classification USSSL (United States Salinity Laboratory)) [11], illustré dans le tableau (VI.5) :

Tableau VI.5. Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique.

Classe	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Qualité des eaux
C1	$CE \leq 250$	L'eau à faible salinité
C2	$250 < CE \leq 750$	L'eau à salinité moyenne
C3	$750 < CE \leq 2250$	L'eau à forte salinité
C4	$CE > 2250$	L'eau à très forte salinité

Tel que :

C1 : convient pour toutes les cultures.

C2 : peu de danger si elle est utilisée avec un léger lessivage pour les plantes modérément tolérantes aux sels.

C3 : ne convient qu'à des sols bien drainés et des plantes tolérantes.

C4 : l'eau à très forte salinité et inutilisable pour les conditions normales, elle n'est autorisée que si on pratique un lessivage intense et sur des cultures très tolérante.

Afin de classer les eaux d'irrigation, le diagramme de Richard (1954) est utilisé. Grâce à ce schéma, il est possible d'évaluer la qualité des eaux d'irrigation, La figure (VI.1) illustre cela.

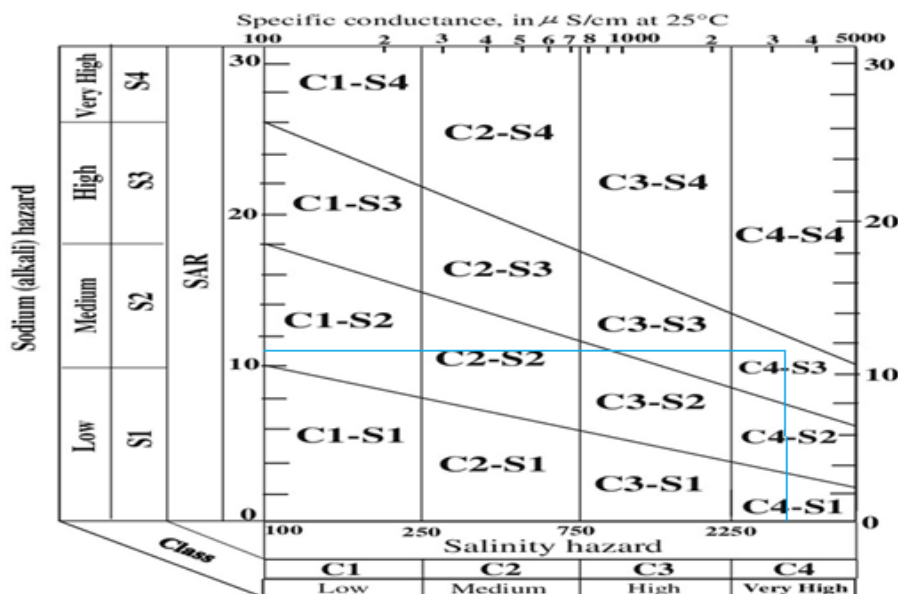


Figure VI.1. Diagramme de classification des eaux d'irrigation [9].

Ce diagramme permet de définir les classes d'eau en fonction du taux d'absorption du sodium (SAR), en relation avec la conductivité électrique.

Selon les valeurs de la conductivité électrique et du SAR, les eaux de rejets de la station IFRI appartiennent à la classe C4S3. La classe S3 indique que la quantité de sodium peut provoquer des difficultés dans la plupart des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques. La classe C4 indique que la salinité est très forte. Cette eau n'est utilisable que si l'on pratique un lessivage intense et pour des cultures très tolérantes.

VI.3. Ressources en sol :

L'étude pédologique est un outil essentiel pour évaluer la fertilité des sols et identifier les stratégies pour les exploiter de manière efficace, ce qui contribue à augmenter la production agricole. Elle permet également de repérer les défis liés au sol dans une région et de proposer des solutions appropriées pour améliorer la qualité et la productivité des sols.

VI.3.1. Les sols de Sahara :

- **Facteurs pédogénétiques dominants :**

- Climat très aride : forte évaporation entraînant une accumulation de sels dans certaines zones, surtout après irrigation.
- Topographie plane : drainage naturel difficile des eaux excédentaires.
- Eau d'irrigation relativement chargée en sels.

- **Caractéristiques des sols de la région d'Ouargla :**

Les sols de la région d'Ouargla ont les caractéristiques principales suivantes :

- La texture varie de sable à limono-sable.
- Salinité : niveau de salinité plutôt élevé.
- Taux d'humidité : Très faible.
- La matière organique et l'azote : il y a une faible quantité de matière organique et d'azote total.
- Le gypse : présente des quantités variables de gypse.
- Végétation : végétation peu épaisse et parfois complètement absente.

Les sols de Ouargla se distinguent par leur texture sableuse, leur forte salinité, leur faible taux d'humidité et de matière organique, leur présence variable de gypse et leur rareté en matière végétale.

VI.4. Classification des sols :

La classification des sols salés-sodiques a été suggérée par Servant en fonction de l'intensité des processus impliqués et de leurs caractéristiques physico-chimiques. Il a identifié plusieurs types de sols salés, comme indiqué dans le tableau (VI.6).

Tableau VI.6. Classification des sols sal sodiques selon Servant.

Classes	Désignation	C.E $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C	Σ des anions en méq.g/l
0	Non salé	< 2500	<25
1	Faiblement salé	2500-50000	25-50
2	Moyennement salé	5000-10000	50-105
3	Salé	10000-15000	105-165
4	Fortement salé	15000-20000	165-225
5	Très fortement salé	20000-275000	225-315
6	Excessivement salé	275000-40000	315-620
7	Hypersalé	>40000	>620

La classification de Servant (1975) est basée sur deux principaux critères :

- Conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée.
- Somme des anions.

VI.5. Les résultats d'analyse physico-chimique du sol :

Les résultats obtenus sont présentés dans les deux tableaux suivants :

Tableau VI.7. Les résultats d'analyse physique des sols.

Sol	N° du point	Perméabilité K en (cm/h)	La masse volumique en (Kg/l)	Le coefficient d'uniformité
Sable de dune	Ain Beida	7.16 – 81.13	1.31 – 1.60	2.22 –2.40

Source (Touil,2003)

Tableau VI.8. Analyse chimique des sols.

Sol	N° du point	pH	CE (μS/cm)	Insolubles %	Les sulfates %	Les carbonates %	Les chlorures %
Sable de dune	Ain Beida	8.53	520	87.94	6.82	0.87	1.11

Source (Touil,2003).

Les analyses de sol effectuées ont révélé les caractéristiques suivantes :

- Texture : Les sols ont une texture sableuse, similaire à celle des sables de dune. Cette texture légère permet une bonne perméabilité.
- pH : Les sols sont légèrement alcalins, ce qui est courant dans les zones arides et semi-arides.
- Salinité : La conductivité électrique de de sol est de 520 μS/cm donc faible salinité.

Conclusion :

L'analyse des eaux d'irrigation et l'étude pédologique de la zone ont été effectuées dans le but de classer les eaux et les sols selon leurs caractéristiques, tout en identifiant les contraintes à leur valorisation agricole. Les résultats des analyses indiquent que l'irrigation avec ces eaux de rejet est possible, mais il est essentiel de définir les aménagements nécessaires avant toute mise en culture afin de créer des conditions favorables au développement des plantes.

Chapitre VII

Calcul des besoins hydraulique

Chapitre VII : Calcul des besoins hydraulique.

Introduction :

Dans cette situation, il est essentiel d'établir une évaluation précise des besoins en eau des cultures en se référant à des paramètres préalablement établis. Cette section vise principalement à compenser le manque d'eau dans la zone racinaire du sol, à évaluer les besoins en eau et à établir le débit fictif continu, qui correspond au débit nécessaire pour élaborer un système d'irrigation adapté aux cultures choisies.

VII.1. Les critères de choix de la culture :

Le choix des cultures dépend de plusieurs facteurs clés [9] :

- Qualité d'eau : si les ressources en eau sont salées, il est essentiel de choisir des cultures tolérantes à la salinité pour assurer leur bon développement.
- Conditions climatiques : Il est essentiel que les cultures soient adaptées au climat de la région afin de favoriser leur développement optimal.
- Type de sol : Plusieurs catégories de sols sont plus adaptées à certaines cultures. Les sols riches en nutriments et qui résistent bien à l'eau sont parfaits pour les cultures qui nécessitent une grande quantité d'éléments nutritifs.
- Ressources en eaux : Les ressources en eau jouent un rôle crucial dans la sélection des cultures, certaines ayant besoin d'une quantité importante d'eau pour leur développement.
- Demande du marché : Il est avisé de choisir des cultures en fonction de la demande locale ou régionale afin de répondre à la demande du marché. Une culture très appréciée et très recherchée peut constituer une occasion commerciale captivante. Il est essentiel de se rapprocher des cultures lucratives et appréciées dans la région.

En considérant ces divers éléments, il est envisageable de sélectionner les cultures les plus adaptées aux conditions locales et les plus prometteuses.

VII.1.1. La culture choisie :

Nous avons choisi le palmier en raison de sa résistance à la salinité, qui peut atteindre 7 g/l sans affecter sa productivité. Cependant, lorsque la salinité dépasse 7 g/l et atteint jusqu'à 11 g/l, la réduction du rendement peut varier entre 20 % et 25 %. Cette caractéristique rend le

dattier apte à être cultivé dans des sols salins ou dans des zones où l'eau d'irrigation est salée, ce qui correspond à la situation de notre région. Cette culture, est un élément essentiel de la région, offre une végétation caractéristique et stratégique, avec une valeur historique et économique significative. Bien adaptée aux environnements secs grâce à sa faible exigence en pluviométrie, le palmier tolère également les températures élevées, ce qui en fait une culture idéale pour les régions arides comme Ouargla.

