



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Populaire et Démocratique Algérienne République

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الامن الصناعي

Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Instrumentation

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention de diplôme Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Génie Industriel

Thème

**Etude de faisabilité de production d'eau par dessalement
approvisionnée en énergie renouvelable**

Présenté et soutenu publiquement par :

Hamidi Asmaa

&

Bettir Fatima Zohra

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mr.TARFAYA Anis	MCB	Univ. Oran-2, IMSI	Président
Mr. BENFEKIR Abderrahim	MCB	Univ. Oran-2, IMSI	Encadreur
Mr.BENARBIA Taha	MCB	Univ. Oran-2, IMSI	Examineur

Juin 2024

Dédicace

A mes chers parents qui m'ont comblé d'amour et d'affection, qui m'ont toujours encouragé pour achever mes études tout en espérant voir le fruit de leurs sacrifices, qu'Allah les garde pour moi sains et saufs.

A mes chers sœurs Fatima, Zoulikha , Et Basmala et mon frère Abd el-Kader pour leurs encouragements, leurs aides, leurs précieux conseils et surtout leur soutien moral.

Mes amis et les ingénieurs Qui m'ont encouragé et m'ont aidé tout au long de la préparation du mémoire.

A mon binôme Bettir Fatima Zohra, sa motivation constante et son amitié précieuse. Merci pour les nombreuses heures de travail partagé, les discussions enrichissantes et les moments de soutien mutuel.

Hamidi Asmaa

Dédicace

*Je remercie **Dieu** le tout puissant de m'avoir donnée le courage et la patience pour réaliser ce travail.*

*Un grand merci à **ma famille**, rien n'aurait été plus beau à offrir à ma famille pour son aide, ses conseils et précieuses orientations dans la direction de ce projet, sans lesquels je ne serai ce que je suis devenue aujourd'hui que sans son encouragement et son réconfort qu'ils m'ont portés quand le besoin s'est fait sentir.*

*A tous **mes professeurs**.*

*A tous **mes amis et mes collègues**.*

*Sans oublier **mon binôme Hamidi Asmaa** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

Bettir Fatima Zohra

Remerciements

Nous tenons à remercier tout d'abord Dieu le tout puissant d'avoir guidé nos pas vers les portes du savoir et de nous avoir donné le courage, la volonté, et la patience pour achever ce travail.

Nous témoignons nos plus grandes reconnaissances à notre Encadreur de notre projet de fin d'étude Mr. Benfekir Abderrahim Professeur de l'université d'Oran 2 – institut de maintenance et de sécurité industrielle, pour la qualité de leur encadrement, leur implication à toute épreuve, leur disponibilité mais aussi pour la qualité de leur appui scientifique. Ses efforts et ses conseils avisés nous ont permis de mener à bien conduire cette tâche, merci de nous avoir fait confiance.

Nous adressons nos plus vifs remerciements à Messieurs TARFAYA Anis et BENARBIA Taha, pour l'attention qu'ils prêtent à nos travaux en ayant accepté d'être les examinateurs de ce travail.

Enfin, sans oublier l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation au sein de l'institut de maintenance et sécurité industrielle d'Oran 2.

Résumé :

La production d'eau déminéralisée à partir d'eaux salines est essentielle pour répondre aux besoins mondiaux en ressources hydriques. Les procédés membranaires, comme l'osmose inverse, sont largement utilisés, mais leur coût énergétique dépend du nombre de stations et de la capacité de production. Ce projet étudie un système de dessalement basé sur l'osmose inverse et alimenté par l'énergie solaire, notamment dans l'entreprise Cofeed à Mohammadia. Deux autres études de cas portent sur le puits de Tizi, et le puits d'Es-Senia visant à dimensionner le système pour optimiser ses performances. Les programmes HOMER PRO et IMSdesign sont utilisés pour sélectionner l'architecture la plus appropriée et économique.

Mots clés : Eau, dessalement, osmose, inverse, Energie, , IMSdesign , Homer Pro.

Abstract:

The production of demineralized water from saline waters is essential to meet global water resource needs. Membrane processes, such as reverse osmosis, are widely used, but their energy cost depends on the number of stations and production capacity. This project studies a desalination system based on reverse osmosis and powered by solar energy, in particular in the Cofeed Company in Mohammadia. Another cases studies concern the Tizi well, and Es-Senia aslo, aiming to size the systems to optimize its performance. HOMER PRO and IMSdesign programs are used to select the most appropriate and economical architecture.

Keywords: Water, desalination, osmosis, reverse, Energy, IMSdesign, Homer Pro.

المخلص :

إنتاج المياه المنزوعة المعادن من المياه المالحة ضروري لتلبية الاحتياجات العالمية من الموارد المائية. تستخدم عمليات الغشاء، مثل التناضح العكسي، على نطاق واسع، لكن تكلفة الطاقة تعتمد على عدد المحطات والقدرة الإنتاجية. يدرس هذا المشروع نظامًا لتحلية المياه يعتمد على التناضح العكسي ويعمل بالطاقة الشمسية، لا سيما في شركة كوفيد المحمدية. تتعلق دراسة حالة أخرى ببنر تيزي، و بنر السانية ... بهدف حجم النظام لتحسين أدائه. يتم استخدام برامج (HOMER PRO و IMSdesign) لاختيار البنية الأكثر ملاءمة واقتصادية. **كلمات البحث :** المياه وتحلية المياه والتناضح العكسي، والطاقة و برنامجي الهندسة.

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre 1	3
1.1 Introduction	4
1.2 Sources d'eau	4
1.2.1 Usage mondial de l'eau	5
1.3 Définition de dessalement	5
1.3.1 Les procédés de dessalement	6
1.4 Présentation de l'osmose inverse	10
1.4.1 L'Histoire de l'osmose inverse	10
1.4.2 Principe de fonctionnement de l'osmose inverse	11
1.4.3 Étapes et composants d'une station de dessalement par osmose inverse	11
1.4.4 Modules d'Osiose Inverse	17
1.4.5 Membranes d'osiose inverse	19
1.5 Récupération d'énergie	21
1.5.1 Différents système de récupération de l'énergie	21
1.5.2 Nécessité des systèmes de récupération	24
1.6 Quantité d'énergie nécessaire pour le dessalement	24
1.7 L'impact de dessalement sur l'environnement	24
1.8 Conclusion	25
Chapitre 2	27
2.1 Introduction	27
2.2 Définition de l'énergie renouvelable	27
2.2.1 Les énergies renouvelables dans le monde	28
2.2.2 Les énergies renouvelables dans l'Algérie	29
2.3 Energies renouvelables pour le dessalement	29
2.4 L'énergie éolienne pour le dessalement	30
2.4.1 Définition	30
2.4.2 Les types d'éolienne	30
2.4.3 Principe de fonctionnement d'une éolienne	32
2.5 L'énergie hydraulique pour le dessalement	32
2.5.1 Définition	32
2.5.2 Typologie des turbines hydrauliques	33

2.5.3	Les types des centrales hydrauliques	34
2.5.4	Principe de fonctionnement d'une hydraulique	35
2.6	La biomasse pour le dessalement	35
2.6.1	Définition	35
2.6.2	Les biocombustibles et les biocarburants	36
2.6.3	Le principe de la biomasse	37
2.7	L'énergie géothermique pour le dessalement	37
2.7.1	Définition	37
2.7.2	Les types des centrales géothermiques	38
2.7.3	Principe de fonctionnement	39
2.8	L'énergie solaire pour le dessalement	39
2.8.1	Définition	39
2.8.2	L'énergie solaire dans le monde	40
2.8.3	L'énergie solaire en Algérie	40
2.8.4	Principe physique de l'énergie solaire	41
2.8.5	Types de l'énergie solaire	41
2.8.6	Générateur photovoltaïque (PV)	42
2.8.7	Cellule photovoltaïque	42
2.8.8	Différent type de système photovoltaïque	45
2.8.9	Système de stockage (batteries)	47
2.8.10	Dimensionnement du champ photovoltaïque PV	48
2.8.11	Les avantages de l'énergie solaire	49
2.9	Conclusion	50
Chapitre 3	52
3.1	Introduction	52
3.2	Présentation de l'entreprise	52
3.2.1	Situation géographique de l'entreprise	53
3.2.2	Climat	54
3.3	Diagnostic de la station	54
3.3.1	Objectifs de la station traitement des eaux	54
3.3.2	Les étapes traitement des eaux RO	55
3.3.3	Définition de l'osmose inverse (RO)	57
3.3.4	Opération et maintenance sur le système d'osmose inverse	58
3.3.5	Procédé d'osmose inverse couplé à des panneaux photovoltaïques	60
3.4	Dimensionnement d'une installation photovoltaïque	60

3.4.1	Le logiciel HOMER	60
3.4.2	La position du site	62
3.4.3	La température	62
3.4.4	Irradiance du site étudié	63
3.5	Simulation des composants de système	63
3.5.1	Choix du générateur	63
3.5.2	Choix des PV	63
3.5.3	Choix des convertisseurs	64
3.5.4	Choix des batteries	64
3.5.5	Schéma de conception du système	65
3.5.6	Profil de charge	65
3.6	Résultats de la simulation	66
3.6.1	Étude économique	66
3.6.2	Étude électrique	67
3.6.3	Résultats de la batterie	67
3.6.4	Résultats de convertisseur	68
3.6.5	Résultats des panneaux photovoltaïques	69
3.6.6	Résultats du générateur	70
3.6.7	Répartition des coûts de l'installation	70
3.7	Évaluation environnementale	71
3.8	Étude de l'espace et du coût	71
3.8.1	Etude de l'espace	71
3.8.2	Etude de coût.....	73
3.9	La sécurité environnementale	73
3.10	Conclusion	74
Chapitre 4	76
4.1	Introduction	76
4.2	Partie 1 : étude d'un système osmose inverse	76
4.2.1	Critères de qualité des eaux de puits	76
4.2.2	Détermination des besoins d'eau	78
4.2.3	Choix des Composants Appropriés	78
4.3	Partie 2 Etude de cas : Puits de Tizi	79
4.3.1	Présentation de la zone d'étude	79
4.3.2	Analyse de l'eau de forage du site Tizi	79

4.3.3	Conception et dimensionnement d'un système d'OI par IMS-Design :	80
4.4	Etude de cas : Puits de Es-Senia	92
4.4.1	Présentation de la zone d'étude	92
4.4.2	Analyse de l'eau de puits Es-Senia	95
4.4.3	Simulation par IMSdesign	95
4.4.4	La simulation par Logiciel Homer	95
4.5	Synthèse de l'étude	96
4.6	Conclusion	97
	Conclusion générale.....	98

Liste des abréviations

OI	Osmose inverse.
MED	Distillation à multiple effet
MSF	Distillation multi flash.
HP	Haute pression.
HPB	Hydraulic Pressure Booster.
HTC	Hydraulic Turbo Charger.
DWEER	Dual work exchanger energy recovery.
ERI	Energie Recovery Inc.
ENR	Énergie Renouvelable.
PV	Photovoltaïque.
PV-OI	Photovoltaïque-Osmose inverse.
HOMER	Hybrid Optimization of Multiple Electric Renewables.
PH	Potentiel Hydrogène.
TDS	Total de matière dissoute.
TH	Titre hydrotimétrique.
TA	Titre alcalimétrique simple.
TAC	Titre alcalimétrique complet.

Liste des Figures

Chapitre 1 :

Figure 1: Pourcentage d'eau prélevée par type d'usage.....	5
Figure 2: Les procédés de dessalement.....	6
Figure 3: Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) à 3 étage.	7
Figure 4: Distillation à multiple effet.....	8
Figure 5: La compression de vapeur [Danis, SIDEM].....	9
Figure 6: Schéma De Principe d'une électrodialyse.....	10
Figure 7: Principe de fonctionnement l'osmose inverse.....	11
Figure 8: Schéma simplifié de la filière de dessalement par osmose inverse.....	11
Figure 9: Prétraitement conventionnel.....	13
Figure 10: filtration sur sable bicouche.....	13
Figure 11: filtre à charbon.....	14
Figure 12: filtre à cartouche.....	15
Figure 13: tube membranaires.....	16
Figure 14: la pompe haute pression.....	16
Figure 15: schéma de principe module tubulaire.....	18
Figure 16: Schéma de principe d'un module à fibres creuses.....	18
Figure 17: Module d'osmose inverses plans.....	19
Figure 18: Description d'un module spiralé d'osmose inverse.....	19
Figure 19: récupération de l'énergie du concentrât par turbine Pelton.....	22
Figure 20: turbopompe de récupération de l'énergie du concentrât.....	22
Figure 21: principes du système de récupérations d'énergie Dweer.....	23
Figure 22: principes du système de récupérations d'énergie ERI.....	23

Chapitre 2 :

Figure 23: Différentes énergies renouvelables.....	28
Figure 24: Production mondiale d'énergie en 2021.....	28
Figure 25: Pénétration des énergies renouvelables dans la production nationale en TWh.....	29
Figure 26: Diagramme des différentes sources d'énergies renouvelables pour le dessalement.....	30
Figure 27: Différents types éoliennes à axe verticale.....	31
Figure 28: Différents types éoliennes à axe horizontale.....	31
Figure 29: Principaux organes du système de conversion éolien.....	32
Figure 30: Exemple de barrage.....	33
Figure 31: le principe de fonctionnement d'un système hydraulique.....	35
Figure 32: La centrale Biomasse.....	36
Figure 33: Différents types de biomasse.....	37
Figure 34: Le fonctionnent d'une centrale à biomasse.....	37
Figure 35: la chaleur géothermique.....	38
Figure 36: la géothermie.....	39
Figure 37: Classement des pays leaders mondiaux en énergies solaires pour l'année 2017...	40
Figure 38: solaire thermique.....	42
Figure 39: Composantes de cellule photovoltaïque.....	43
Figure 40: composants d'un générateur photovoltaïque.....	43
Figure 41: types de cellules photovoltaïques.....	44

Figure 42: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.	45
Figure 43: système photovoltaïque autonome.....	45
Figure 44: Système photovoltaïque hybride.....	46
Figure 45: Système photovoltaïque raccordé au réseau.	47
Chapitre 3 :	
Figure 46: les unités de l'entreprise Cofeed.....	53
Figure 47: Localisation géographique de l'entreprise Cofeed	54
Figure 48: Étapes du RO	56
Figure 49: Diagramme de traitement des eaux.....	57
Figure 50: Schéma simple du procédé d'osmose inverse.	58
Figure 51: Schéma d'une centrale solaire photovoltaïque combiné avec une unité d'osmose inverse.	60
Figure 52: Bibliothèque de Homer	61
Figure 53: Mise en place notre site géographique El Ghomri, Mohammadia	62
Figure 54: Température du site étudié.....	62
Figure 55: Irradiance et indice de clarté du site étudié.....	63
Figure 56: Le choix du générateur	63
Figure 57: Déterminer le panneau solaire approprié et ses caractéristiques	64
Figure 58: Propriétés du l'onduleur	64
Figure 59 : Connexion des batteries au système	65
Figure 60: Schéma bloc du système électrique connecte au réseau	65
Figure 61: Données montrant le volume de consommation tout au long de l'année.....	66
Figure 62: Schéma bloc du système électrique connecté au réseau	66
Figure 63: étude de réseau proposé	66
Figure 64: production électrique moyenne mensuelle	67
Figure 65: État de charge moyenne journalière et mensuelle des batteries.	68
Figure 66: Puissances journalières moyennes délivrées par l'onduleur.....	69
Figure 67: Puissances journalières moyennes délivrées par les panneaux photovoltaïques	69
Figure 68: Puissances journalières moyennes délivrées par le générateur photovoltaïque.....	70
Figure 69: les flux de trésorerie.....	71
Figure 70: hangar de l'entreprise Cofeed	72
Figure 71: l'emplacement de hangar	73
Chapitre 4 :	
Figure 72 : Localisation du site de forage Tizi, Wilaya de Mascara.....	79
Figure 73: Étape analysé par IMS-Design	81
Figure 74: L'étape de dimensionnement avant le calcul	82
Figure 75: L'étape de dimensionnement après le calcul	82
Figure 76: Étape de résultat de calcul de consommation énergétique.....	83
Figure 77: Étape de résultat de calcul de coût	83
Figure 78: Étape de post traitement.....	84
Figure 79: Fiche technique de la membrane ESPA2-LD-4040.....	85
Figure 80: Présentation de la configuration « scenario 01 »	87
Figure 81: Présentation de la configuration « scenario 02 » avec deux étages	87
Figure 82: Présentation de la configuration « scenario 03 » avec quatre étages.....	88
Figure 83: Présentation de la configuration « scenario 04 » avec un seul étages	88
Figure 84: Présentation de la configuration « scenario 05 » avec échangeur de pression	89
Figure 85: Les résultats de simulation par IMS pour différents scénarios.....	90

Figure 86: Taux de sels dissous et pH du perméat produit par différents scénarios	90
Figure 87: Le réseau proposé	91
Figure 88: Localisation de puits Es-Senia	92
Figure 89: Étape analyse d'eau par IMS-Design.....	93
Figure 90: Étape de dimensionnement de membrane	93
Figure 91: Étape de résultat de calcul de la puissance	94
Figure 92: résultat de calcul de coût.....	94
Figure 93: la configuration de « scenario » avec deux étages.....	95
Figure 94: Le réseau proposé	96

Liste des tableaux

Chapitre 2 :

Tableau 1: Principaux pays producteurs d'électricité d'origine solaire en 2018	40
Tableau 2: Potentiel solaire en Algérie	41
Tableau 3: Les caractéristiques de type des batteries.....	47

Chapitre 3 :

Tableau 4: Développement de SARL Cofeed	53
Tableau 5: Le tableau ci-dessous représente le changement climatique à la commune Mohamadia, Wilaya de Mascara.....	54
Tableau 6: Analyses physico-chimiques de l'eau brute alimentant la station de traitemen...	55
Tableau 7: Paramètres de l'unité d'osmose inverse du Cofeed.....	58
Tableau 8: Étapes d'utilisation du logiciel HOMER pro	61
Tableau 9: Analyse des résultats du système PV	67
Tableau 10: Paramètres de Fonctionnement de la batterie	68
Tableau 11: Paramètres de Fonctionnement d'onduleur	68
Tableau 12: Paramètres de Fonctionnement du PV.	69
Tableau 13: Caractéristiques du générateur isolé du réseau	70
Tableau 14: Coûts de l'installation	70
Tableau 15: Quantité du gaz polluant émis à Cofeed, Mohammadia	71

Chapitre 4 :

Tableau 16: Analyse physico-chimique de l'eau saumâtre.	80
Tableau 17: Les différentes configurations proposées pour system OI.	85
Tableau 18: Résultats de calcul par IMS-Design.....	89
Tableau 19: Résultats Analyse physico-chimique de l'eau de puits Es-Senia	92
Tableau 20: Résultats de calcul des caractéristiques par IMS-Design.....	95

Introduction générale

La pénurie d'eau est un problème majeur dans de nombreuses régions du monde. Selon les estimations de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), environ 2,2 milliards de personnes dans le monde n'ont pas accès à de l'eau potable salubre et environ 4,2 milliards ne disposent pas de services d'assainissement de base. En 2040, il est estimé 2,5 milliards de personnes souffriront du manque d'eau à cause de l'évolution de la démographie et de l'augmentation des consommations en eau.

La pénurie d'eau est souvent causée par une combinaison de facteurs naturels et humains, tels que le changement climatique, la pollution de l'eau, la croissance de la population, l'urbanisation, la surconsommation d'eau, la mauvaise gestion des ressources en eau et les conflits politiques.

L'Algérie, comme beaucoup d'autres pays de la région MENA (Moyen-Orient et Afrique du Nord) en voie de développement, a lancé un programme national pour mettre en œuvre des stratégies visant à faire face à la pénurie d'eau, en recourant à des ressources non conventionnelles, notamment le dessalement de l'eau de mer et la réutilisation des eaux usées épurées. La méthode la plus importante sur laquelle s'est basé le Ministère des Ressources en Eaux pour mettre fin à cette crise est le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres.

Les énergies renouvelables présentent de nombreux avantages par rapport aux sources d'énergie traditionnelles. Elles sont propres, durables et ont un faible impact environnemental. Les sources d'énergie renouvelables, telles que le solaire, l'éolien et la géothermie, deviennent de plus en plus abordables et fiables. De plus, elles peuvent réduire la pollution de l'air et de l'eau. Elles peuvent également contribuer à réduire la dépendance aux combustibles fossiles, qui sont une cause majeure du changement climatique, et assurer la sécurité énergétique.[1]

Le dessalement de l'eau saumâtre ou de l'eau de mer à l'aide de systèmes alimentés par des sources d'énergie renouvelables offre une solution prometteuse et durable pour résoudre la pénurie d'eau dans de nombreuses régions du monde. En effet, les systèmes de dessalement couplés à l'énergie solaire et éolienne contribuent au développement durable en prenant en compte l'environnement. Différentes technologies de dessalement fonctionnant à l'énergie solaire sont principalement basées sur la capacité du système, le type de source d'énergie et l'eau brute à purifier. Le dessalement utilisant les énergies renouvelables est principalement basé sur le processus d'osmose inverse, des procédés thermiques MSF et MED.

Introduction générale

Notre étude vise à évaluer la faisabilité de produire de l'eau potable par dessalement, en utilisant l'énergie photovoltaïque comme source d'alimentation, tout en recommandant une solution optimale de station d'osmose inverse pour répondre aux besoins spécifiques.

Le manuscrit est structuré autour de quatre chapitres principaux :

Le premier chapitre propose une revue bibliographique sur le dessalement de l'eau. Nous débuterons par une présentation de l'usage mondial de l'eau et des différents procédés de dessalement, puis nous approfondirons la technique de l'osmose inverse et son fonctionnement.

Le deuxième chapitre met en lumière l'importance des ressources en énergies renouvelables. Nous commencerons par discuter des principales sources d'énergies renouvelables et de leur intégration avec les procédés de dessalement. Ensuite, nous détaillerons la nécessité de l'énergie photovoltaïque, son fonctionnement, et son application spécifique dans le contexte du dessalement de l'eau.

Le troisième chapitre présentera une étude de cas d'une station d'osmose inverse alimentée par l'énergie photovoltaïque. Cette station est simulée à l'aide du logiciel Homer, et les résultats de cette simulation seront exposés. Le chapitre inclura également une analyse superficielle de l'installation, ainsi que son coût.

Le quatrième chapitre est dédié à la présentation d'une étude sur une station d'osmose inverse, basée sur des analyses d'eau brute. Nous présenterons ensuite deux études de cas, accompagnées des résultats numériques obtenus à l'aide du logiciel IMSdesign, notamment pour le dimensionnement du système d'osmose inverse et les scénarios proposés pour les stations. De plus, nous examinerons également la possibilité d'alimenter le système en énergie photovoltaïque à l'aide du logiciel Homer. Enfin, nous conclurons ce travail par une conclusion générale.

**Chapitre 1 :
Généralités sur le dessalement**

Chapitre 1 : Généralités sur le dessalement

1.1 Introduction :

Plus de 97,5% de l'eau présente à la surface de la Terre est de nature salée. En raison de la croissance démographique mondiale, le manque d'eau douce va devenir un défi majeur, notamment dans de nombreuses régions arides du monde.

La production d'eau potable par dessalement d'eau de mer est donc une alternative qui permet d'accroître les ressources en eau disponibles, de fournir une solution en cas de sécheresse et de lutter contre les pénuries.

L'objectif de ce chapitre est de décrire les diverses procédés employés dans le domaine du dessalement de l'eau.

1.2 Sources d'eau :

Les sources d'eau naturelles se subdivisent en trois groupes :

Eaux douces de surface :

Leur volume total est très faible : il représente 0,18 millions de km³, soit 0,013 % de l'hydrosphère. Elles sont présentes dans les cours d'eau (ruisseaux, rivières, fleuves) et les lacs. Elles sont très vulnérables à la pollution car elles reçoivent directement les eaux de ruissellement, c'est-à-dire les eaux de pluie ruisselant sur le sol, qui s'infiltrent dans le sol ou dans le sous-sol, ou qui rejoignent un cours d'eau.[2]

Eaux souterraines :

Elles proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Celles-ci s'insinuent par gravité dans les pores, les microfissures et les fissures des roches constituant le sous-sol, humidifiant des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable.

Là, les eaux s'accumulent, remplissant le moindre vide, saturant d'humidité le sous-sol, formant ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé nappe. La roche plus ou moins poreuse et donc plus ou moins perméable contenant cette eau est appelée aquifère.

Eau de mer :

L'eau de mer est l'eau salée des mers et des océans de la Terre. On dit qu'elle est « salée » parce qu'elle contient des substances dissoutes, les sels, constitués d'ions, principalement d'ions halogénures comme l'ion chlorure et des ions alcalins comme l'ion sodium.

1.1.1 Usage mondial de l'eau :

À l'échelle mondiale, environ 4 000 km³ d'eau douce sont prélevés chaque année. Au regard des quantités d'eau douce présents dans les différents réservoirs naturels, la problématique de l'eau ne relève donc pas du volume disponible mais de l'accès local à la ressource, et à une ressource de qualité suffisante.

L'eau prélevée a trois usages : [3]

70% pour l'agriculture, principalement pour produire des aliments. L'agriculture (qui comprend les cultures, l'élevage de bétail et l'aquaculture) sert à nourrir la plupart des humains. La majorité des cultures sont possibles grâce à l'eau, bien que 15% de l'eau utilisée en agriculture serve à l'irrigation.

22% pour l'industrie où l'eau sert principalement au nettoyage et au refroidissement dans le cadre du processus de fabrication. Elle sert de plus en plus fréquemment à refroidir les centrales électriques. La majorité de l'eau utilisée à des fins industrielles (environ 96%) sert au moins une fois, puis est rejetée dans les voies d'eau locales sous forme d'effluents.

8% pour les usages domestiques, qui comprennent l'eau utilisée pour les besoins des ménages et des municipalités ainsi que l'eau consommée par les commerces et les services publics (figure 1) :

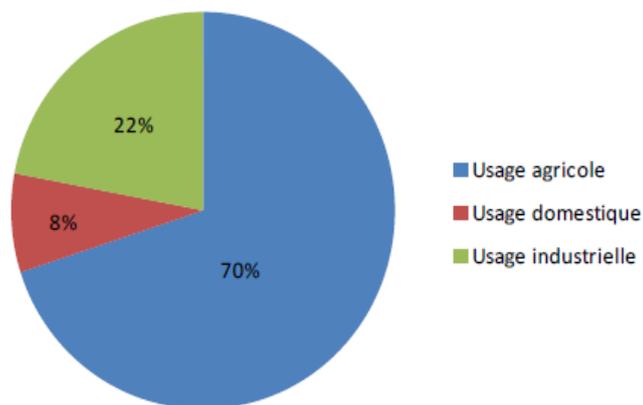


Figure 1: Pourcentage d'eau prélevée par type d'usage

1.2 Définition de dessalement :

Le dessalement s'appelle aussi désalinisation ou plus rarement dessalage. Il consiste à séparer l'eau et les sels à partir d'une eau brute, qui peut être de l'eau de mer ou une eau saumâtre d'origine continentale.

1.3 Les procédés de dessalement :

Les technologies actuelles de dessalement de l'eau, illustrées par la figure(2), sont classées en deux catégories, selon le principe appliqué, on distingue :

- Les procédés membranaires, l'osmose inverse et l'électrodialyse.
- Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phase, la congélation et la distillation.

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet,

Ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement. Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et/ou à l'importance des investissements qu'ils requièrent.[4]

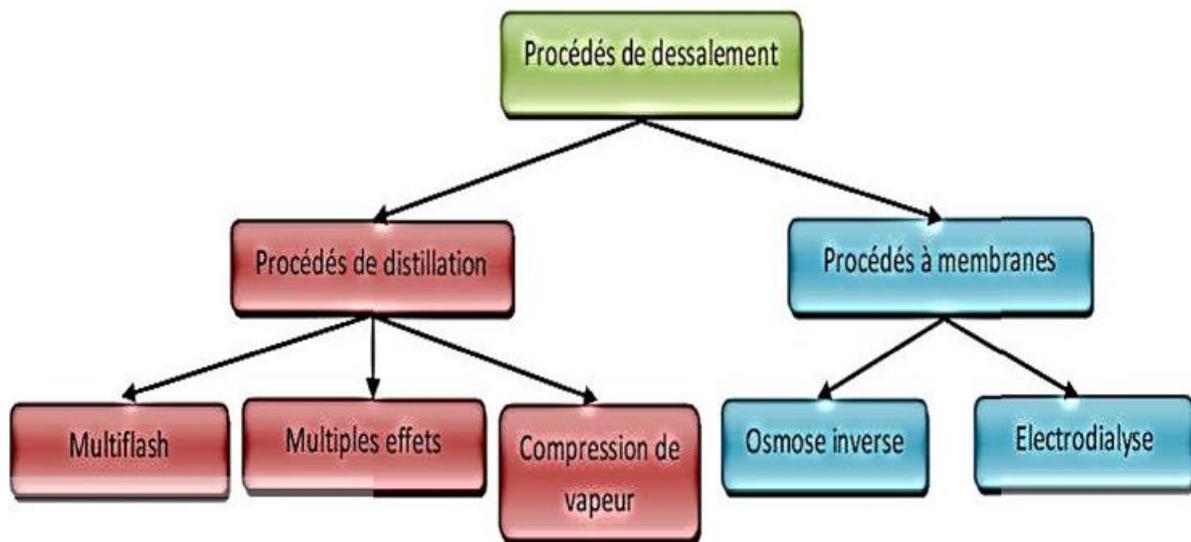


Figure 2: Les procédés de dessalement

1.3.1.1 Les procédés thermique de dessalement (distillations) :

Dans ces procédés, il s'agit de chauffer l'eau de mer pour en vaporiser une partie. La vapeur ainsi produite ne contient pas de sels, il suffit alors de la condenser pour obtenir de l'eau douce liquide, on retrouve le cycle naturel de l'eau. En effet l'eau s'évapore naturellement des océans, la vapeur s'accumule dans les nuages puis l'eau douce retombe sur terre par les précipitations. Ce principe de dessalement très simple a été utilisé dès l'Antiquité pour produire de très faibles quantités d'eau douce sur les bateaux.