VII.2. La présentation de périmètre à irriguer :

Le périmètre d'étude dans la ville d'Ouargla comprend une extension de la palmeraie de la zone d'étude (Beni Sessine) située dans la partie est de la ville d'Ouargla à proximité d'un rejet de déminéralisation.

Notre choix est basé sur les points suivants :

- La proximité au point de rejet.
- L'extension de la palmeraie.

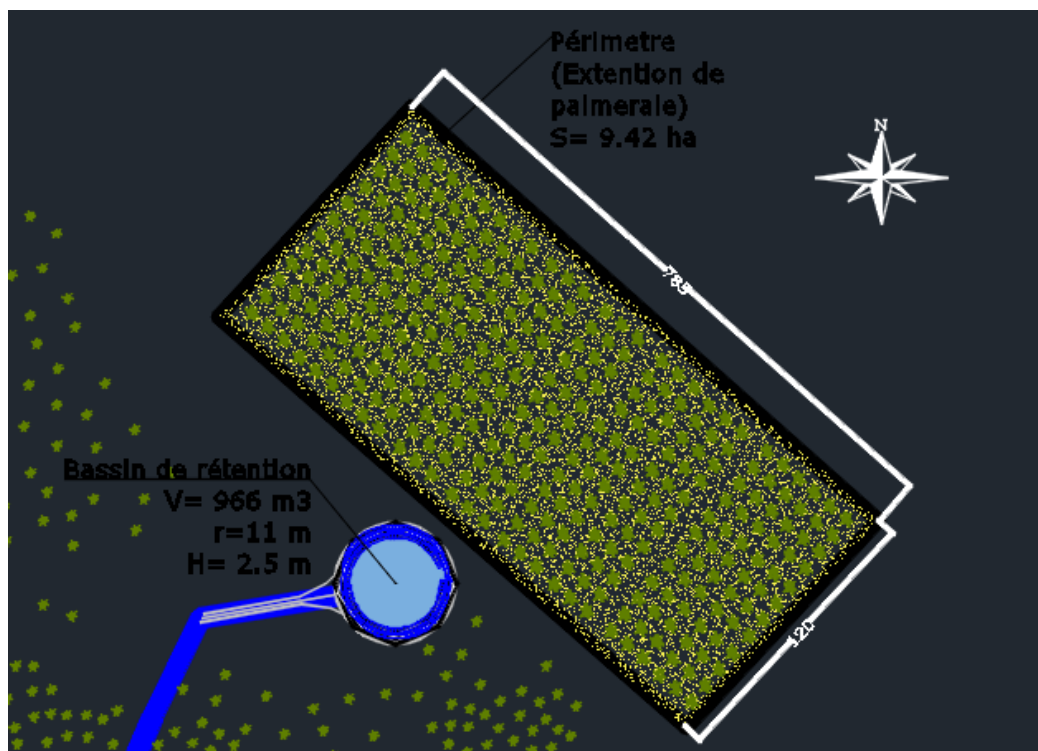


Figure VII.1. Schéma du périmètre à irriguer (Source : Autocad 2016, Ech : 1/1000).

La figure illustre la situation du périmètre à irriguer et le bassin de rétention des eaux salées.

Le bassin de stockage est conçu pour stocker les eaux de rejet de la station IFRI, afin de les diriger vers le périmètre d'extension de la palmeraie pendant les périodes d'irrigation.

VII.3. Calcul des besoins en eau de la palmeraie :

Pour garantir une irrigation efficace et durable des cultures, il est impératif de mener une évaluation précise des besoins en eau. Ce processus prend en compte divers éléments tels que la surface des terres cultivées, le type de culture, la nature du sol, les précipitations et les méthodes d'irrigation employées. Le calcul des quantités d'eau nécessaires pour l'irrigation se fait en réalisant, pour chaque stade de croissance végétative, le bilan hydrique suivant [9] :

$$B_i = ETM - (P_{eff} + R_{Si-1}) \dots\dots\dots (VII.1)$$

B_i : Besoin en eau d'irrigation.

ETM : Evapotranspiration maximale.

P_{eff} : Pluie efficace ou fraction de la pluie qui atteint de la zone racinaire.

R_{Si-1} : La réserve en eau du sol restante (du mois $i-1$).

Dans le cas de périodes humides et lorsqu'il pleut fréquemment, il se peut que le sol contribue à la réserve en eau pour la plante de mois $i+1$. Cette réserve difficilement quantifiable est prise égale à :

$$K * RFU = R_{Si-1} \dots\dots\dots (VII.2)$$

Si : $ETM \gg P_{eff}$ $K=0$ $R_{Si-1} = 0$.

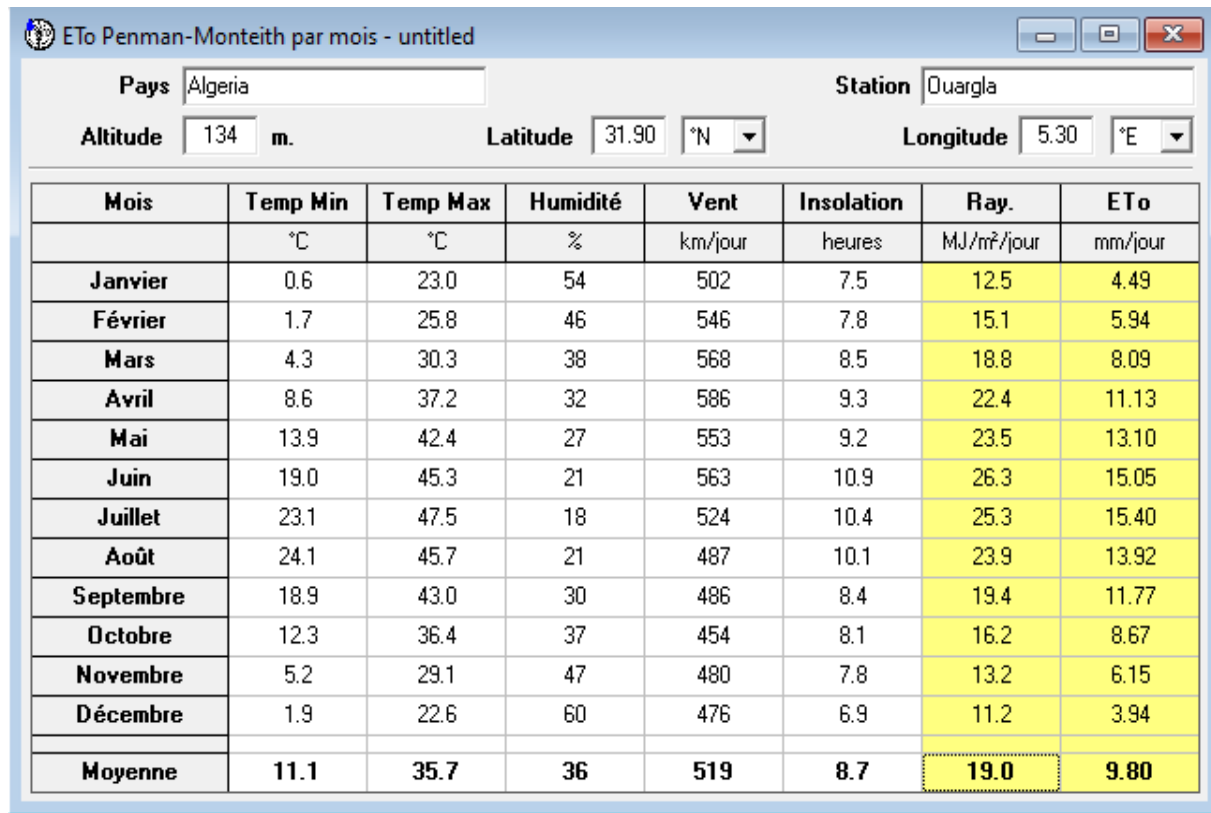
$P_{eff} \gg ETM$ $K=1$ $R_{Si-1} = RFU$.

Pour d'autre mois $K=1/2$ (Arboriculture) ou $K=1/3$ (céréaliculture et maraichère).

VII.3.1. Evapotranspiration de référence (ET_0) :

Pour utiliser le logiciel Cropwat 8.0, il est essentiel de disposer des données mensuelles de la station météo, comme détaillées dans le troisième chapitre. Nous utilisons l'équation de Penman-Monteith pour déterminer l'évapotranspiration de référence, méthode standard recommandée par la FAO. Cette équation prend en compte les principaux facteurs climatiques influençant l'évapotranspiration, tels que la température, l'humidité, le vent et le rayonnement solaire [9].

Tableau VII.1. Résultats de calcul de l'évapotranspiration de référence par logiciel de calcul (CROPWAT8.0).



Mois	Temp Min	Temp Max	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ETo
	°C	°C	%	km/jour	heures	MJ/m²/jour	mm/jour
Janvier	0.6	23.0	54	502	7.5	12.5	4.49
Février	1.7	25.8	46	546	7.8	15.1	5.94
Mars	4.3	30.3	38	568	8.5	18.8	8.09
Avril	8.6	37.2	32	586	9.3	22.4	11.13
Mai	13.9	42.4	27	553	9.2	23.5	13.10
Juin	19.0	45.3	21	563	10.9	26.3	15.05
Juillet	23.1	47.5	18	524	10.4	25.3	15.40
Août	24.1	45.7	21	487	10.1	23.9	13.92
Septembre	18.9	43.0	30	486	8.4	19.4	11.77
Octobre	12.3	36.4	37	454	8.1	16.2	8.67
Novembre	5.2	29.1	47	480	7.8	13.2	6.15
Décembre	1.9	22.6	60	476	6.9	11.2	3.94
Moyenne	11.1	35.7	36	519	8.7	19.0	9.80

La demande climatique en eau, connue sous le nom d'évapotranspiration de référence (ET_0), a été illustrée de manière graphique en fonction des mois de l'année (figure VIII.2). À partir du mois d'avril, on observe une hausse graduelle de l' ET_0 , jusqu'à atteindre un maximum en juillet avec une valeur de 15.40 mm par jour.