L'inconvénient majeur de ce type de procédés de distillation est leur consommation

énergétique importante liée à la chaleur latente de vaporisation de l'eau. En effet pour transformer un kg d'eau liquide en vapeur à la même température, il faut environ 2250 kilojoules (si le changement d'état se fait à 100°C). Afin de réduire la consommation d'énergie des procédés industriels, des procédés multiples effets qui permettent de réutiliser l'énergie libérée lors de la condensation ont été mis au point. Deux procédés se partagent le marché du dessalement thermique, le procédé de distillation à détente étagée (Multi-Stage Flash distillation MSF) et le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effet Distillation MED). [5]

a- Distillation multi flash MSF :

Ce procédé dit « Flash » (figure 3) consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage. Lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°C, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation partielle instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore pour se condenser sur les tubes du condenseur placé en haut de l'enceinte et l'eau liquide est recueillie en dessous des tubes. C'est l'eau de mer chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation. L'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Le phénomène Flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détentes successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle. [6]

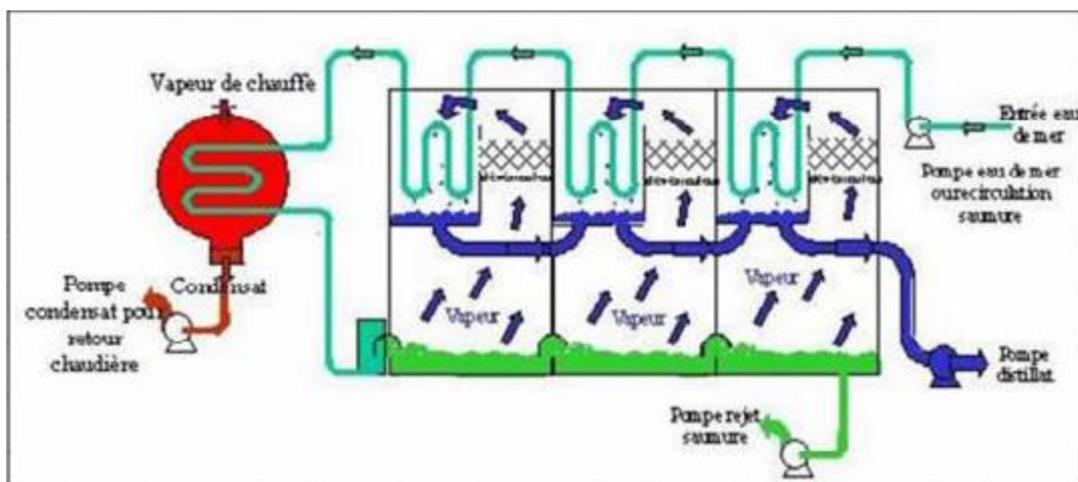


Figure 3: Principe de fonctionnement d'un système par détente successive (MSF) à 3 étages

b- Distillation à multiple effet MED :

La distillation à effets multiples est moins courante car elle ne permet pas de produire de grandes quantités d'eau douce et son installation est délicate et coûteuse. Mais cette technique permet des économies de l'ordre de 15% à 20% par rapport au multi-flash. Le principe simple consiste en une association en série de modules évaporateur/condensateur dont la disposition permet de limiter les pertes thermiques et assurer une grande faisabilité technique. De plus, ce procédé permet d'optimiser la récupération de la chaleur latente de condensation de l'eau. Et la figure 4 le montre ci-dessous :

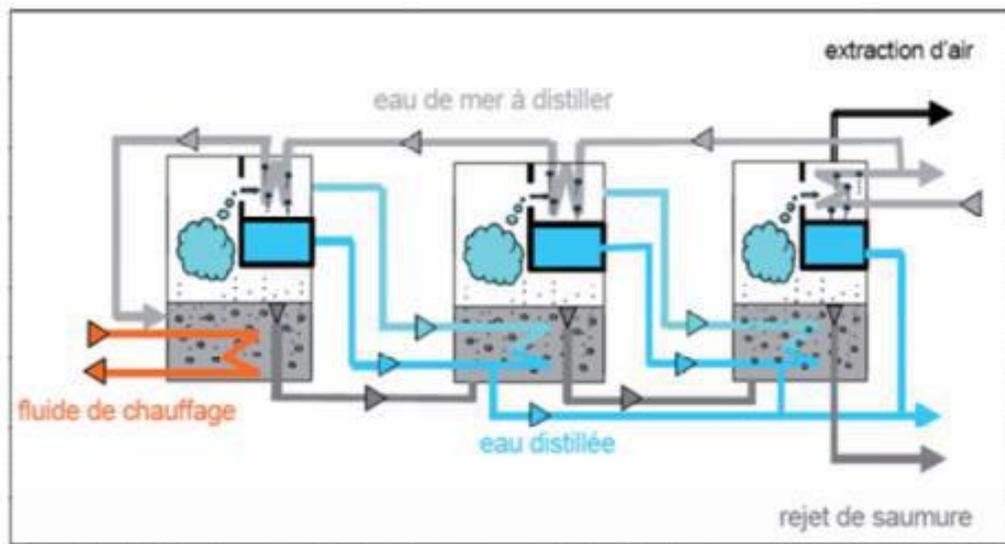


Figure 4: Distillation à multiple effet

c- Distillation par compression de vapeur :

Lors de la distillation par compression de vapeur Figure 5, l'eau de mer est portée à ébullition dans une enceinte thermiquement isolée. La vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense en provoquant l'évaporation de l'eau salée. Ce procédé permet d'obtenir une production maximum 5 000 m³.j⁻¹ avec une salinité de 1 à 50 mg.L⁻¹ pour une consommation énergétique de 12 à 17 kWh.m⁻³ d'eau produite.[7]

Outre leur consommation énergétique élevée, les procédés de distillation présentent plusieurs contraintes techniques.

Tout d'abord, il est nécessaire d'évacuer les gaz incondensables présents dans l'eau de mer qui se sont évaporés lors du processus de distillation. Des prétraitements sont également requis comme une chloration, une filtration par tamisage à 0,5 mm et un traitement antitartre.[8]

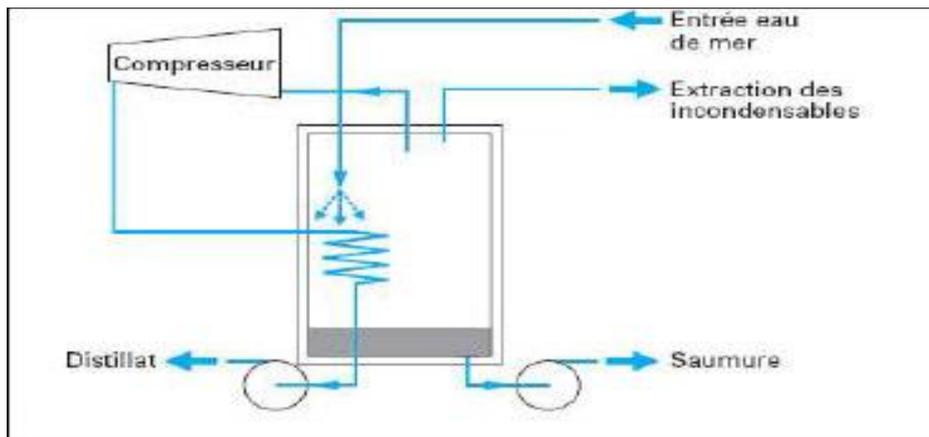


Figure 5: La compression de vapeur [Danis, SIDEM]

1.3.1.2 Les procédés membranaires :

Passage à travers la Membrane : La membrane RO est composée de plusieurs couches de matériaux polymériques enroulées de manière à former une configuration compacte. La haute pression force l'eau à traverser la membrane semi-perméable, tandis que les contaminants (sels, minéraux, bactéries, etc.) sont retenus.

a- L'électrodialyse :

L'électrodialyse est un procédé électro membranaire permettant la concentration et la déminéralisation de solutions contenant des espèces chargées. La force motrice est un gradient de potentiel appliqué entre deux électrodes. Entre ces électrodes, sont placées alternativement des membranes échangeuses d'anions et des membranes échangeuses de cations. Le champ électrique provoque déplacement des ions présents dans l'eau. Ces ions se concentrent dans un compartiment (concentrât) tandis que l'autre est appauvri en sel.

En raison de sa consommation électrique, l'électrodialyse n'est compétitive (face à l'osmose inverse) et donc utilisée que pour le traitement des eaux saumâtres de concentration inférieure à 3 g.L⁻¹. [5]. En fait, l'électrodialyse a été surtout envisagée jusqu'ici pour le dessalement d'eaux saumâtres, dont la salinité n'excède pas 1%, le procédé n'étant pas rentable pour des teneurs en sels supérieures, les membranes étant en effet très sensibles, la moindre impureté en solution ou en suspension peut les endommager. Pour prolonger la vie des membranes, il peut être nécessaire d'effectuer un pré traitement, parfois coûteux. L'électrodialyse n'est pas non plus pratiquée pour traiter les eaux à moins de 0.04% de sels. Malgré ces limitations, plusieurs petites usines de dessalement par électrodialyse sont exploitées dans le monde sur des bases commerciales.[7]

Voici la figure 6 qui montre l'électrodialyse :

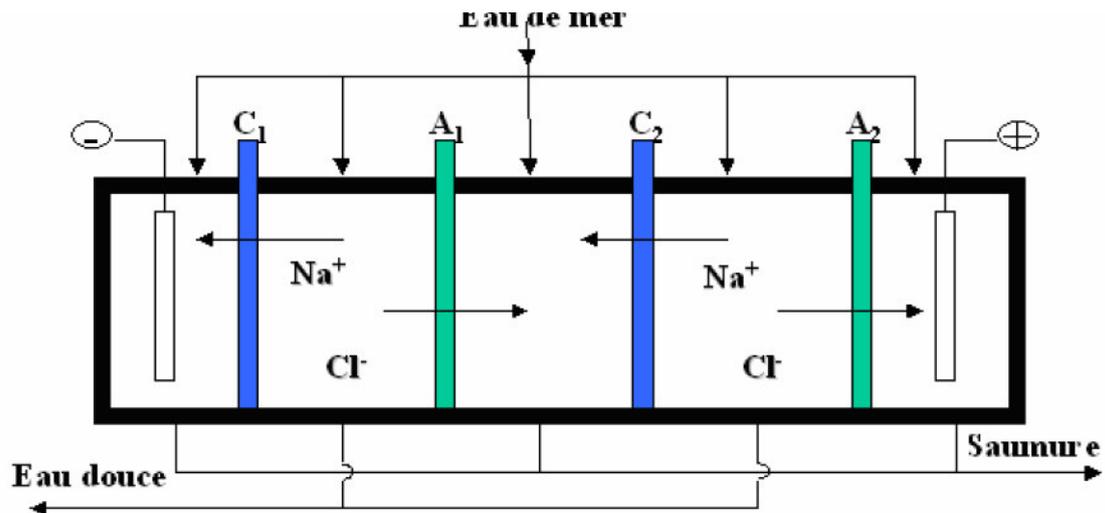


Figure 6: Schéma De Principe d'une électrodialyse

b- L'osmose inverse :

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au Moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10 à 7 mm de taille. L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électrique consommée principalement par les pompes haute pression. La teneur en sels de l'eau osmoses est de l'ordre de 0,5 g/l.[8]

1.4 Présentation de l'osmose inverse :

1.4.1 L'Histoire de l'osmose inverse :

Au XVII^{ème} siècle déjà, Jean Antoine Nollet, un physicien français, a remarqué qu'une membrane constituée d'une vessie de porc laissait passer l'eau douce et retenait l'alcool: c'est l'osmose.

Deux siècles plus tard, Jacobus Henricus Van't Hoff, grand chimiste et physicien hollandais, trouve une autre technique: il plonge un vase poreux qui contient une solution de sulfate de cuivre dans une solution de ferricyanure de potassium. Les liquides, se rencontrent dans les pores du vase, donnent un précipité gélatineux de ferricyanure de cuivre, formant ainsi une paroi semi-perméable. Plus tard, d'autres chercheurs approfondirent le travail de Van't Hoff.[8]

1.4.2 Principe de fonctionnement de l'osmose inverse :

OI est un système de purification de l'eau par passage sous pression à travers une membrane semi-perméable qui à la propriété de retenir la quasi-totalité des sels dissous. (Figure 7).

A partir d'une quantité d'eau de mer à traiter, on obtient environ 40 à 45% d'eau dessalé à travers la membrane tandis que l'autre partie qui contient de l'eau de mer concentrée en sels doit être rejetée. [9]

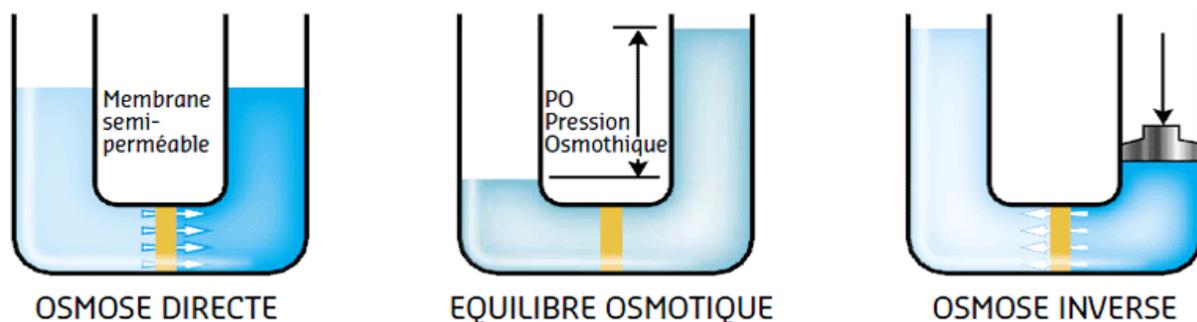


Figure 7: Principe de fonctionnement l'osmose inverse.

1.4.3 Étapes et composants d'une station de dessalement par osmose inverse :

Présente un schéma simplifiée de la filière de dessalement par osmose inverse depuis l'eau de mer jusqu'à l'eau potable (figure 8) :

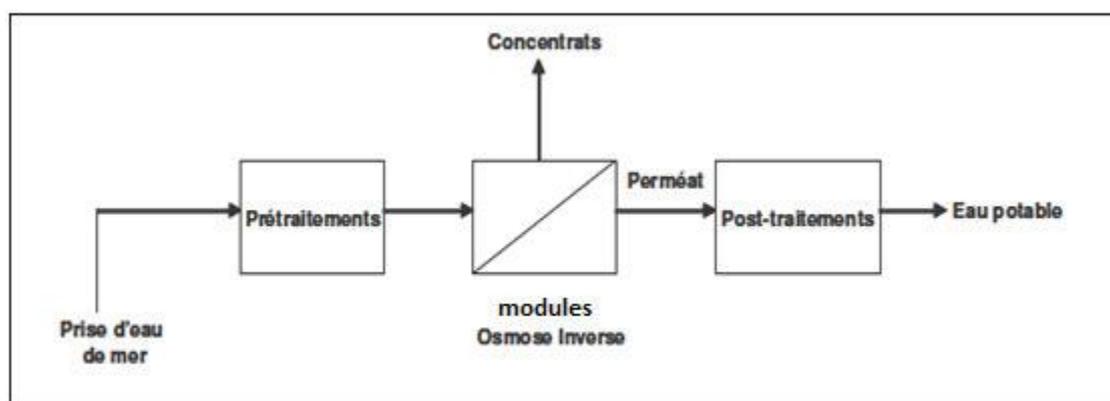


Figure 8: Schéma simplifié de la filière de dessalement par osmose inverse

Prise d'eau de mer :

La prise d'eau de mer doit permettre d'obtenir à l'entrée de l'usine de dessalement

une eau de la meilleure qualité possible, en particulier du point de vue matières en suspension. Dans ce cadre, deux technologies peuvent être utilisées : les forages côtiers et les prises d'eau de surface qui vont dépendre de la localisation géographique de l'usine.[6]

Le pompage, le stockage et le tamisage :

Le pompage : la potabilisation de l'eau débute par le pompage depuis son milieu naturel vers la station de traitement, souvent aidé par des pompes ou une vis d'Archimède en cas de terrain difficile. La disposition successive ou simultanée des différentes grilles dépend des propriétés de l'eau à traiter. [6]

Le stockage : après le processus de dégrillage, l'eau est dirigée vers un bassin de stockage de grande capacité pour anticiper les risques de pollution ou les pics de consommation. Ce réservoir bénéficie souvent d'une autoépuration naturelle grâce à l'action du soleil ainsi que de la présence de la faune et de la flore locales. Avant cela, l'eau pompée subit généralement un traitement de pré-désinfection au chlore ou à l'ozone pour réduire la présence de bactéries. [6]

Le tamisage : l'eau subit ensuite un processus d'épuration à l'aide d'un tamis rotatif dont les mailles sont espacées entre 6 et 0,5 mm. Ce tamis fonctionne en réduisant la vitesse du flux par une boîte d'alimentation, puis l'eau passe sous une lame siphonoïde pour éliminer les turbulences avant d'entrer en contact avec le tamis.[6]

1.4.3.1 Le prétraitement :

Destiné à optimiser les performances et la durée de vie des membranes d'osmose inverse, le prétraitement est une étape clé dans la conception des installations de dessalement. Les eaux de mer brutes peuvent connaître une forte variation de leur composition (matières organiques, algues) en fonction de paramètres géographiques, saisonniers (température, luminosité), ou encore de la pollution locale (par exemple, aux hydrocarbures). La qualité des eaux saumâtres peut également varier, mais dans une moindre mesure.

Afin de limiter la vitesse d'encrassement et le colmatage des membranes d'osmose inverse, la chaîne de prétraitement doit être adaptée aux caractéristiques de l'eau brute afin de réduire de façon significative :

- La turbidité et la quantité de matières en suspension (MES) : la turbidité doit être en effet inférieure à 0,1.
- L'indice de colmatage (SDI) : la valeur cible moyenne de l'indice de colmatage doit être inférieure à 3 en amont des membranes. Diminuer l'indice de colmatage entraîne l'élimination d'algues, de planctons, de micro-organismes et de composants organiques. [10]

Il y a deux types de filières de prétraitement : conventionnelle et à membrane :

- **Prétraitement conventionnel** : la filière de prétraitement conventionnel dans une usine de dessalement de l'eau de mer comporte généralement les étapes suivantes :

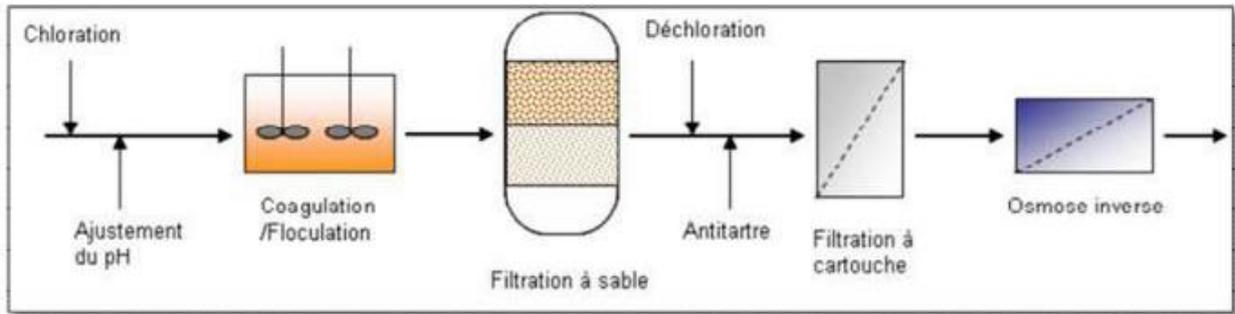


Figure 9: Prétraitement conventionnel. (7)

a- Filtration sur sable mono- ou bicouche : la filtration sur sable est nécessaire pour éliminer les agglomérats produits lors de la coagulation.

Le filtre monocouche est constitué par une hauteur de sable de granulométrie comprise entre 0,4 et 1 mm sur une hauteur de 1 m.

Le filtre bicouche est constitué par une couche de 0,7 m de sable surmontée d'une couche de 0,3 m d'anthracite .[11]

La figure 10 représente le filtre à sable :



Figure 10: filtration sur sable bicouche

b- Décoloration et antitartre : compte tenu de la grande sensibilité des membranes d'osmose inverse en polyamide, membranes les plus utilisées actuellement, il est

indispensable d'assurer une décoloration de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre avant son entrée dans les modules. Cette décoloration est effectuée :

Soit par ajouts de réactifs chimiques.

Soit par passage sur charbon actif (poudre ou grains) : des précautions sont nécessaires pour éviter le colmatage des modules d'OI par des fines de carbone.

La méthode la plus utilisée pour éviter les tartres (CaCO_3 , CaSO_4 , $2\text{H}_2\text{O}$...) dans les modules d'osmose inverse consiste à injecter dans l'eau brute des inhibiteurs d'entartrage ou antitartres.[11]

La figure 11 représente le filtre à charbon :



Figure 11: filtre à charbon

c- Filtration sur cartouche : la dernière étape du prétraitement conventionnel est la filtration sur cartouche avec une taille de maille de 5 à 10 μm pour protéger les membranes d'osmose inverse. Le choix du prétraitement conventionnel doit donc être adapté selon la qualité de l'eau de mer brute pour assurer la meilleure qualité de l'eau possible en amont des membranes d'osmose inverse .[12]

La figure 12 représente le filtre à cartouche :



Figure 12: filtre à cartouche

- **Prétraitement par les procédés membranaires** : on a un passage à travers la Membrane sachant que la membrane RO est composée de plusieurs couches de matériaux polymériques enroulées de manière à former une configuration compacte. La haute pression force l'eau à traverser la membrane semi-perméable, tandis que les contaminants (sels, minéraux, bactéries, etc.) sont retenus. Les avantages majeurs des procédés membranaires sont les suivants:

- Flux de l'osmose inverse significativement élevé.
- Plus faible consommation de produit chimique.
- Augmentation de la durée de vie des membranes d'osmose inverse.
- Capacité de fonctionnement à une qualité de l'eau d'alimentation variée.
- Désinfection et nettoyage de l'osmose inverse moins nécessaire.[13]

Voici ci-dessous Figure 13 les tubes membranaires :



Figure 13: tube membranaires

1.4.3.2 Le pompage haut pression :

Avant l'entrée dans les membranes d'O.I, l'eau prétraitée arrive au système de pompage de haute pression généralement entre 55 et 85 bars, en fonction de la température et de la salinité. [14]

Ci-dessous la figure 14 du pompage :



Figure 14: la pompe haute pression

1.4.3.3 Récupération d'énergie :

Grâce au système de récupération d'énergie, il est possible de réutiliser l'énergie du concentrât. Le concentrât est dirigé vers le système de récupération d'énergie, où il transmet directement son énergie à une partie de l'eau d'alimentation.

1.4.4 Modules d'Osmose Inverse :

Sont des minces parois permettant une séparation sélective d'espèces chimiques, ioniques, moléculaires ou biologiques : un « nano filtre ».

Actuellement quatre types de modules sont commercialisés :

- c- Modules tubulaire
- d- Modules fibre creuses
- e- Modules plans
- f- Modules spirales

Plusieurs critères sont à prendre en compte pour le choix d'un type de module :

- Régime d'écoulement permettant de minimiser les phénomènes de polarisation (écoulement laminaire ou turbulent)
- compacité qui est exprimée par le rapport de la surface filtrante ou volume de l'appareil
- facilité de démontage et de remplacement des membranes défectueuses
- volume mort de l'appareil (exprimé en l/m²)
- adaptation au produit à traiter (nécessité ou non de pré filtration).[15]

Modules tubulaires : ce type de module est constitué de tubes métalliques ou plastiques sur lesquels est fixée la membrane semi-perméable. Le diamètre du tube est compris entre 7 et 25 mm et le plus souvent de 12.5 mm (1/2 inch). En générale l'eau de mer sous pression circule à l'intérieur de tube et l'eau douce produit est récupérée à l'extérieur du tube .le tube est soit poreux soit perforé de trous pour permettre l'évacuation (Figure 15). [8]

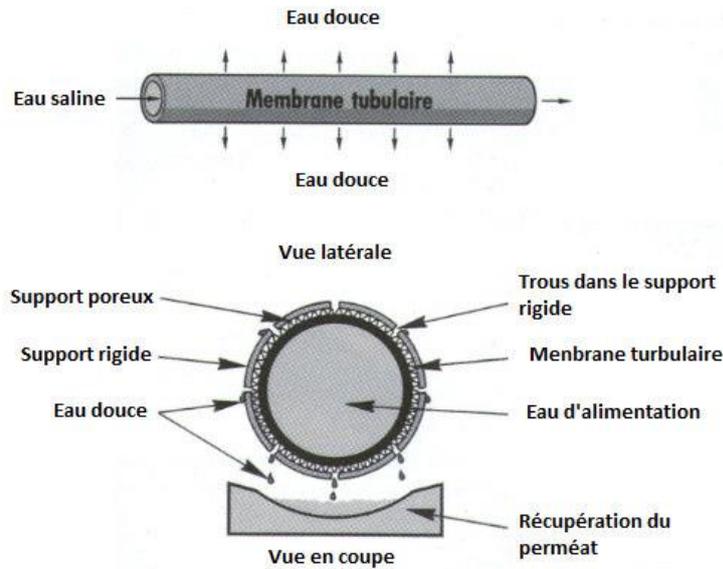


Figure 15: schéma de principe module tubulaire

Modules fibres creuses : les modules fibres creuses peuvent être considérés comme des modules tubulaires composés de tube de petit diamètre compris entre quelques millimètres et quelques dizaines de microns. Les fibres creuses jouent à la fois de rôle de membrane et de support (Figure 16). [15]

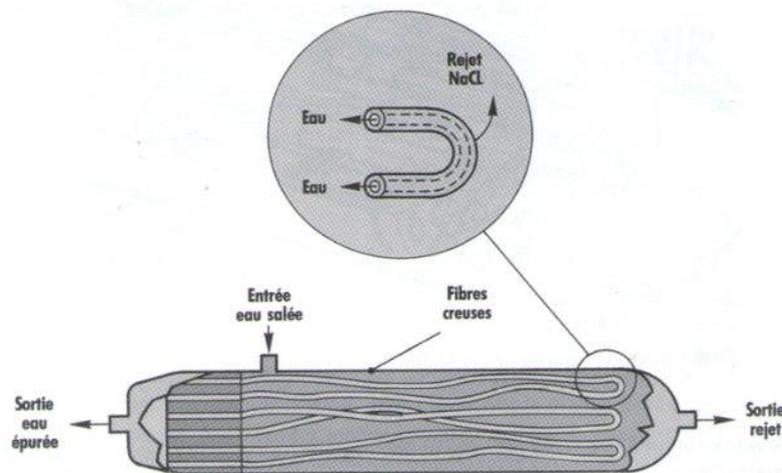


Figure 16: Schéma de principe d'un module à fibres creuses

Module plan : ce type de module qui est le plus simple, est aussi le plus ancien car sa technologie a été calqué directement sur celle des filtres presses. Il peut se présenter soit sous forme de plaques unitaire, soit de cartouches. Un des paramètres importants est la distance entre membranes (Figure 17) :

- Faible épaisseur : nécessité de pré filtration et difficulté de nettoyage.

- Forte épaisseur : volume mort important et énergie de pompage élevé.[15]

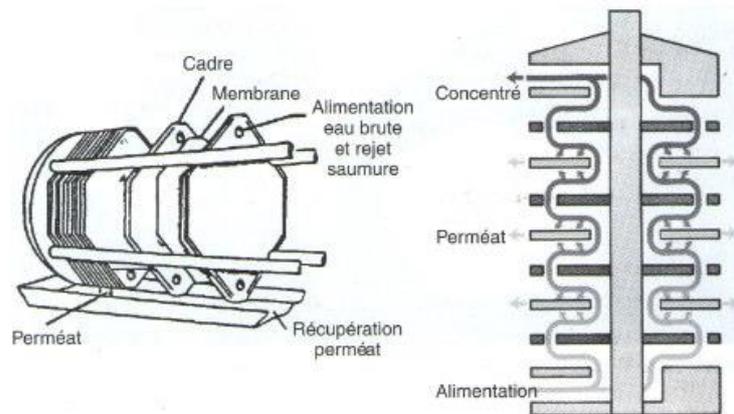


Figure 17: Module d'osmose inverse plans

Les modules spiralés : les membranes planes sont enroulées en spirale autour d'un tube creux et perforé destiné à collecter le perméat. Entre les membranes est placé un grillage plastique de 0,8 à 1,2 mm d'épaisseur, qui a pour but de créer une turbulence dans la circulation du fluide. On obtient ainsi un cylindre multicouche où le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux (Figure 18) . [11]

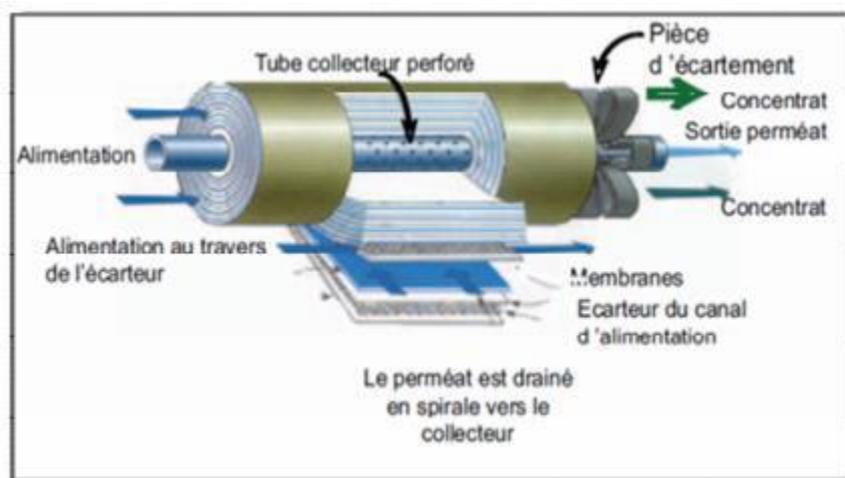


Figure 18: Description d'un module spiralé d'osmose inverse

1.4.5 Membranes d'osmose inverse :

1.4.5.1 Présentation des membranes : une membrane est une mince couche de matière permettant d'effectuer une séparation solide-liquide sélective à l'échelle microscopique lorsqu'elle est soumise à une force motrice. Cette force peut être générée par un gradient de

pression, de concentration ou de potentiel électrique, de part et d'autre de la membrane.[16]

1.4.5.2 Types de membranes d'osmose inverse :

Parmi les membranes d'osmose inverse utilisées, on peut citer

- Membranes organiques :

Les premières membranes organiques ont été réalisées à partir de dérivés cellulosiques et de polyamides aromatiques. Leur méthode de fabrication est basée sur un mélange de polymère et de solvant. Les membranes organiques sont assez sensibles au pH acide et aux fortes températures.