Cela implique que pendant la période estivale, les conditions météorologiques (température, vent, rayonnement) telles que l'évaporation et la transpiration potentielles sont maximisées dans la région d'Ouargla.

En automne, l' ET_0 diminue progressivement après juillet. Cette diminution est associée à la baisse des températures et du soleil, ainsi qu'à l'augmentation de l'humidité de l'air pendant cette période de l'année.

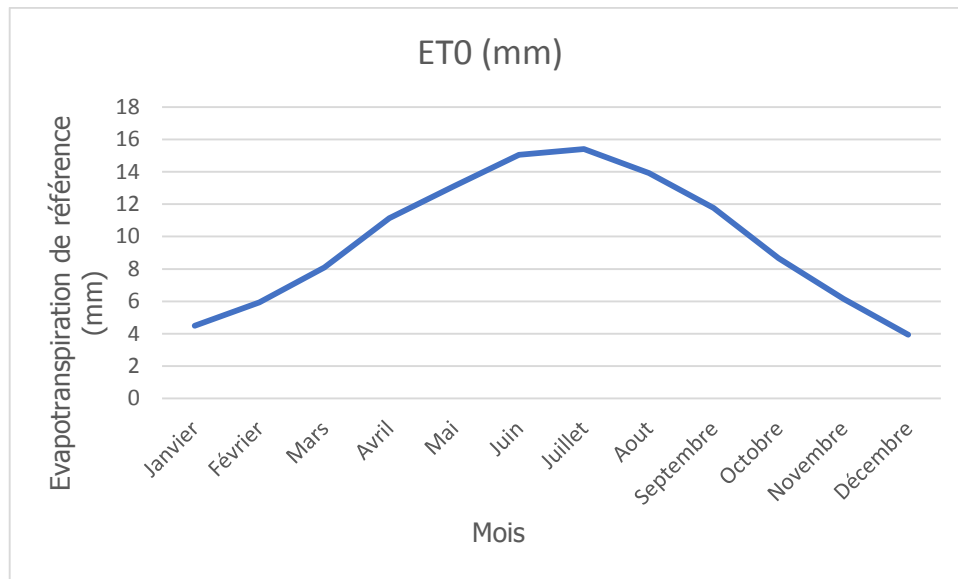


Figure VII.2. Evolution des évapotranspirations de référence en fonction des mois de l'année (Ouargla).

Cette évolution permet de déterminer les périodes de pointe où les besoins en eau sont les plus élevés, et d'adapter les doses et fréquences d'arrosage en conséquence.

VII.3.2. Pluie efficace :

Le tableau suivant illustre les valeurs des pluies efficaces fournies par le logiciel Cropwat.

Tableau VII.2. Les pluies efficaces obtenus par le logiciel (CROPWAT8).

Précipitations par mois - untitled

Station: Ouargla Méthode Précipitations eff.: Pourcentage fixé

	Pluie	Pluie eff.
	mm	mm
Janvier	10.7	8.6
Février	2.1	1.7
Mars	5.3	4.2
Avril	1.6	1.3
Mai	3.3	2.6
Juin	0.4	0.3
Juillet	0.2	0.2
Août	1.0	0.8
Septembre	5.5	4.4
Octobre	6.3	5.0
Novembre	6.5	5.2
Décembre	4.8	3.8
Total	47.7	38.2

Une pluie est dite efficace pour l'agriculture quand elle est supérieure à 5mm. On remarque que les pluies de notre zone d'étude sont presque toutes non efficaces puisqu'elles sont inférieures ou égales à 5 mm, sauf pour les deux (02) mois de Novembre et Janvier.

En raison de la faible quantité de pluies efficaces, elles sont souvent négligées dans le calcul des besoins en eau. Ainsi, les exigences d'eau (B_{net}) sont calculées en utilisant seulement ETM.

Donc, pour calculer les besoins en eau, la formule simplifiée est : $B_{net} = ETM$.

VII.3.3. L'évapotranspiration de culture (ET_c) :

Est la quantité d'eau évaporée et transpirée par une culture spécifique. Elle est directement liée à l'évapotranspiration de référence (ET_0) par une formule simple [9] :

$$ET_c = k_c \times ET_0 \dots \dots \dots \text{(VII.3)}$$

ET_c : Evapotranspiration de culture en (mm/j).

K_c : Le coefficient cultural, qui varie en fonction du stade de développement de la plante et des conditions climatiques.

ET_0 : Evapotranspiration de référence en (mm/j).

Cette évolution permet de déterminer les périodes de pointe où les besoins en eau sont les plus élevés.

VII.3.4. La réserve utilisable :

La réserve utile en eau du sol est la quantité d'eau que le sol peut retenir et rendre disponible aux plantes pour leur croissance. Elle est définie comme la différence entre la capacité maximale de rétention d'eau du sol et le point de flétrissement permanent [9].

$$RU = d_a \times Z \times ((H_{cc} - H_{pf}) / 100) \times 1000 \dots \dots \dots \text{(VII.4)}$$

- d_a : est la densité apparente du sol, qui est de 1.35g/cm^3 (annexe 6).

- Z : est la profondeur d'enracinement du palmier dattier, qui est de 1m.

- H_{cc} : est l'humidité du sol à la capacité au champ, qui t'égale à 8 % (annexe 6).

- H_{pf} : est l'humidité au point de flétrissement permanent, qui égale à 3 % (annexe 6)

En utilisant la formule ci- dessous en trouve :

$$RU = 67.5 \text{mm.}$$

Les racines du palmier dattier sont entre 1 à 1.5 et elles peuvent atteindre les 2.5m et plus, et on prend **1m** car le développement des racines se fait principalement en surface où l'eau est disponible et l'écartement entre les palmeraies est de **7m**.

VII.3.5. La dose d'irrigation nette (Dn) :

Une partie de la réserve utile est la dose d'irrigation nette (Dn) ou la réserve facilement utilisable (RFU), qui représente environ 1/3 ou 2/3 de la réserve utile. Elle désigne l'eau qui peut être facilement utilisée par les cultures sans subir de stress hydrique important.

Elle est déterminée par la relation suivante [9] :

$$RFU = Dn = Y * RU \dots \dots \dots \text{(VII.5)}$$

$$Dn = RFU = Y * d_a * Z * (H_{cc} - H_{pf}) * 10$$

Où :

- Dn : est la dose d'irrigation nette, c'est-à-dire la quantité d'eau à apporter à chaque irrigation (la réserve facilement utile).

- Y : degré de tarissement,

- Y= 2/3 pour les cultures en général.
- Y= 1/3 pour les cultures sensibles (Pastèque).
- Y= 1/2 pour les cultures céréalières.

En utilisant cette formule, il est possible de calculer la quantité d'eau nécessaire pour combler le manque d'eau dans la zone racinaire.

En appliquant la formule on obtient :

$$Dn = 45 \text{ mm.}$$

Une réserve facilement utilisable (RFU) de 45 mm signifie que cette quantité d'eau est facilement accessible aux racines des cultures.

Avec les informations fournies, on peut simplifier le calcul des besoins en irrigation pour la palmeraie :

- Les précipitations efficaces (Peff) sont négligeables
- L'évapotranspiration maximale (ETM) est très supérieure à Peff.

- Donc la réserve utile du sol à l'instant $i-1$ (RU_{i-1}) est nulle

Dans ce cas, les besoins nets en irrigation (B_{net}) sont égaux à l'ETM :

$$B_{net} = ETM$$

Le tableau (VII.3) fournit une estimation des besoins en irrigation pour différents stades des palmiers dattiers.

Tableau VII.3. Estimation des besoins en eau des palmiers dattiers à Ouargla.

Mois	ET0 (mm)	Kc	ETc (mm)	Z(mm)	RU (mm)	RFU (mm)	B _{net} (mm)
Janvier	139.19	0.80	111.352	1000	67.5	45	111.352
Février	172.26	0.85	146.421	1000	67.5	45	146.421
Mars	250.79	0.90	225.711	1000	67.5	45	225.711
Avril	333.90	0.95	317.205	1000	67.5	45	317.205
Mai	406.10	1	406.10	1000	67.5	45	406.10
Juin	451.50	1	451.50	1000	67.5	45	451.50
Juillet	477.40	1	477.40	1000	67.5	45	477.40
Aout	431.52	1	431.52	1000	67.5	45	431.52
Septembre	353.10	0.9	317.79	1000	67.5	45	317.79
Octobre	268.77	0.85	228.454	1000	67.5	45	228.454
Novembre	184.5	0.85	156.825	1000	67.5	45	156.825
Décembre	122.14	0.8	97.712	1000	67.5	45	97.712

Ce tableau met en évidence les besoins en eau des palmiers tout au long de l'année, en tenant compte des variations climatiques et des coefficients culturels. Les résultats suggèrent qu'une gestion efficace de l'irrigation est cruciale, surtout pendant les mois d'été, pour assurer la santé et la productivité des palmiers. Les valeurs de B_{net} fournissent une base pour dimensionner le système d'irrigation et planifier les apports d'eau nécessaires pour répondre aux besoins hydriques des cultures.

VII.3.6. La dose de lessivage :

Pour calculer le lessivage, des doses en fractions sont apportées et simultanément aux doses d'irrigation pour éviter l'accumulation de sels dans le sol et éliminer les accumulateurs.