- Membranes minérales ou inorganiques :

Ces membranes sont composées de corps entièrement minéraux, principalement les matières céramiques, le métal fritté et le verre. Leur arrivée a permis de travailler dans des conditions extrêmes de température et d'agression chimique, ce qui a ouvert de nouvelles voies dans la séparation par membrane.[17]

- Membranes composites :

Elles sont caractérisées par une structure asymétrique dont la peau est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique. Elles peuvent être organiques (superposition de polymères organiques différents), organo-minérales ou minérales (association de carbone ou d'alumine comme support et de métaux tels la zircone, l'alumine et le titane) .[18]

- Membranes échangeuses d'ions :

Ces membranes peuvent être denses ou poreuses. Les parois des pores sont chargées d'ions positifs ou négatifs. Les membranes chargées positivement favorisent le passage de cations, celles chargées négativement favorisent le passage d'anions. Donc la séparation avec des membranes chargées est basée principalement sur la répulsion d'ions de même charge, mais aussi par la taille des pores. La séparation est contrôlée par la charge et la concentration des ions.[19]

1.4.5.3 Les caractéristiques des membranes : les membranes sont caractérisées par :

Qualités de stabilité chimique (pH, oxydants, dichorée ...), stabilité thermique (important facteur pour les utilisations biologiques où il y a stérilisation en autoclave), de stabilité microbiologique :(Dégradation bactérienne pour les membranes en acétate de cellulose) de résistance mécanique

- **Durée de vie des membranes :** il est très difficile de déterminer exactement la durée de vie des membranes d'osmose inverse. En effet, la durée de vie dépend de la nature de la

membrane mais aussi de ses conditions d'utilisation, notamment :

- La Pression de fonctionnement.
- La Température de l'eau.
- Le pH de l'eau.
- La qualité du prétraitement.

Enfin, la notion même de la durée de vie d'une membrane n'est pas très nette. Les performances d'une membrane d'osmose inverse évoluent lentement au cours du temps et en général on change les membranes lorsque la qualité du perméat dépasse un certain seuil. Mais pour différentes raisons, l'exploitant peut très bien augmenter la durée de vie des membranes en faisant fonctionner l'installation au-delà de ce seuil une enquête effectuée en Arabie Saoudite en 2000 a mis en évidence les principales causes de baisse des performances des membranes :

- Dégradation d'origine mécanique.
- Dégradation d'origine chimique (oxydation ou hydrolyse).
- Colmatage

Les différents types de dépôts qui sont à l'origine du colmatage sont les suivant :

- Biofouling 33.5%.
- Colloïdes inorganiques13.8%.
- Composés organiques11.4%.
- Silicites/silicates10.0%.
- Dépôts minéraux (hors silice).....5%.
- Coagulants.....4%.

La durée de vie des membranes, qui était, il y a quelque année, 2 à 3 ans, est actuellement supérieure à 5 ans : ce qui traduit par un taux de renouvellement compris entre 10 et 20 % par an .[15]

1.5 Récupération d'énergie :

1.5.1 Différents système de récupération de l'énergie :

Système par turbine :

- a- Les turbines Pelton :** Les turbines Pelton sont utilisées depuis très longtemps pour la production d'énergie électrique sur les sites de montagne caractérisées par de faibles débits et de grands dénivelés. Dans la turbine Pelton, toute l'énergie potentielle est transformée en énergie cinétique. Des petites turbines Pelton de quelques kilowatts de puissance ont été testées par le CEA dans les années 1980 sur des unités d'osmose

inverse alimentées en énergie soit par des aérogénérateurs, soit par des photopiles.

Ces machines présentent quelques inconvénients :

- Corrosion des aubes due à la vitesse élevée du jet (environ 100 m/s),
- Centrage du jet difficile à maintenir. [15]

Cela est montré sur la figure 19 :

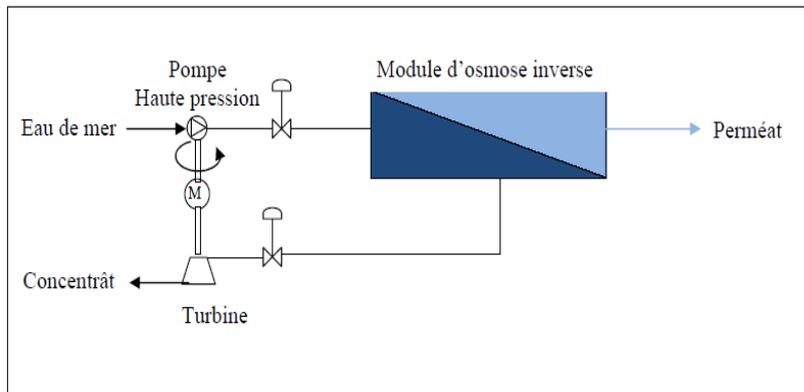


Figure 19: récupération de l'énergie du concentrât par turbine Pelton.

b- Les turbopompes intégrées : le principe de ces machines est de récupérer l'énergie de la saumure dans une turbine hydraulique montrée sur le même arbre que la pompe haute pression. Une telle turbopompe intégrée a été réalisée par la société française Guinard d'Annecy et a été mise en service dès 1981 sur une unité de dessalement d'eau de mer de 20 000 m³/jour sur l'île de Malte. Des systèmes analogues, mais plus performants, sont commercialisés :

Système HPB (Hydraulic Pressure Booster) de la société Fedco1 (Fluid Equipment Development Company).

Système HTC (Hydraulic Turbo Charger) de la société PEI2 (Pump Engineering).[15]

La figure 20 qui le représente :

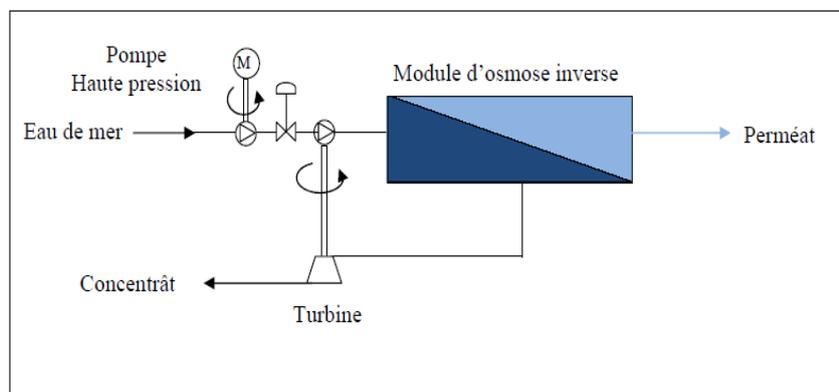


Figure 20: turbopompe de récupération de l'énergie du concentrât

Les systèmes dits « échangeur de pression » :

- a- **System DWEER (dual work exchanger energy recovery):** ce système a été mis sur le marché dès 1990 par la société DweerTechnologyLtd et, est actuellement fabriqué et commercialisé par la société suisse Calder. Les avantages du système, dont le principe est par la figure 21, sont les suivants :

Rendement de l'ordre de 95%.

Débit de pompe HP égal au débit de perméat.

Rendement indépendant du débit et de la pression.

Voici la figure 21 :

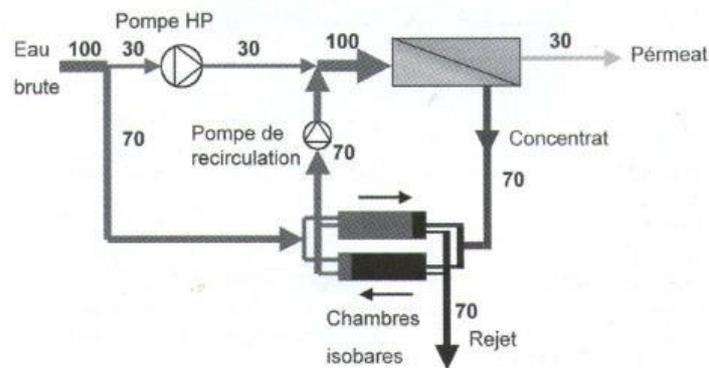


Figure 21: principes du système de récupérations d'énergie Dweer

- b- **Système ERI (Energie Recovery Inc) :** cet échangeur de pression (Figure 22) qui est constitué d'un cylindre tournant en céramique percé de trous, fonctionne suivant le principe d'un pistolet à b rillets. La vitesse de rotation est de 1500 tr/min.[8]

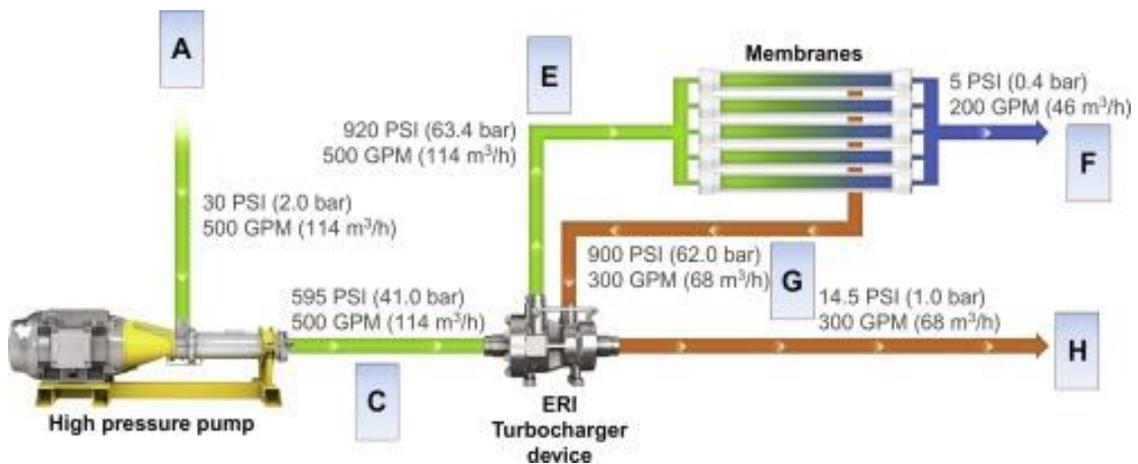


Figure 22: principes du système de récupérations d'énergie ERI

1.5.2 Nécessité des systèmes de récupération :

Les efforts des chercheurs concentrent sur la réduction de coût de l'eau produite qu'il situant entre 2 à 3 €/m³ pour les grandes installations, développer et améliorer des membranes permettre de produire une meilleure qualité de l'eau avec des pressions de fonctionnement plus faible, mais le plus important souci est de récupérer l'énergie perdue par le rejet de saumure. [20]

L'implantation de système de récupération dans les stations de dessalement par procédé d'osmose inverse, a stimulé la croissance de l'utilisation de la technologie d'osmose inverse à travers le monde entier. [21]

Par conséquent, l'énergie de consommation dans les stations de dessalement par osmose inverse sans système de récupération varie de 5.5 à 8 kWh/m³, par contre les procédés avec installation de système de récupération l'énergie varie entre 3-5 kWh/m³. [22]

1.6 Quantité d'énergie nécessaire pour le dessalement :

Théoriquement, la quantité d'énergie minimale nécessaire pour produire un mètre cube d'eau douce est de 0.65 KW par heure, quel que soit le procédé de dessalement utilisé. L'estimation de cette quantité est basée sur les lois de la thermodynamique et repose en outre sur les hypothèses suivantes

- Les températures initiales et finales sont identiques.
- La salinité de l'eau de mer, de laquelle, on extrait l'eau douce demeure constante.

Lorsque l'on extrait de l'eau douce d'un volume fini d'eau de mer, la salinité de cette dernière varie. On constate alors que la quantité d'énergie requise varie avec le taux de production.[6]

1.7 L'impact de dessalement sur l'environnement :

Le dessalement, bien qu'efficace pour produire de l'eau douce à partir d'eau de mer, a plusieurs impacts environnementaux significatifs, notamment la consommation énergétique élevée, la production de saumures concentrées polluantes, les perturbations des écosystèmes marins et côtiers, ainsi que l'utilisation de produits chimiques potentiellement toxiques. Des mesures d'atténuation telles que l'optimisation énergétique, la gestion améliorée des saumures et des produits chimiques, ainsi que la conception écologique des prises d'eau, sont nécessaires pour réduire ces impacts et assurer la durabilité à long terme du dessalement.

1.8 Conclusion :

Toutes les techniques de dessalement sont très intéressantes au vu de leurs performances et de leur rentabilité.

Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse est à l'heure actuelle un procédé majeur pour la production d'eau potable dans les pays souffrant d'une pénurie d'eau douce.

L'objectif principal de cette technique est l'élimination des sels, des matières organiques et des microorganismes présents dans l'eau de mer.

Chapitre 2 :
Sources d'énergies renouvelables
pour le dessalement

Chapitre 2 : Sources d'énergies renouvelables pour le dessalement

1.9 Introduction :

Actuellement, les systèmes de dessalement sont alimentés par des sources d'énergies renouvelables comme le solaire thermique, le solaire photovoltaïque, la biomasse, l'éolien et la géothermie. Les technologies éprouvées, de plus en plus maîtrisées et économiquement prometteuses sont utilisées pour exploiter ces sources renouvelables dans les régions isolées, où la connexion au réseau électrique public n'est pas rentable ou irréalisable et où la pénurie d'eau est grave. Dans ce chapitre, nous nous concentrerons sur les principales sources d'énergies renouvelables et examinerons leur réelle capacité à être une solution alternative pour répondre aux besoins de la société.

2.2 Définition de l'énergie renouvelable :

Les énergies renouvelables, (Figure 23) également appelées « énergies vertes », sont des sources d'énergie qui se renouvèlent naturellement à une vitesse suffisante pour être considérées comme inépuisables et réutilisables. Elles proviennent des éléments naturels tels que le soleil, le vent et les plantes. Les déversements d'eau, la température de la terre, la croissance des plantes. Leur exploitation a un impact environnemental minime, ce qui en fait un élément essentiel des stratégies de responsabilité sociale des entreprises en matière de développement durable. Il s'agit des forces de l'avenir. Il y a cinq catégories principales d'énergies renouvelables.[23]

- L'énergie éolienne
- L'énergie hydraulique
- La biomasse
- L'énergie géothermique
- Energie solaire



Figure 23: Différentes énergies renouvelables.[24]

2.2.1 Les énergies renouvelables dans le monde :

Selon le rapport annuel des statistiques de capacité renouvelable 2020 de l'IRENA, les énergies renouvelables ont connu une augmentation de 7,6 % l'année dernière. Cette croissance a été principalement enregistrée en Asie, avec 54 % des nouvelles installations réalisées. En 2019, les énergies solaires et éoliennes représentaient 90 % de la capacité totale de renouvelables.[25]

Il est essentiel d'investir dans les énergies renouvelables, notamment l'énergie éolienne et solaire, car elles permettront de répondre aux besoins mondiaux sans recourir aux énergies fossiles (Figure 24).

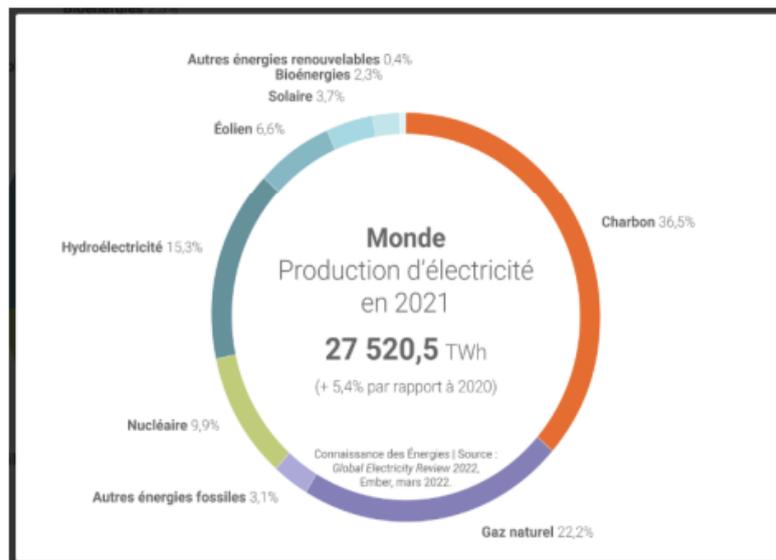


Figure 24: Production mondiale d'énergie en 2021.[25]

2.2.2 Les énergies renouvelables dans l'Algérie :

En raison de la grande richesse naturelle de notre pays, l'Algérie est l'un des pays les plus intéressés pour que les spécialistes de l'énergie jouent un rôle essentiel dans le domaine des énergies renouvelables.

Selon la figure, d'ici 2030, la production d'électricité sera principalement basée sur l'énergie solaire et éolienne, avec environ 40% de la production d'électricité destinée à la consommation nationale provenant de sources renouvelables. Cependant, pour atteindre cet objectif dans la réalité, il est nécessaire de renforcer les efforts et de mettre en place des projets novateurs. Malgré son coût élevé, cet investissement contribue au développement du pays au fil du temps, d'autant plus que l'Algérie, dans les circonstances actuelles, perd une grande part de ses énergies fossiles.

La figure 25 représente la production nationale :

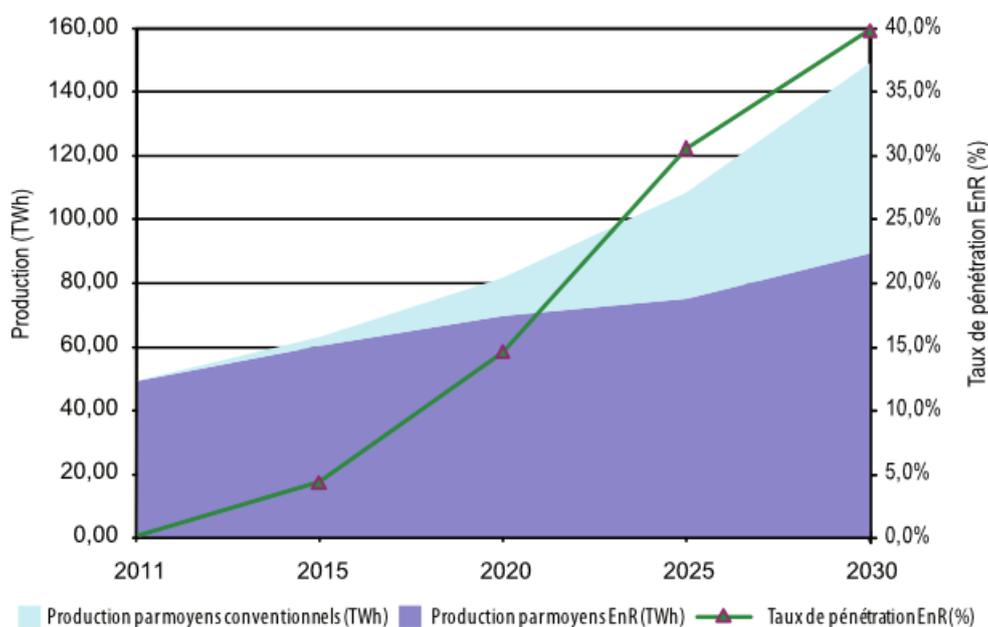


Figure 25: Pénétration des énergies renouvelables dans la production nationale en TWh.[26]

2.3 Energies renouvelables pour le dessalement :

Malgré l'utilisation la plus fréquente de la ressource solaire comme source d'énergie renouvelable pour alimenter les procédés de dessalement, elle n'est pas la seule. La source de chaleur solaire est idéale pour les méthodes thermiques telles que la distillation. Toutefois, la majorité des processus membranaires requièrent de l'énergie sous d'autres manières. Il est possible d'alimenter ces derniers à l'aide d'énergie électrique, thermique ou directement

mécanique, ce qui offre une variété de possibilités en ce qui concerne la ressource utilisée. Les différentes méthodes de dessalement et les sources d'énergie renouvelable qu'elles peuvent utiliser sont illustrées dans la Figure 26. Il est possible d'alimenter les procédés thermiques de distillation en chaleur grâce à la source solaire ou géothermique. L'osmose inverse et la compression mécanique de vapeur ont la particularité de pouvoir être alimentées par toutes les sources d'énergie renouvelable présentées. Cependant, si une ressource thermique ou électrique (PV) est exploitée, elle doit être convertie en énergie mécanique ou hydraulique via un cycle thermodynamique moteur (ORC) ou une pompe électrique.

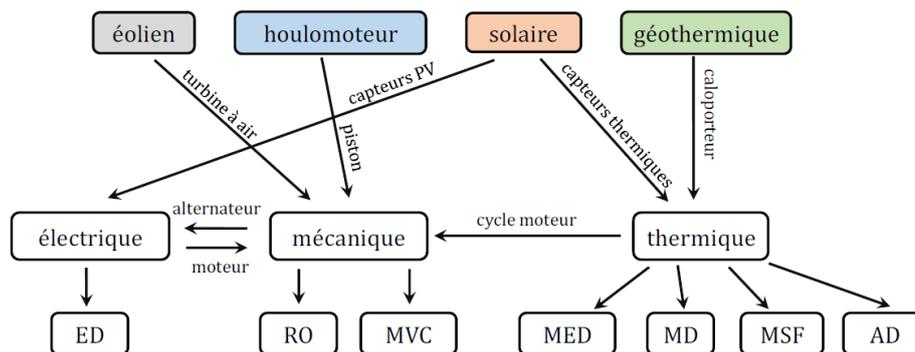


Figure 26: Diagramme des différentes sources d'énergies renouvelables pour le dessalement

2.4 L'énergie éolienne pour le dessalement :

2.4.1 Définition : L'énergie éolienne est considérée comme l'une des sources d'énergie renouvelable les plus importantes et les plus prometteuses à travers le monde en matière de développement, car elle est non polluante par rapport aux autres sources d'énergie traditionnelles. Elle est produite par le mouvement de l'air grâce à des turbines, ce qui permet de produire de l'électricité.

Le couplage de l'énergie éolienne et du dessalement permet de satisfaire les besoins en eau tout en diminuant l'impact environnemental. Les installations utilisent l'énergie cinétique du vent pour convertir l'eau de mer en eau potable de manière respectueuse de l'environnement, ce qui permet de diminuer les émissions de gaz à effet de serre et la dépendance aux combustibles fossiles.

2.4.2 Les types d'éolienne :

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles, celles à axe vertical et celles à axe horizontal :

Eoliennes à axe verticale: (figure 27) L'utilisation d'éoliennes à axe vertical a suscité de nombreuses études. Elles offrent l'avantage de ne pas avoir besoin d'un système d'orientation

des pales et de disposer d'une partie mécanique (multiplicateur et génératrice) située au sol, ce qui facilite les interventions de maintenance. Cependant, il est nécessaire d'entraîner certaines de ces éoliennes au démarrage, ce qui entraîne des contraintes mécaniques intenses sur le mat souvent très lourd. [27]

Bien qu'il y ait eu quelques projets industriels majeurs, les éoliennes à axe vertical demeurent peu courantes et peu utilisées. En effet, la proximité du capteur d'énergie avec le sol expose le capteur aux turbulences et au gradient de vent, ce qui diminue son efficacité.

Eolienne à axe horizontale: (figure 28) En ce moment, la technologie la plus couramment employée pour capturer l'énergie éolienne est celle utilisant ce type d'éolienne, qui est la plus efficace en raison de son faible volume (elle est composée de plusieurs pales profilées de manière aérodynamique, comme les ailes d'avion) [27]. Ce genre d'éolienne a été préféré par rapport à celles à axe vertical car elles ont un coût moins élevé.

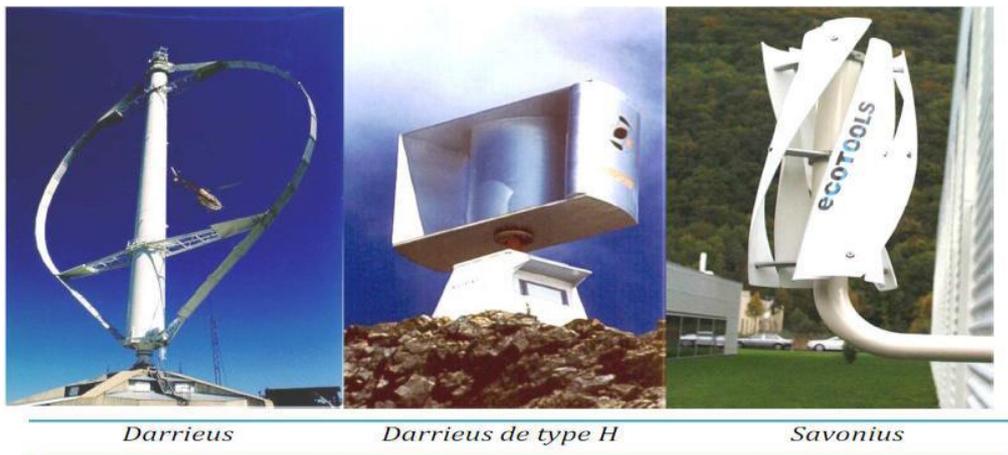


Figure 27: Différents types éoliennes à axe verticale

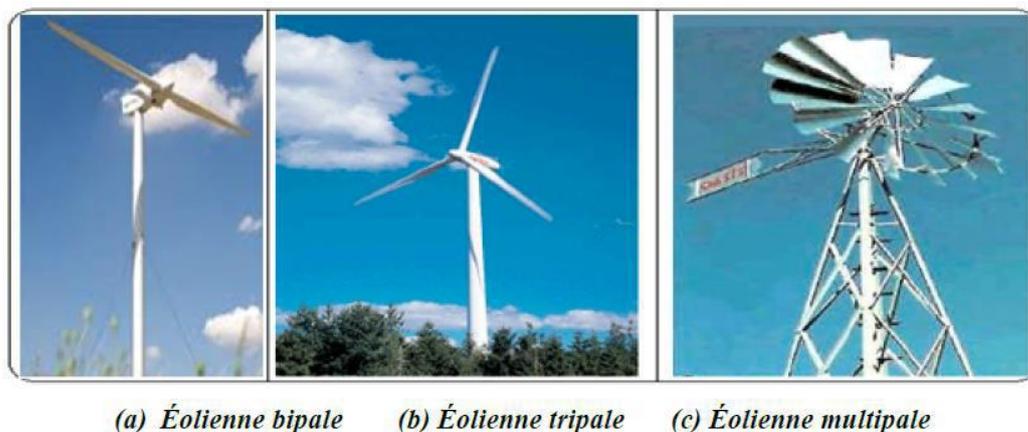


Figure 28: Différents types éoliennes à axe horizontale [28]

2.4.3 Principe de fonctionnement d'une éolienne :

Le principe de fonctionnement de l'énergie éolienne repose sur la transformation de l'énergie cinétique en énergie électrique peut se résumer dans le schéma suivante :

Dans un premier temps, la turbine ou le rotor extrait une partie de l'énergie cinétique du vent afin de la transformer en énergie mécanique.

Par la suite, cette énergie mécanique est transformée en énergie électrique qui est ensuite transmise au réseau électrique.

Toutefois, le manque de contrôle de l'énergie primaire et sa nature intermittente représentent des obstacles pour obtenir une conversion et une transmission régulières d'énergie. Afin de remédier à cette situation, la seule solution de stockage est inertielle, ce qui requiert une accélération de la turbine.