Les doses en fractions tout au long de l'année de lessivage sont apportées par le système d'irrigation existant. En 1972, M. Rhodes a élaboré une formule pour une évaluation rationalisée de cette fraction [10] :

$$LR = \frac{Ce_{iw}}{5 * Cees - Ce_{iw}} \dots \dots \dots \text{(VII.6)}$$

LR : Fraction minimal de lessivage en %.

Ce_{iw} : conductivité électrique d'eau d'irrigation.

Cees : la valeur de la table de tolérance qui provoquerait une chute de rendement de 10% max.

(D'après la table de FAO (annexe 7)).

Donc : Cees = 7 mmhos/cm.

$$LR = 0.33 = 33 \%$$

Pour le lessivage, il est recommandé d'augmenter les besoins en irrigation de 33 % à chaque apport d'eau. Cette augmentation est détaillée dans le tableau suivant (tableau VII.4).

Tableau VII.4. Besoins en irrigation des palmiers avec un supplément de 33% pour le lessivage.

Mois	B _{net} (mm)	B _{net} +lessivage (mm)	B _{brut} (mm)
Janvier	111.352	148.098	164.553
Février	146.421	194.739	216.378
Mars	225.711	300.196	333.551
Avril	317.205	421.882	468.758
Mai	406.10	540.113	600.126
Juin	451.50	600.495	667.217
Juillet	477.40	634.942	705.491
Aout	431.52	573.922	637.691
Septembre	317.79	422.661	469.623
Octobre	228.454	303.844	337.604
Novembre	156.825	208.577	231.753
Décembre	97.712	129.957	144.397

Cependant, pour calculer les besoins brutes (B_{brut}), nous devons diviser les besoins nets par le rendement :

$$B_{brut} = B_{net} / \text{Rendement} \dots \dots \dots \text{(VII.7)}$$

Les besoins bruts (B_{brut}) représentent la quantité totale d'eau nécessaire, incluant les pertes dues à l'évapotranspiration et à la percolation. Les valeurs de B_{brut} sont également les plus élevées en juillet (705.491 mm), ce qui indique une forte demande en eau durant cette période.

VII.3.7. Débit spécifique :

On calcule les débits spécifiques en fonction des besoins en eau de la culture, qui est été évaluée précédemment. La quantité d'eau nécessaire à l'irrigation en période de forte demande est représentée par un débit constant fourni en permanence pendant 24 heures. Grâce à cette méthode, les besoins mensuels en eau des cultures sont assurés [9].

$$qs = B_{net} * 10 * 1000 / N_j * N_i * 3600 * E_i \text{ (l/s/ha)} \dots \dots \dots \text{(VII.8)}$$

B_{net} : besoin mensuelle maximum en mm.

D'où le besoin mensuelle maximum correspondent au mois de juillet.

$B_{net} = 634.942$ mm.

N_i : nombre d'heures de fonctionnement par jour (24h), on prend 22h.

N_j : nombre de jours de mois d'irrigation (continue), égale à 30 jours.

E_i : Coefficient d'efficience globale du système d'irrigation (75%).

En utilisant la formule on obtient :

$$Q_s = 3.56 \text{ (l/s/ha)}.$$

Il faut donc un débit spécifique de 3.56 litres par seconde par hectare pour répondre aux besoins en eau des cultures pendant la période de forte demande.

VII.3.8. Débit caractéristique :

Le débit est défini comme le débit maximal nécessaire par le système d'irrigation pour chaque parcelle. On calcule ce débit en multipliant le débit spécifique par la surface agricole disponible, La formule [9] est donc :

$$Q_c = q_s * S \dots \dots \dots \text{(VII.9)}$$

qs : Le débit spécifique (l/s/ha).

S : la superficie totale à irriguer (ha).

Pour déterminer la superficie à irriguer par un débit de rejet de 2897.64 m³/j, il a été supposé que le débit de rejet de la station soit égal au débit caractéristique pour s'assurer que le débit de rejet soit suffisant pour irriguer ce périmètre.

En appliquant la formule mentionnée précédemment, nous avons calculé une superficie de **9.42** hectares. Dans notre cas le nombre de palmiers est de **170** palmiers par hectare, nous obtenons un total de palmiers de **1601** palmiers.

Le rendement des palmeraies pour les pieds jeunes est de **20 à 25** kg par palmier [10]. Avec un total de palmiers, cela donne une production totale d'environ **40.03** tonnes de dattes.

Conclusion :

Après avoir évalué les exigences d'eau de notre culture choisie (Palmeraie), nous avons établi le débit spécifique nécessaire pour le soutenir, en tenant compte des contraintes agricoles et agronomiques. Selon les résultats, il est évident que la quantité d'eau rejetée par la station de déminéralisation est adéquate pour répondre aux besoins de près de 1601 palmiers, assurant ainsi une irrigation adéquate.

Chapitre VIII

Organisation de chantier

Introduction :

Les problèmes liés au rejet des eaux salées dans le milieu naturel (sebkha) sont mis en lumière par l'étude de la station IFRI à Ouargla, ce qui entraîne la salinisation des sols et la contamination des nappes phréatiques par infiltration, ce qui aggrave la pénurie locale d'eau. Afin de réutiliser ces eaux dans le domaine agricole, notre étude se focalisera sur deux axes principaux :

1. Mise en place d'un bassin de stockage : Ce bassin sera utilisé pour récupérer les eaux rejetées de la station afin d'améliorer sa gestion.
2. Calcul des volumes de terrassement du périmètre à irriguer étant donné que le sol est salin, il faut procéder à un remblayage pour préparer le terrain à l'irrigation.

Il est crucial d'organiser le chantier pour évaluer correctement les prix et les moyens à mettre en œuvre lors de la réalisation d'un projet, car cela repose sur des hypothèses qui seront vérifiées pendant et à la fin du projet.

VIII.1. Travaux de réparation et installation de chantier :

Afin de simplifier la mise en place d'un chantier, il est essentiel de posséder un terrain vaste et assez spacieux. Cela facilite la gestion efficace des diverses zones de stockage des matériaux, des voies de circulation des véhicules, ainsi que des locaux et des postes de travail fixes. En général, les installations suivantes sont nécessaires sur un chantier.

VIII.1.1. Installations destinées au personnel :

Les installations pour le personnel sont standardisées dans un chantier de génie civil et comprennent : des dortoirs, des réfectoires, des vestiaires, des sanitaires, une infirmerie et des bureaux appropriés. La base de vie doit être reliée aux infrastructures telles que l'eau potable, l'assainissement, l'électricité et la télécommunication. En outre, des voies piétonnes doivent être créées pour permettre, tout au long de la phase de construction, les déplacements suivants :

- Élément de base - zone de travail.
- Élément de base - emplacement pour les véhicules du personnel.
- Élément de base - centrale à béton.
- Élément de base - emplacement pour le stockage des matériaux.

VIII.1.2. Installations destinées au stockage des matériaux :

Le plan d'installation de chantier doit prévoir des aires de stockage pour différents matériaux, en précisant leur type, la surface disponible et les mesures de protection environnementale. Il est essentiel de protéger les matériaux des intempéries, en utilisant des silos métalliques pour le ciment et des baraquements pour les agrégats. Des séparations doivent être établies pour éviter le mélange des matériaux et faciliter le dosage du béton, tandis que les aciers doivent être entreposés dans des hangars.

VIII.1.3. Installations destinées à la réparation des engins :

Bien que les réparations importantes ne soient généralement pas réalisées sur le chantier même, il est indispensable de disposer d'un atelier suffisamment équipé pour garantir l'entretien régulier et les réparations d'urgence des différents équipements.

VIII.2. Les moyens des travaux de chantier :**VIII.2.1. Moyens humains :**

Il est essentiel que l'entreprise fasse référence au responsable du chantier et à son remplaçant, en précisant leurs titres, compétences, rôles et responsabilités. Cette règle est valable pour l'ensemble du personnel concerné. Les études nécessitent préalablement la présence d'experts (géotechniciens, hydrologues, topographes, ingénieurs, dessinateurs, etc.).

VIII.2.2. Moyens matériels :

Il est nécessaire que l'entrepreneur répertorie les équipements utilisés (marque, type, puissance, rendement, quantité), en indiquant leur utilisation en fonction du calendrier des travaux.

VIII.2.3. Matériels de terrassement :

Les équipements de terrassement comprennent ceux qui sont indispensables pour les fouilles, l'extraction et le transport des matériaux, ainsi que pour le bétonnage et la finition. En général, sur l'utilisation des bulldozers, des chargeuses, des tombereaux, des pelles hydrauliques, des décapeuses, des camions-citernes, des grues à portique, des bétonnières, etc.

VIII.3. Travaux à réalisés :

Une estimation précise des quantités de travaux nécessaires pour la mise en service et l'exploitation des eaux de rejet de la station IFRI pour irriguer le périmètre de Beni Sissine est

nécessaire pour réutiliser ces eaux de rejet. Il est primordial de réaliser cette estimation avec minutie pour garantir la pérennité du projet.

VIII.3.1. Construction du bassin de stockage :

Le bassin de stockage joue un rôle crucial dans la gestion des eaux de rejet de la station IFRI, en permettant leur stockage pour une utilisation ultérieure dans l'irrigation du périmètre de Beni Sissine, notamment pour l'extension de palmiers.

Le bassin est conçu pour recueillir et stocker les eaux de rejet de la station, garantissant ainsi que ces eaux soient disponibles pour l'irrigation lorsque cela est nécessaire.

Il est essentiel de dimensionner correctement le volume du bassin afin qu'il puisse contenir le débit de rejet de la station. Cela implique des calculs précis pour s'assurer que le bassin peut gérer les variations de débit tout en évitant les débordements. Les eaux stockées dans le bassin vont être utilisées pour irriguer les palmiers, contribuant ainsi à la durabilité de l'agriculture dans la région, surtout dans un contexte de pénurie d'eau.

VIII.3.2. Terrassement de périmètre :

Il est crucial de procéder au terrassement du périmètre à irriguer afin de préparer le terrain à l'irrigation, en particulier dans le cas d'un sol salin tel que celui de Beni Sissine. Voici les étapes essentielles à suivre :

- Effectuer une étude géotechnique afin d'examiner les caractéristiques physiques et chimiques du sol, en particulier sa teneur en salinité.
- Étudier la topographie actuelle et repérer les zones qui requièrent un remblayage.
- Déterminer de manière précise la zone à terrasser en fonction de la surface à arroser.
- Éliminer la surface du sol afin de retirer la végétation et les substances organiques.
- Estimer les quantités de débris et de remblais requises afin de niveler le sol et de créer une surface plane propice à l'irrigation.
- Fournir des produits de remblai de haute qualité (sable) afin de renforcer les zones basses et compenser la salinité.
- Compacter soigneusement les remblais pour assurer la stabilité du terrain.

En réalisant ces travaux de terrassement de manière soignée, on prépare un terrain favorable à l'irrigation de notre culture, malgré les contraintes liées à la salinité. Le remblayage et le drainage sont des solutions clés pour assainir durablement le sol.

VIII.4. Calcul des terrassements :

Le calcul de terrassement est en effet crucial pour la conception du bassin de stockage et du périmètre irrigué dans notre projet. Voici les étapes à suivre :

VIII.4.1. Calcul de volume du bassin de rétention :

Pour un bassin circulaire, le volume peut également être exprimé en fonction de débit et de temps de stockage.

La formule générale est :

$$V = Q * t$$

Où :

- V est le volume du bassin de stockage en mètres cubes (m³).
- Q est le débit de rejet en mètres cubes par jour (m³/j).
- t est le temps de stockage en jours.

Supposons que le temps de stockage soit de 8 heures. Dans ce cas :

- Q = 2898 m³/j.
- t = 8 heures.

Nous avons prévu un temps de stockage de 8 heures, car le stockage de l'eau se fait à la nocturne, période durant laquelle l'irrigation est arrêtée.

- Le volume de stockage serait alors :

$$V = 966 \text{ m}^3$$

Si on veut déterminer les dimensions du bassin (profondeur et rayon) on applique la loi suivante :

$$V = \pi * r^2 * h$$

Où :

- h : la profondeur du bassin (m).
- r : le rayon du bassin (m).

La profondeur du bassin a été estimée en fonction des cotes de terrain, c'est-à-dire des cotes minimale et maximale.

$$h = 129 - 126,5 = 2,5 \text{ m.}$$

D'après les calculs effectués, le rayon du bassin est de 11 mètres.

Donc pour un débit de rejet de 2898 m³/j, le volume du bassin de stockage doit être de 966 m³ pour un temps de stockage de 8 heures.

- Le volume de déblai : Pour calculer le volume de déblai d'un bassin de stockage ayant un volume de 966 m³, il est important de comprendre que le volume de déblai est équivalent au volume total du bassin à excaver.

Par définition, le volume de déblai pour un bassin de stockage est le même que le volume du bassin. Ainsi, le volume de déblai nécessaire est :

$$V_{\text{déblai}} = 966 \text{ m}^3$$

Le volume de déblai nécessaire pour un bassin de stockage de 966 m³ est de 966 m³. Ces calculs sont essentiels pour garantir que le bassin est correctement dimensionné et que le déblai est suffisant pour atteindre les niveaux souhaités.

VIII.4.2. Calcul du terrassement de périmètre :

Le calcul de terrassement pour un périmètre nécessite plusieurs étapes pour déterminer le volume de terre à excaver (déblai) et à ajouter (remblai). Dans notre cas, il est essentiel d'ajouter un remblai pour éviter la salinité du sol destiné à la plantation, car ce sol est situé près d'une dépression saline (Sebkha).

Pour calculer le terrassement d'un périmètre de 785 m de longueur et 120 m de largeur avec des cotes de terrain variant entre 129 m et 126,75 m, et une équidistance de 0,25 m, nous allons procéder par étapes.

- 1) La division de périmètre en parcelles : Lors de la division, il est essentiel de prendre en compte l'homogénéité du terrain, c'est-à-dire la régularité de ses caractéristiques (comme l'altitude, le type de sol, etc.). Dans notre cas, nous avons opté pour un total de 12 parcelles, comme illustré dans la figure (VIII.1).

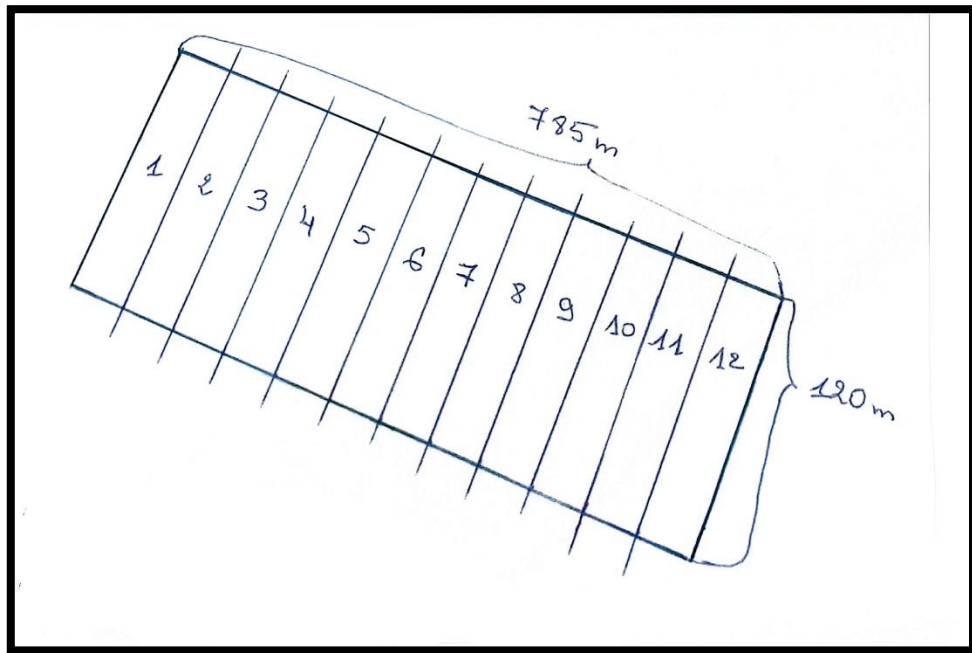


Figure VIII.1. Représentation graphique de la division de périmètre en parcelles.

2) Calcul des surfaces : Nous avons déterminé les surfaces des 12 parcelles de forme trapézoïdale en prenant en compte les courbes de niveaux.

- En prenant l'exemple des deux profils illustrés dans la figure (VIII.2).

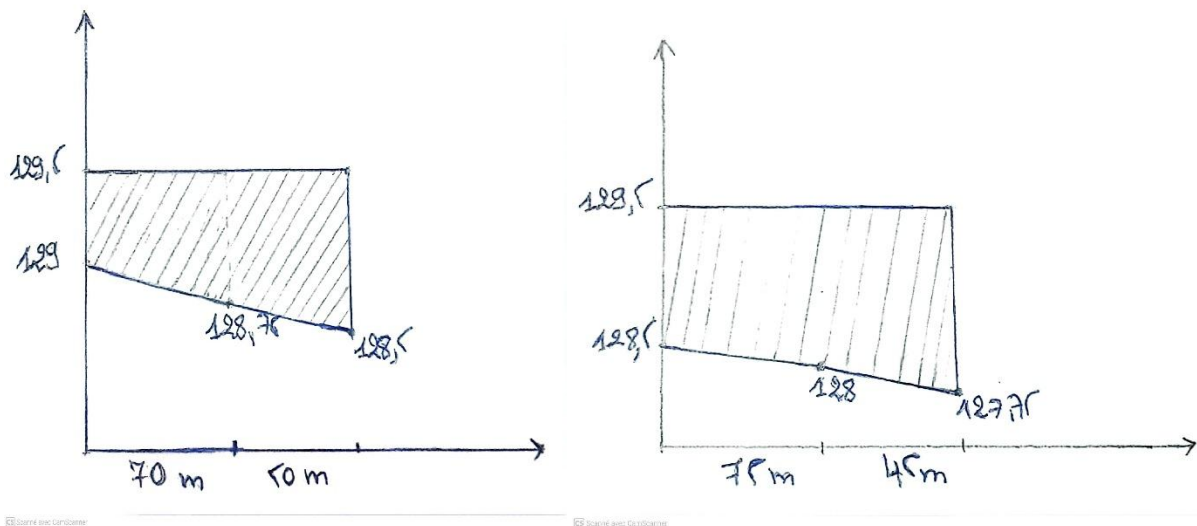


Figure VIII.2. Les profils transversaux de la première et la deuxième parcelle.

Pour déterminer la surface d'un profil de forme trapézoïdale, nous avons appliqué la formule suivante :

$$S = ((A + B) * h)/2$$

Où A et B représentent les longueurs des bases du trapèze, et (h) est la hauteur entre ces bases.

- Pour le premier profil :

$$S_1 = \mathbf{87.5 \text{ m}^2}.$$

- Pour le deuxième profil :

$$S_2 = \mathbf{166.88 \text{ m}^2}.$$

- 3) Calcul des moyennes des surfaces : Pour chaque paire de parcelles adjacentes, nous allons calculer la moyenne de leurs surfaces.