La figure 29 représente système de conversion éolien :

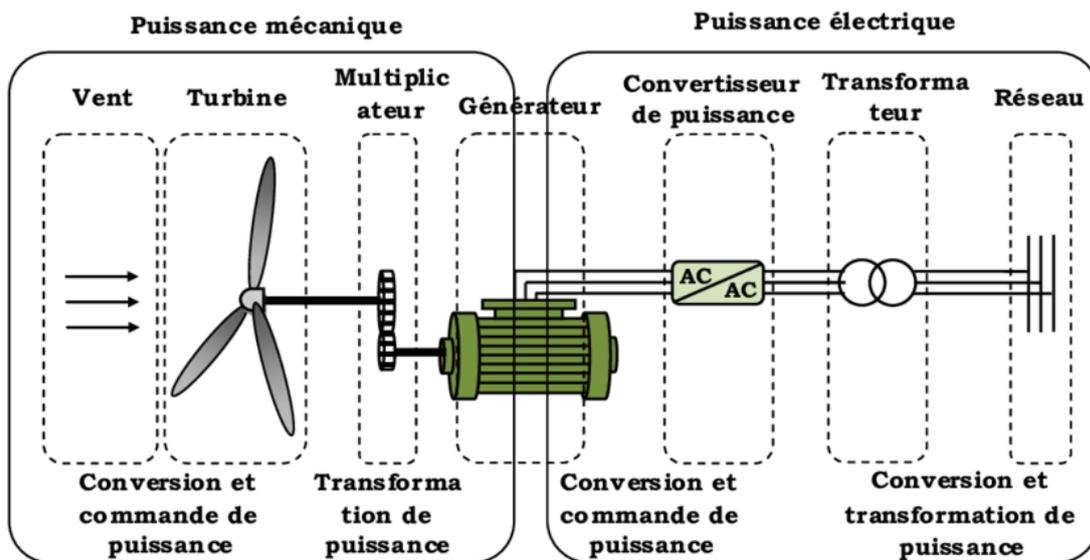


Figure 29: Principaux organes du système de conversion éolien [29]

2.5 L'énergie hydraulique pour le dessalement :

2.5.1 Définition : L'énergie hydraulique est l'énergie mise en jeu lors du déplacement ou de l'accumulation d'un fluide incompressible telle que l'eau douce ou l'eau de mer ce déplacement va produire un travail mécanique qui est utilisé directement où converti sous forme d'électricité.

Les installations de dessalement utilisent l'énergie hydraulique pour alimenter les installations de dessalement, généralement par osmose inverse. Grâce à l'utilisation de cette source d'énergie renouvelable, les systèmes de dessalement hydraulique peuvent être plus

respectueux de l'environnement et économiques, diminuant ainsi la dépendance aux combustibles fossiles et les émissions de déchets. Il est particulièrement bénéfique de cette méthode dans les zones où l'eau en mouvement est abondante, telles que les rivières et les barrages. Cependant, elle requiert des installations particulières.

Le barrage est montré dans la figure 30 :

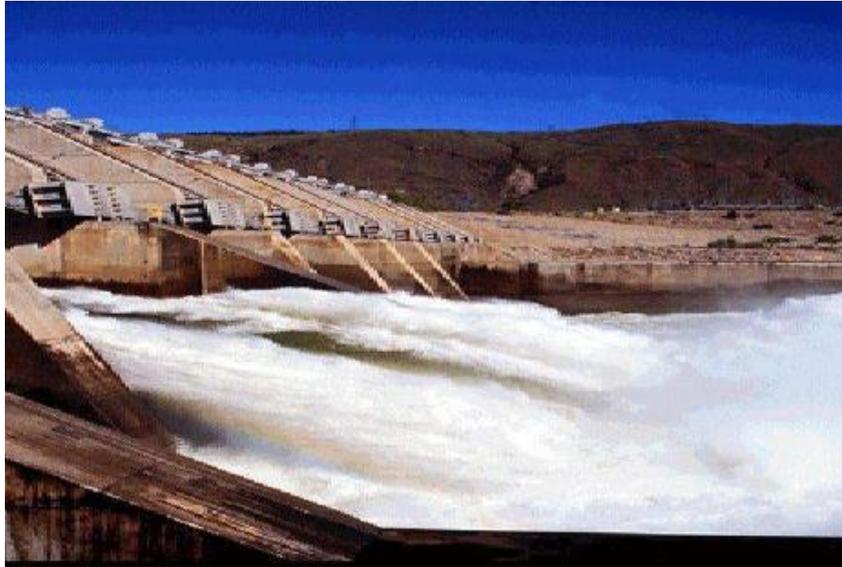


Figure 30: Exemple de barrage [30]

2.5.2 Typologie des turbines hydrauliques :

Turbines à action : la turbine à action est caractérisée par le fait que l'énergie à disposition de l'aubage a lieu pression constante (généralement la pression atmosphérique), la roue de la turbine est tournée dans l'air, divisé en deux types :

a- Turbine Pelton :

La turbine Pelton est constituée par une roue à augets qui est mise en mouvement par un jet d'eau provenant d'un injecteur, les augets sont profilés pour obtenir un rendement maximum tout en permettant à l'eau de s'échapper sur les côtés de la roue.

La vitesse nominale de la turbine varie de (500 tr/min) à (1500 tr/min), ce qui permet un couplage direct sans multiplicateur à la génératrice électrique.

b- Turbine Crossflow « Banki Mitchel » :

La turbine crossflow, est une machine à action qui a ceci de particulier que l'eau traverse deux fois la roue, de construction simple, elle est constituée de trois parties principales (un injecteur de section rectangulaire, une roue en forme de tambour, dotée d'aubes cylindriques profilées, un bâti enveloppant la roue et sur lequel sont fixés les paliers de la turbine).

En général sa vitesse de rotation est faible, ce qui justifie l'emploi d'un multiplicateur pour la

coupler à une génératrice. [31]

Turbines à réaction : une turbine à réaction est une machine complètement immergée dans l'eau et mise en rotation par effet tourbillon au moyen d'une bêche, et des aubages directeurs fixes ou mobiles. Les aubages de la turbine sont profilés de manière à donner aux filets d'eau une direction parallèle à l'axe de rotation à la sortie de la turbine, il existe deux types de turbine à réaction :

a- Turbine Francis :

La turbine Francis est utilisée pour des faibles variations de débit (débits moyens entre 100 l. s⁻¹ et 6000 l. s⁻¹), elle s'adapte bien aux chutes moyennes de 10 m à 100 m, elle a un bon rendement et une vitesse de rotation élevée (1000 tr/min).

b- Turbine Kaplan :

Les turbines Kaplan, également connues sous le nom de turbines hélice, sont spécialement adaptées aux chutes d'eau faibles d'environ 2 mètres et aux débits élevés allant de 300 à 15000 litres par seconde. Même avec des débits variables, elles restent efficaces et offrent un rendement satisfaisant (jusqu'à 84 90% maximum), malgré leur faible vitesse de rotation.

Les pales orientables de la turbine Kaplan permettent d'optimiser son efficacité en utilisant une roue similaire à une hélice de bateau, avec un coefficient de rendement η_t .

La similitude intéressante entre la turbine Kaplan et les éoliennes réside dans la capacité de régler l'orientation des pales. [32]

2.5.3 Les types des centrales hydrauliques :

Les centrales hydroélectriques sont classées en trois grandes catégories selon la hauteur de la chute d'eau et par voie de conséquence selon le débit, on trouve :

a- Les centrales de haute chute ($h > 300\text{m}$) :

Les turbines Pelton sont utilisées dans les centrales de haute chute, qui se trouvent dans des régions montagneuses comme les Alpes. Leur hauteur de chute dépasse les 300 mètres, cependant leur capacité de réservoir est plutôt limitée. [24]

b- Les centrales de chute moyenne ($30 < h < 300\text{m}$) :

Les turbines Francis sont employées dans les centrales de moyenne chute, avec une hauteur variant de 30 m à 300 m. L'eau qu'elles utilisent est stockée derrière un barrage érigé dans le lit d'une rivière située dans une région montagneuse. La centrale Manic 5 est équipée d'un réservoir de grande capacité, avec une hauteur de chute de 155 mètres et une puissance de 1528 MW. [24]

c- Les centrales de basse chute ($h < 30\text{m}$) :

Chapitre 2: Sources d'énergies renouvelables pour le dessalement

Les centrales à basse chute, aussi connues sous le nom de centrales au fil de l'eau, fonctionnent avec des turbines Kaplan ou Francis et ont une chute inférieure à 30 mètres. Elles sont mises en place dans les cours d'eau ou les fleuves à fort débit, tels que la centrale Beauharnois sur le Saint Laurent, dont la hauteur de chute est de 25 mètres et dont la puissance est de 1575 MW. [24]

2.5.4 Principe de fonctionnement d'une hydraulique:

Les hydrauliques utilisent les courants de marée pour faire tourner les pales de leur turbine, qui est connectée à un alternateur qui génère de l'électricité. La production d'électricité varie en fonction de la vitesse des marées. À la différence des systèmes houlomoteurs qui exploitent les vagues et des éoliennes qui exploitent l'énergie du vent. Les hydrauliques sont immergées dans l'eau. Malgré la bidirectionnalité des courants de marée, les hydroliennes peuvent également être employées pour les courants fluviaux unidirectionnels. La figure 31 présente le fonctionnement d'un système hydraulique.

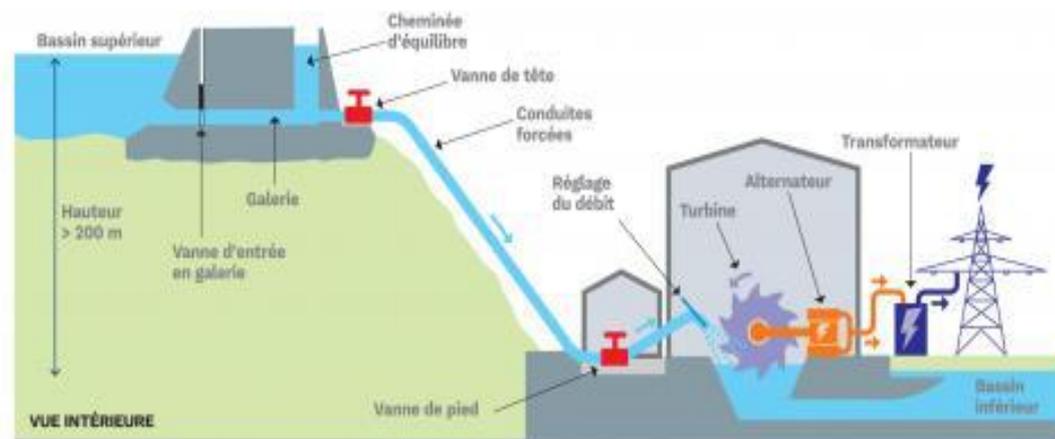


Figure 31: le principe de fonctionnement d'un système hydraulique [33]

2.6 La biomasse pour le dessalement :

2.6.1 Définition : Le mot "biomasse" fait référence à toute la matière vivante (matière organique provenant des plantes ou des êtres vivants, ainsi qu'aux déchets organiques). La biomasse est générée par les organismes vivants, principalement grâce à l'activité photosynthétique des plantes, mais également des animaux, des insectes et des microorganismes. Elle se compose principalement de polymères complexes tels que le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote, avec une faible proportion de soufre et d'éléments inorganiques.

Le dessalement à l'énergie biomasse consiste à brûler des matières organiques, comme les résidus agricoles, les déchets forestiers ou les algues, afin de produire la chaleur ou l'électricité nécessaires aux différentes étapes de dessalement, telles que la distillation ou l'osmose inverse. Cette méthode propose une solution durable en exploitant les déchets biomasse et en diminuant l'impact environnemental.

Ci-dessous la figure 32 :



Figure 32: La centrale Biomasse

2.6.2 Les biocombustibles et les biocarburants :

Les biocombustibles solides : les forêts sont principalement l'origine des bois combustibles solides. Les sous-produits des travaux sylvicoles de récoltes et les bois de faible valeur peuvent être classés en deux origines. La biomasse brûlée est utilisée pour produire de l'énergie en utilisant le bois et les déchets agricoles, les ordures ménagères et les déchets industriels du secteur agroalimentaire. Les Biocarburant.(figure 33)

Le bioéthanol, également connu sous le nom de C_2H_5OH , est un carburant qui provient de l'amidon et du glucose extraits de cultures sucrières et céréalières.

Le biogaz : il est composé de (55 à 65%) de méthane, de (35 à 45%) de gaz carbonique et de traces d'impuretés (H_2S , NH_3 ...). Une fois épuré, il peut être utilisé pour alimenter des véhicules fonctionnant au Gaz Naturel, que ce soit en se décomposant, sous l'influence des bactéries, ou en étant produit par certains déchets qui produisent ce gaz. [34]

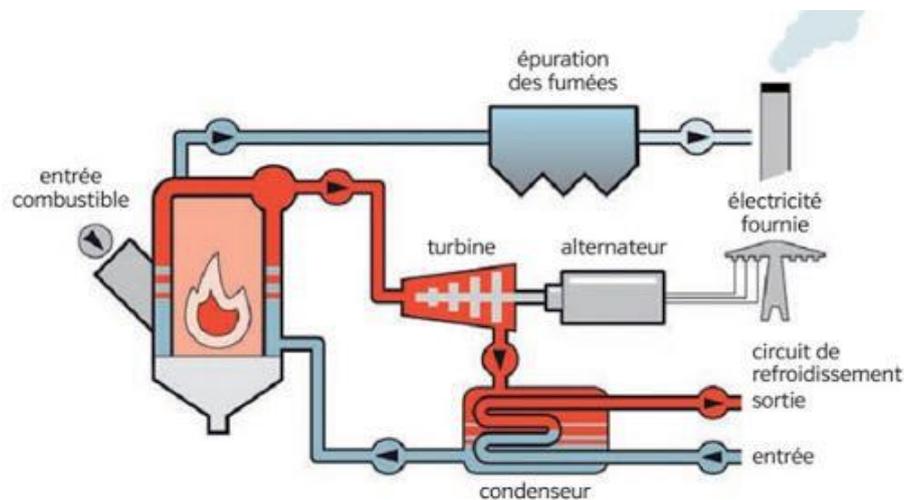


Figure 33: Différents types de biomasse.

2.6.3 Le principe de la biomasse :

Le principe de l'action de la biomasse est sur un plan de centrale à biomasse, comme le montre la figure 34 suivante :

En premier lieu, on brûle la biomasse, ce qui génère une température élevée qui convertit l'eau en vapeur. Ensuite, on produit de l'électricité grâce aux turbines qui fournissent de l'énergie au générateur.



Lit Fluidisé Circulant + biomasse : une centrale électrique dès 2014.

Figure 34: Le fonctionnement d'une centrale à biomasse.

2.7 L'énergie géothermique pour le dessalement :

2.7.1 Définition : La géothermie est une forme d'énergie thermique naturelle qui utilise la chaleur de la croûte terrestre pour générer de l'électricité (avec des températures allant de 90° à 150°) ou de la chaleur (avec des températures inférieures à 90°). L'appellation "géothermie"

désigne la terre et "thermie" la chaleur) [35]. En comparaison avec d'autres sources d'énergie renouvelable, la géothermie offre l'avantage de ne pas être influencée par les conditions météorologiques (pluie, soleil, vent...).

Les processus de dessalement de l'eau de mer, comme la distillation multi-étages ou la distillation à compression de vapeur, utilisent la chaleur extraite des profondeurs de la Terre (températures allant de 90° à 150°). Cette approche propose une solution écologique en tirant parti d'une source d'énergie.