- La moyenne entre les deux parcelles est de : $S_{12} = \mathbf{127.187 \text{ m}^2}$.

- 4) Calcul du volume : Pour déterminer le volume total de remblai, il faut calculer le volume de chaque paire de parcelles adjacentes. Cela se fait en multipliant la surface moyenne de chaque paire par la largeur correspondante. Donc, nous obtenons 6 volumes distincts, dont la somme représente le volume total de remblai pour le périmètre.

- Le volume des deux parcelles est de : $V_{12} = S_{12} * D = \mathbf{9984.179 \text{ m}^3}$.

En suivant ces étapes, nous obtenons un volume total de remblai de :

$$V \text{ remblai} = \mathbf{69041,62 \text{ m}^3}.$$

Pour l'extension de la palmeraie près du point de rejet, un volume de **69041.62 m³** de remblai de sol est nécessaire.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons résumé les différentes étapes à suivre pour mener à bien notre projet de réutilisation d'eau de rejet pour irriguer la palmeraie dattier, y compris l'organisation du chantier, afin de garantir le bon déroulement de sa réalisation.

Conclusion générale

L'Algérie, et en particulier la région de Ouargla, fait face à une rareté de l'eau douce en raison de la salinité élevée des eaux souterraines. Le dessalement s'est donc imposé comme une solution nécessaire pour satisfaire les besoins en eau potable de la population. Bien que les avancées technologiques aient permis d'améliorer l'efficacité et la rentabilité du dessalement, ce procédé peut avoir un impact négatif sur l'environnement à cause de la composition des rejets.

Face à cette problématique, nous avons mené une étude approfondie sur la qualité des rejets de la station IFRI afin d'évaluer leur possibilité de réutilisation pour l'irrigation.

Les résultats ont permis de mettre en place un système de réutilisation des eaux de rejet pour l'irrigation de la palmeraie dattier. Des aménagements et des travaux spécifiques, comme le lessivage, le drainage, un remblayage du sol et la construction d'un bassin de stockage, ont été proposés afin de limiter les risques de salinisation des sols et de garantir une irrigation adéquate.

Ce système valorise les eaux de rejet tout en prenant en compte les contraintes liées à la qualité de l'eau et à la nature des sols, assurant ainsi une mise en valeur agricole durable dans la région d'Ouargla.

A la fin pour contester un tel projet, nous recommandons les points suivants :

- Étude détaillée de la qualité de l'eau de rejet.
- Étude approfondie du projet d'irrigation et de drainage : une analyse complète du projet doit être réalisée pour établir clairement les coûts associés et prouver sa viabilité.

Références bibliographiques

- [1] Abdelkader, Elaziouti, 2024. PROCÉDES D'ADSORPTION ET SEPARATIONS MEMBRANAIRES. CHAPITRE IV : PROCÉDES DE SEPARATIONS MEMBRANAIRES -GENERALITES ET DEFINITIONS.
- [2] ADE, Ouargla.
- [3] A. Benali, 2014, "L'eau comme révélateur de la crise multiforme en Algérie : Aspects économiques et impacts sociaux". IRD Édition, [En ligne]. Disponible : <https://books.openedition.org/irdeditions/4814?lang=fr>
- [4] ABERLENC-BERTOSI, Frédérique, (dir), 2010, *Biotechnologies du palmier dattier*. Nouvelle édition [en ligne]. Marseille : IRD Éditions.
- [5] AUBERT. G, OLLAT.C.H., 1969, Observation sur l'utilisation d'eaux saumâtres pour l'irrigation et sur l'amélioration des sols salés. Acad d'agric de France, p (244-254).
- [6] AYERS R.S., 1976, Aspects de salinité et de la qualité de l'eau de l'irrigation goutte à goutte. Annales INA El-Harrach VI, 3, p (109-113).
- [7] AYERS R.S, WESTCOT D.W., 1985, Water quality for agriculture. FAO, Irrigation and drainage paper 29, 174P, Rome, Italy.
- [8] A. Zeddouri, F. Derradji, et S. Hadj-Saïd, 2010, "Origine de la salinité des eaux du complexe terminal dans la région de Ouargla (sud-est algérien)". [En ligne]. Disponible : https://www.researchgate.net/publication/301619784_ORIGINE_DE_LA_SALINITE_DES_EAUX_DU_COMPLEXE_TERMINAL_DANS_LA_REGION_DE_OUARGLA_SUD-EST_ALGERIEN
- [9] AZOUZ Mohamed, 2023, ETUDE D'AMENAGEMENT HYDRO-AGRICOLE DU PERIMETRE DU ZELFANA HASSI NORD 105HA A PARTIR D'UN FORAGE (W. GHARDAIA), p (36-37).
- [10] BELABES, Mohamed Chaouki, 2023, Dimensionnement d'un réseau de drainage de la palmeraie de Rouissat-BeniThour (600ha), wilaya de Ouargla, p 67.
- [11] BERTRAND.R, 1981 Sols sal sodiques et cultures irriguées avec des eaux salines. Ed. GERDAT – IRAT, p44.

[12] BOUGENDRE. A,1973, Utilisation des eaux salées pour l'irrigation. Mémoire ESAT, p (38-58).

[13] Boukhriss. M,2016, "Couplage d'une unité de distillation membranaire pour le dessalement de l'eau avec l'énergie solaire : modélisation et simulation de fonctionnement," ResearchGate,[Enligne]Disponible:

https://www.researchgate.net/publication/343794636_Couplage_d%27une_unite_de_distillation_membranaire_pour_le_dessalement_de_l%27eau_avec_l%27energie_solaire_modelisation_et_simulation_de_fonctionnement

[14] "Carte de Ouargla," [En ligne]. Disponible :

<https://dmaps.com/m/africa/algeria/ouargla/ouargla03.gif>

[15] CHELOUFI.H, ATTALAH.S, BOUAMMAR.B, CHAOUKI.Y, GOUASMI.D,2001 Etude comparative de l'irrigation goutte à goutte par rapport à la raie en présence d'une culture de tomate sous abris serre en région aride. Actes du séminaire national sur l'eau, université de Tlemcen, p (372-375).

[16] "Comparatif des techniques de dessalement," TPE Or Bleu. [En ligne]. Disponible :

<https://tpeorbleu.wordpress.com/techniques-de-dessalement-2/comparatif-des-techniques/>

[17] "Coupe hydrogéologique des aquifères du Sahara septentrional," UNESCO, 1972, [En ligne]. Disponible :

https://www.researchgate.net/figure/Coupe-hydrogeologique-des-aquiferes-du-Sahara-septentrionale-UNESCO-1972-2-1-3_fig2_333172830

[18] Cours d'océanographie chimique de 3-ème année de Licence Sciences de la Terre et de l'Environnement, Université de Bordeaux, 2014.

[19] CTGREF, 1979, Evaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations. Ministère de la coopération Française, p197.

[20] "Diagramme de distillation," [En ligne]. Disponible :

<https://tpedessalementmaroc.weebly.com/uploads/2/6/1/2/26129160/5419017.jpg>

[21] DAOUD Y, HALITIM A., 1994 Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Sécheresses 5, 3, 151 – 160.

[22] DJILI.K, DAOUD.Y, 1999, Distribution latérale et verticale de l'ESP dans les sols du Nord de l'Algérie. Actes du séminaire sur la salinisation des terres agricoles en Algérie. Chlef 25- 42.

[23] [file:///C:/ajol-file-journals_547_articles_151008_submission_proof_151008-6445-396467-1-10-20170203%20\(3\).pdf](file:///C:/ajol-file-journals_547_articles_151008_submission_proof_151008-6445-396467-1-10-20170203%20(3).pdf)

[24] FLOWERS T.J, FLOWERS S.A, YEO A.R, CUARTERO. J, BOLARIN M.C, 2003 Saltmed:a summary of the project. Proceeding of an international workshop : sustainable strategies for irrigation, p (9-18).

[25] Jean RODIER Bernard LEGUBE, Nicole MERLET et coll. L'Analyse de l'eau, p (80-84).

[26] Journal officiel de la république algérienne,2012, N41, p20.

[27] Hadji Siham, Chaouch Noura, Etude de la vulnérabilité a la pollution des eaux de la nappe du mio-pliocène destinée à l'AEP, Faculté des science, appliquée, Département de Génie des procédés, Niveau 2ème master, Option analyse et control de qualité, Ouargla 30000 Algérie).

[28] HAMDY. A, LASRAM .M, LACIRIGNOLA .C, 1995, Les problèmes de salinité dans la zone méditerranéenne. Académie d'agriculture de France 81, 2, p (47 -59).

[29] HAMDY.A,2001a, Saline irrigation management for a sustainable use. In. Non conventional water resource: reuse and management. IAM, BARI, 49P.

[30] HAMDY.A, 2001b, P63, Irrigation with poor quality water : majors issues. In. Non conventional water resource: reuse and management.

[31] HAMDY. A, RAJAB. R, 2001, Reuse of saline and waste water for irrigation : major issues on water, crop and soil management environment protection and health safety. In. Non conventional water resource : reuse and management. IAM, BARI, 38P.

[32] HAMMOUDI. A, 1999 Distribution de l'humidité et de la salinité dans la rhizosphère du mais jaune sous irrigation goutte à goutte. Actes du séminaire sur la salinisation des terres agricoles en Algérie. Chlef, 145-156.

[33] HAMOUD TOUBBALI, Cours de : « Dessalement de l'eau de mer », 2023-2024, p30.

[34] <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

[35]"Image 4," *EMAM*, [En ligne]. Disponible : <https://journals.openedition.org/emam/docannexe/image/1554/img-4-small580.png>

[36] KATERJI. N, 1995, Réponse des cultures à la contrainte hydrique d'origine saline, approches empiriques et mécanistes. Académie d'agriculture de France, 81, 2. 73 – 86.

- [37] KHENFER Benhoua, 2020, Capacité de régénération des ressources fourragères des parcours sahariens. Cas des régions d'Ouargla et Ghardaïa, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Département des Sciences Biologiques (Ouargla).
- [38] MASMOUDI.A, 2000, Influence de l'irrigation goutte à goutte sur les rendements de la plasticulture en relation avec la salinité des eaux et en comparaison avec la méthode traditionnelle. Séminaire national sur la micro irrigation, université de Blida.
- [39] MIHOUB.A, "Les nappes aquifères du Sahara Algérien : Le Continental Intercalaire, Le Complexe," ResearchGate, [En ligne]. Disponible : https://www.researchgate.net/profile/Adil-Mihoub/publication/302964541/figure/fig1/AS:360880299626497@1463051976830/Les-nappes-aquiferes-du-Sahara-Algerien-Le-Continental-Intercalaire-Le-Complexe_W640.jpg
- [40] "Mise en œuvre de filtrations," ResearchGate, [En ligne]. Disponible : <https://www.researchgate.net/publication/280958670/figure/fig6/AS:1082890494455809@1635192621891/8-Mise-en-oeuvre-de-filtrations.png>
- [41] "Modules tubulaires," SUEZ Water Handbook, [En ligne]. Disponible : <https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/separation-par-membranes/les-modules-disponibles-leur-geometrie/modules-tubulaires>
- [42] MOUHOUCHE.B, 2000, L'avenir de l'agriculture saharienne dépend de la maîtrise de la salinisation des sols et de la valorisation de l'eau d'irrigation et de drainage. Actes du congrès scientifique arabe, El-Oued, p (191-201).
- [43] ONM : Office nationale de métrologie De la Wilaya de Ouargla.
- [44] Ouali, Salima & Khellaf, Abdallah, 2006, Etude géothermique du Sud de l'Algérie, p4.
- [45] "Principe de l'osmose inverse," [En ligne]. Disponible : <https://www.elmatec.fr/wp-content/uploads/2020/05/Principe-RO.jpg>
- [46] Remini, 2003, LA PROBLÉMATIQUE DE L'EAU EN ALGÉRIE.
- [47] Samir, Mehtougui & Baaloudj, Affef & Kerfouf, Ahmed, 2023, Le dessalement d'eau de mer en Algérie nord-occidentale. (Book).
- [48] "SUEZ Water Handbook," [En ligne]. Disponible : <https://www.suezwaterhandbook.fr>.
- [49] SULTANA, A., "Schematic diagram of electro dialysis (ED) desalination process," ResearchGate, [En ligne]. Disponible : https://www.researchgate.net/profile/Ayesha-Sultana-2/publication/320442877/figure/fig5/AS:578258564587520@1514878993801/Schematic-diagram-of-electrodialysis-ED-desalination-process-20-The-Fig-is-used_Q320.jpg

[50] SLAMA.F,2004, La salinité et la production végétale. Centre de publication universitaire, Tunis, p 163.

[51] VALLES.V, BOURGEAT.F, GUIRESSE.M, 1988, Calcul des doses d'irrigation pour les sols salés. Application d'une méthode géochimique de calcul à un sol tunisien. Cahier ORSTOM, Pédologie 24(2), p (115 – 122).

[52] ZARAGOZA. G, "Schematic diagram of a spiral wound module (adapted from), « ResearchGate, [En ligne]. Disponible : https://www.researchgate.net/profile/Guillermo-Zaragoza-2/publication/272001798/figure/fig10/AS:668302640689159@1536347174297/Schematic-diagram-of-a-spiral-wound-module-adapted-from-11_Q320.jpg

[53] ZELA. L, KETTAB. A,2003, Optimisation d'un réseau de micro irrigation. Sècheresse 14(3), p (189 – 194).

Annexes

Annexe 01 : Schéma synoptique de la station d'IFRI (ADE-Ouargla,2010).

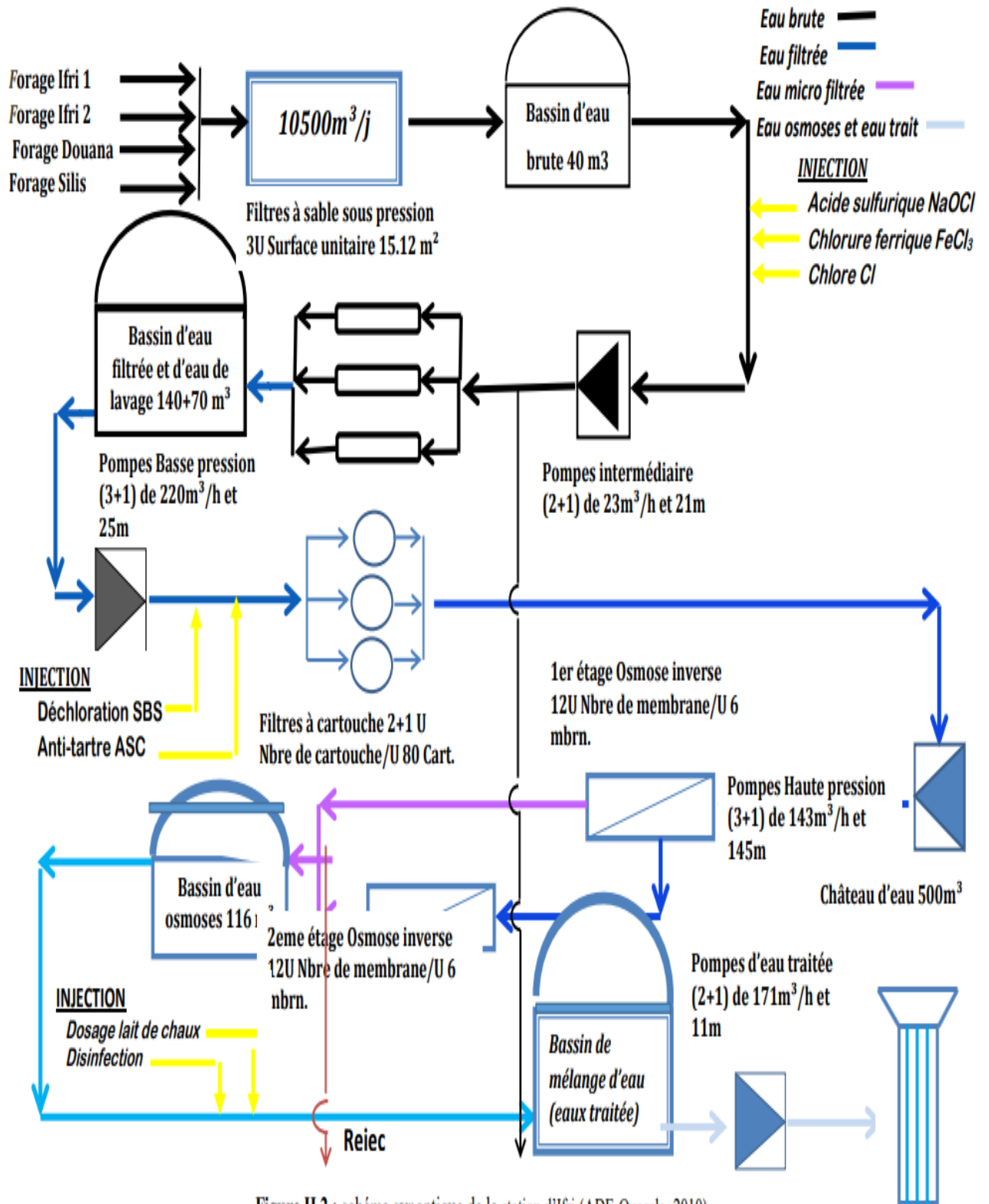
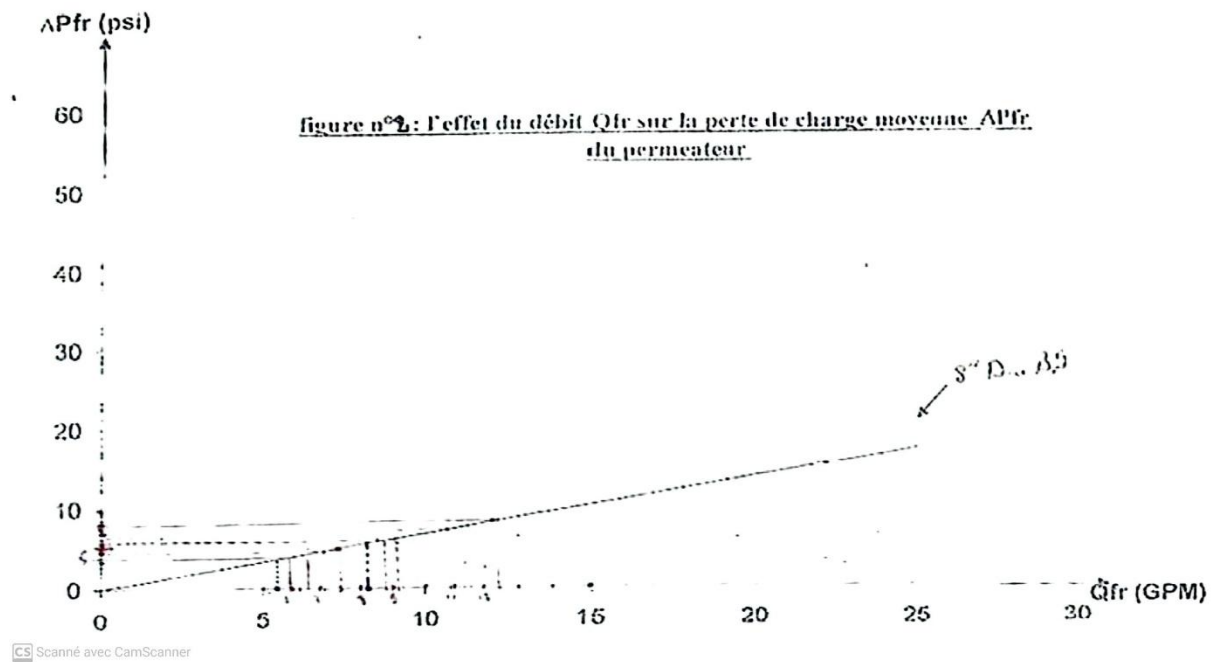


Figure II.2 : schéma synoptique de la station d'Ifri (ADE-Ouargla, 2010)

Annexe 02 : Facture de correction du flux de rétention de la membrane en fonction de la pression, la température.

Pression de fonctionnement en (psi)	Température (C°)	Capacité	Durée de vie de la membrane(1ans)	Durée de vie de la membrane(3ans)
400	5	0.55	0.914	0.9
	10	0.64	0.907	0.89
	15	0.74	0.891	0.872
	20	0.86	0.868	0.845
	25	1	0.828	0.8
	30	1.16	0.767	0.73
	35	1.34	0.675	0.629
300	5	0.4	0.936	0.925
	10	0.46	0.929	0.917
	15	0.54	0.919	0.905
	20	0.62	0.901	0.883
	25	0.72	0.868	0.845
	30	0.83	0.817	0.787
	35	0.97	0.736	0.695
200	5	0.24	0.956	0.952
	10	0.28	0.953	0.947
	15	0.32	0.946	0.937
	20	0.37	0.934	0.923
	25	0.43	0.91	0.894
	30	0.5	0.871	0.848
	35	0.58	0.807	0.776

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



Annexe04 : Facteur de correction de température f_{25} [23].

θ	f_{25}									
	°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8
18	1,168	1,166	1,163	1,160	1,157	1,155	1,152	1,149	1,147	1,144
19	1,141	1,139	1,136	1,134	1,131	1,128	1,126	1,123	1,121	1,118
20	1,116	1,113	1,111	1,108	1,105	1,103	1,101	1,098	1,096	1,093
21	1,091	1,088	1,086	1,083	1,081	1,079	1,076	1,074	1,071	1,069
22	1,067	1,064	1,062	1,060	1,057	1,055	1,053	1,051	1,048	1,046
23	1,044	1,041	1,039	1,037	1,035	1,032	1,030	1,028	1,026	1,024
24	1,021	1,019	1,017	1,015	1,013	1,011	1,008	1,006	1,004	1,002
25	1,000	0,998	0,996	0,994	0,992	0,990	0,987	0,985	0,983	0,981
26	0,979	0,977	0,975	0,973	0,971	0,969	0,967	0,965	0,963	0,961
27	0,959	0,957	0,955	0,953	0,952	0,950	0,948	0,946	0,944	0,942
28	0,940	0,938	0,936	0,934	0,933	0,931	0,929	0,927	0,925	0,923
29	0,921	0,920	0,918	0,916	0,914	0,912	0,911	0,909	0,907	0,905
30	0,903	0,902	0,900	0,898	0,896	0,895	0,893	0,891	0,889	0,888
31	0,886	0,884	0,883	0,881	0,879	0,877	0,876	0,874	0,872	0,871
32	0,869	0,867	0,866	0,864	0,863	0,861	0,859	0,858	0,856	0,854
33	0,853	0,851	0,850	0,848	0,846	0,845	0,843	0,842	0,840	0,839
34	0,837	0,835	0,834	0,832	0,831	0,829	0,828	0,826	0,825	0,823
35	0,822	0,820	0,819	0,817	0,816	0,814	0,813	0,811	0,810	0,808

Annexe 05 : Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité [23].

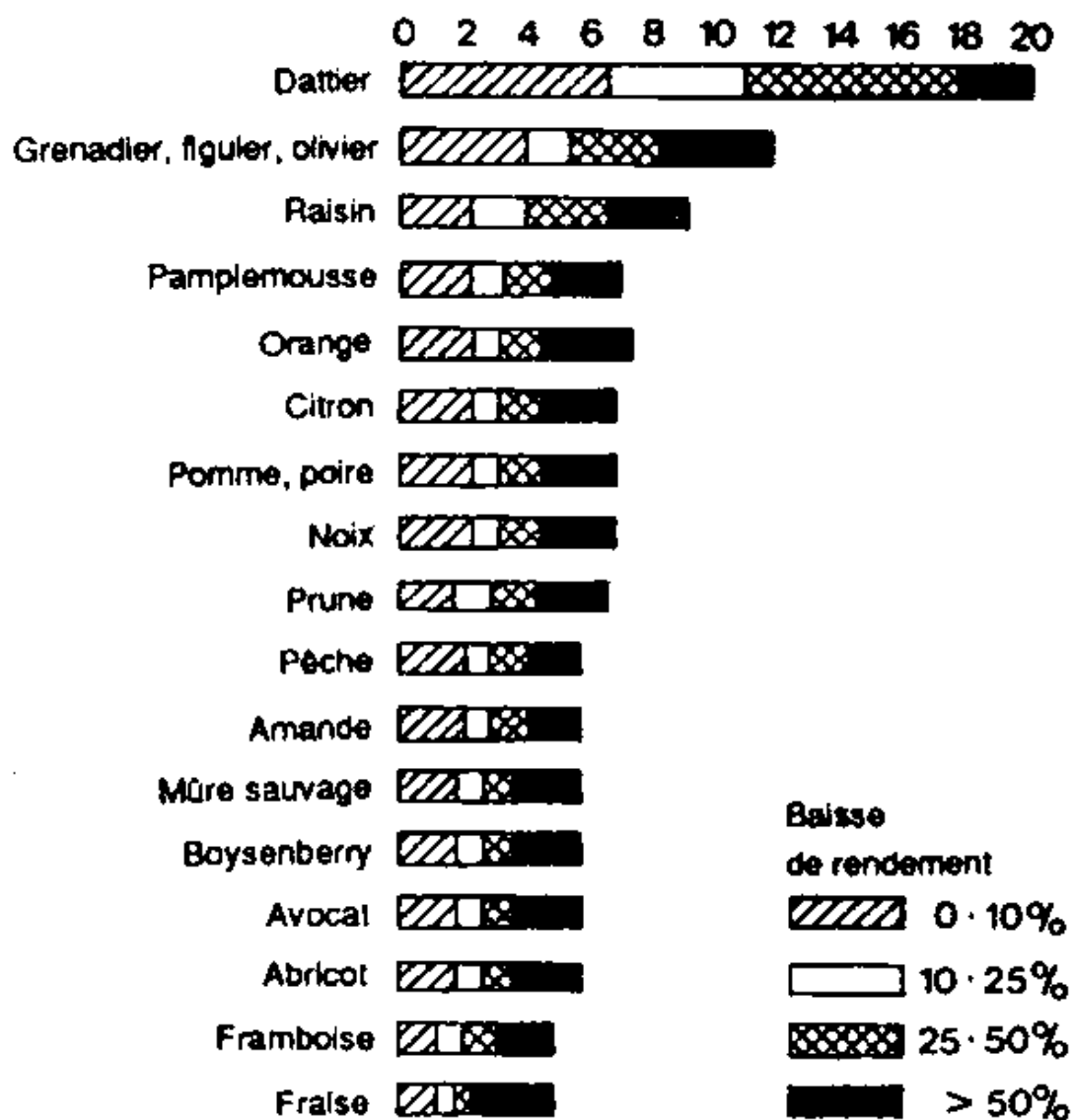
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation (mg/L)
Conductivité inférieure à 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$1,365\ 079 \times \text{conductivité (*)}$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C
Conductivité comprise entre 50 et 166 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$0,947\ 658 \times \text{conductivité (*)}$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C
Conductivité comprise entre 166 et 333 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$0,769\ 574 \times \text{conductivité (*)}$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C
Conductivité comprise entre 333 et 833 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$0,715\ 920 \times \text{conductivité (*)}$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C
Conductivité comprise entre 833 et 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$0,758\ 544 \times \text{conductivité (*)}$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C
Conductivité supérieure à 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$0,850\ 432 \times \text{conductivité (*)}$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C

(*) $\times 1,116$ pour 25 °C.
C. RICHARD, NGUYEN VAN CU. Relation entre la résistivité d'une eau et son taux de minéralisation.
L'eau, 1961, 1, p. 22-24.

Annexe 06 : La classification de la texture selon le triangle de Jambage.

Classe de texture (selon le triangle de Jambage)	Humidité % à la capacité au champ (Pf=2.5)	Humanité % au point de flétrissement permanent (Pf=4.2)	Eau utile (g d'eau pour 100 g de sol)	Densité apparente (sans dimension)	Réservoir utilisable (mm d'eau par cm de sol)
S	8	3	5	1.35	0.7
SL	12	5	7	1.40	1.0
SA	19	10	9	1.50	1.35
LIS	15	7	8	1.50	1.20
LS	19	9	10	1.45	1.45
LmS	20	9	11	1.45	1.60
LSA	22	11	11	1.50	1.65
LAS	24	12	12	1.45	1.75
LI	17	8	9	1.45	1.30
Lm	23	10	13	1.35	1.75
LA	27	13	14	1.40	1.95
AS	33	22	11	1.55	1.70
A	37	25	12	1.45	1.75
AL	32	19	13	1.40	1.80
A lourde	29	18	11	1.50	1.65

Annexe 07 : la table de tolérance des cultures a la salinité établie par la FAO.



CULTURES FOURRAGERES - ECe en mmhos/cm à 25 C