La figure 35 présente la chaleur géothermique :



Figure 35: la chaleur géothermique [36]

2.7.2 Les types des centrales géothermiques :

On distingue trois grands types de centrales électriques :

La géothermie à haute énergie : exploite des sources hydrothermales très chaudes, ou des forages très profonds. Cette géothermie est surtout utilisée pour produire de l'électricité. Elle est parfois subdivisée en deux sous-catégories : la géothermie moyenne énergie (températures comprises entre 100 et 150°C) et la géothermie haute énergie (températures supérieures à 150°C).

La géothermie de basse énergie : géothermie des nappes profondes aux températures situées entre 30 et 100°C. La principale utilisation est les réseaux de chauffage urbain.

La géothermie de très basse énergie : géothermie des faibles profondeurs aux niveaux de température compris entre 10 et 30°C. Principales utilisations : le chauffage et la climatisation individuelle.

La figure 36 représente la géothermie :

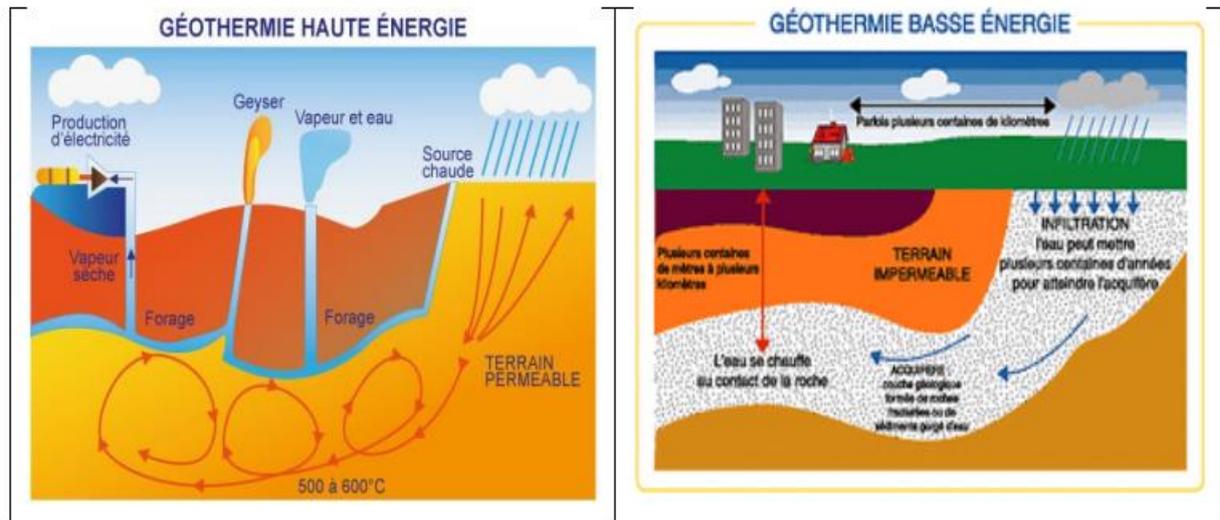


Figure 36: la géothermie

2.7.3 Principe de fonctionnement :

Le principe de l'énergie géothermique est basée sur des stations thermiques qui constituent une source de production d'électricité via:

1. Subventionner la chaleur (de la terre) à l'eau qui se transforme en vapeur.
2. Turbine convertit une partie de la vapeur en énergie mécanique.
3. Génère de l'électricité grâce au générateur associé à une turbine

Pour capter l'énergie géothermique on utilise le fluide géothermique contenu dans des réservoirs profonds pour actionner une turbine qui entraîne à son tour un alternateur qui produit un courant électrique.

2.8 L'énergie solaire pour le dessalement :

2.8.1 Définition : L'énergie solaire est considérée comme l'une des sources d'énergie renouvelable et la plus abondante à l'échelle mondiale. Son rayonnement peut être utilisé dans divers domaines tels que la production de réactions chimiques, la production de chaleur et la production d'électricité. Récemment, les coûts de production ont diminué de manière significative, ce qui la rend apte à rivaliser avec le pétrole et le gaz.

Les processus de dessalement de l'eau de mer utilisent l'énergie solaire, principalement par distillation solaire ou par des systèmes d'osmose inverse alimentés par l'énergie photovoltaïque. Cette approche convient surtout aux zones ensoleillées où l'accès à l'eau douce est restreint. En utilisant une ressource énergétique renouvelable et abondante, le dessalement solaire permet de diminuer les dépenses liées à l'énergie.

2.8.2 L'énergie solaire dans le monde :

En 2019, près de 115 GW de panneaux photovoltaïques ont été installés dans le monde, et la puissance installée mondiale en matière de solaire photovoltaïque s'élève en 2019 à 627 GW.

Les trois plus grand pays produire l'électricité partir la solaire photovoltaïque sont la Chine, Etat -unis, Japon selon le tableau suivant :

Tableau 1: Principaux pays producteurs d'électricité d'origine solaire en 2018 [25]

Pays	Production (TW/h)	National (%)
Chine	176.9	2
États-Unis	81.2	2
Japon	62.6	6

La figure 37 suivante indique le classement des pays en énergies solaires :

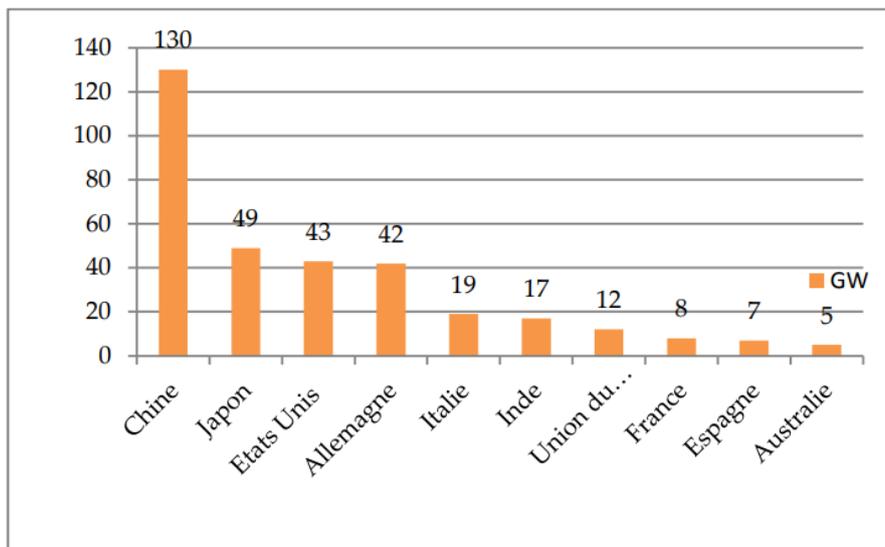


Figure 37: Classement des pays leaders mondiaux en énergies solaires pour l'année 2017.[37]

2.8.3 L'énergie solaire en Algérie :

L'Algérie est considérée comme l'un des pays les plus riches en ressources solaires au monde et dans le bassin méditerranéen en raison de sa position géographique (Figure 8). Cela représente 169.000 TWh/an pour le solaire thermique et 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque.

Ce gisement solaire dépasse les 5 milliards GW/h par an avec une durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépassant les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures dans les hauts plateaux et au Sahara.

Chapitre 2: Sources d'énergies renouvelables pour le dessalement

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m²/an au Nord et 2263 kWh/m²/an au sud du pays (Ministère de l'Énergie, 2018b).

À travers le tableau ci-dessous, on constate que le potentiel solaire le plus important et qui couvre 86 % de la superficie du territoire est situé dans le sud du pays.

Tableau 2: Potentiel solaire en Algérie [38]

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Énergie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	2650

2.8.4 Principe physique de l'énergie solaire :

Les rayonnements émis par le soleil se concentrent principalement dans la partie « visible » du spectre (lumière, de 400 à 700 nm). Plus la longueur d'onde du rayonnement est courte, plus les photons apportent d'énergie. Cette énergie a la capacité de se transmettre sous forme de chaleur, ce qui entraînera l'excitation des atomes de la matière, qui seront agités et chauffés.

Lorsque les capteurs sont exposés aux rayons du soleil, ils vont transformer l'énergie des photons en énergie thermique ou électrique. [39]

2.8.5 Types de l'énergie solaire :

On utilise l'énergie solaire en captant les rayons du soleil et en transformant en électricité ou en utilise leur chaleur, il existe trois types d'énergie solaire sont :

L'énergie solaire photovoltaïque : consiste à utiliser des modules ou des panneaux photovoltaïques pour exploiter l'énergie solaire, en utilisant des cellules solaires ou des photopiles pour effectuer cette transformation.

L'énergie thermique du soleil : La production de chaleur (figure 38) à partir du rayonnement solaire infrarouge est appelée énergie solaire thermique. Elle permet de chauffer de l'eau, de l'air ou un autre fluide (la technologie est relativement simple par rapport au photovoltaïque), ce qui en fait une solution moins coûteuse. Les panneaux solaires thermiques permettent de produire de l'eau chaude. Un panneau solaire thermique est une surface qui capte les rayons du soleil pour

réchauffer un fluide caloporteur placé sous les panneaux. Ce fluide chaud rejoint ensuite le ballon de stockage dans lequel il réchauffe l'eau chaude sanitaire.

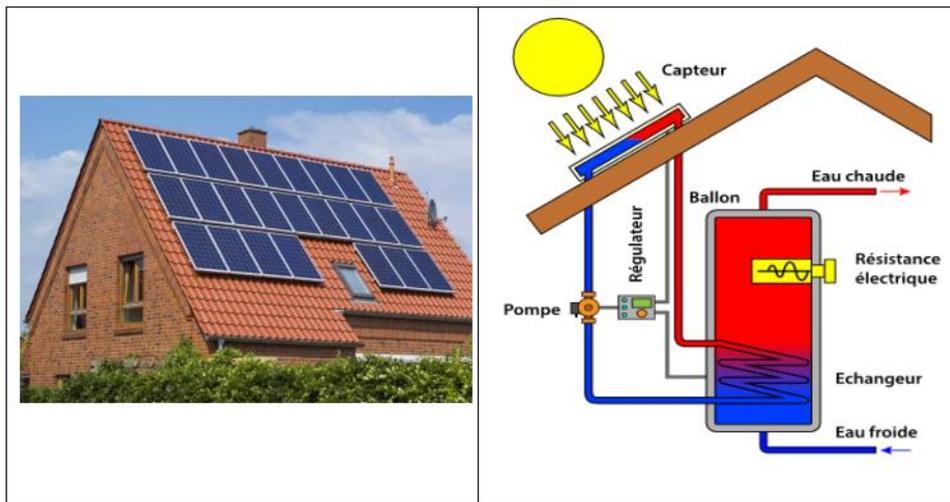


Figure 38: solaire thermique

L'énergie solaire thermodynamique : Le concept de l'énergie solaire thermodynamique se réfère à de grandes centrales équipées de concentrateurs du rayon solaire, qui sont des miroirs galbés qui chauffent un fluide à haute température pour générer de la vapeur par échange thermique. Ensuite, cette vapeur est convertie en électricité grâce à une turbine à vapeur.[40]

2.8.6 Générateur photovoltaïque (PV) : la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique est possible grâce au générateur photovoltaïque. Ce dernier transforme l'énergie solaire en une tension et un courant continu qui peuvent varier en fonction de l'éclairement reçu par les panneaux solaires. La cellule photovoltaïque est le composant clé de cette conversion.

2.8.7 Cellule photovoltaïque : la cellule photovoltaïque est un élément électronique qui permet de générer de l'électricité en utilisant la lumière du soleil. Elle est composée de semi-conductrices (matériaux isolants matériau conducteur).

2.8.7.1 Composante de cellule PV :

La couche initiale (négative) est constituée de silicium avec un léger ajout de phosphore (Type N).

La couche suivante (positive) est conçue à partir de silicium avec une quantité de bore (Type P).

La partie supérieure est constituée d'une substance transparente (un matériau anti-réflexion

qui absorbe la plus grande quantité de rayonnement solaire afin de générer efficacement de l'énergie électrique).

La figure 39 présente une cellule PV :

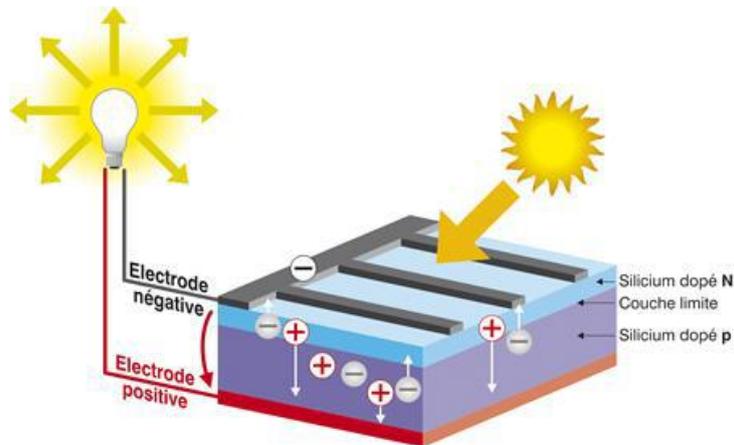


Figure 39: Composantes de cellule photovoltaïque[41]

La cellule photovoltaïque élémentaire constitue un générateur de très faible puissance vis-à-vis des besoins de la plupart des applications domestiques ou industrielles. Une cellule élémentaire de quelques dizaines de centimètres carrés délivre, au maximum, quelques watts sous une tension inférieure au volt (tension de jonction PN).[42] Donc, pour produire plus de puissance, plusieurs cellules doivent être assemblées créant ainsi un module ou un panneau photovoltaïque. Tel que, la connexion en série des cellules permet d'augmenter la tension de l'ensemble, tandis que la mise en parallèle permet d'accroître le courant. Le câblage série/parallèle est donc utilisé pour obtenir globalement un générateur photovoltaïque aux caractéristiques souhaitées comme le montre la figure 40.

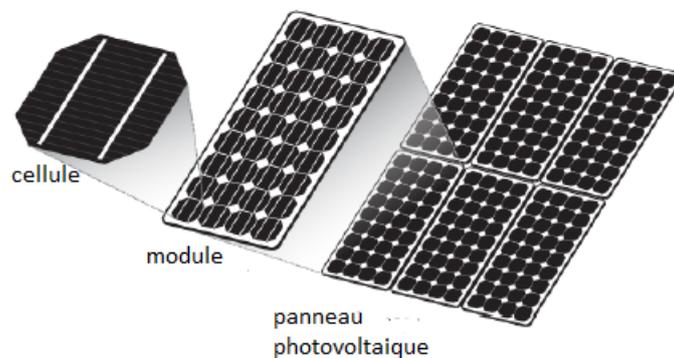


Figure 40: composants d'un générateur photovoltaïque.

2.8.7.2 Type de cellules photovoltaïques :

matériau de base, les cellules peuvent être divisées en 3 groupes :[43]

Cellules au silicium monocristallin : elles ont la meilleure efficacité qui varie généralement de 13 à 18 %. Leur durée de vie est habituellement de plus de 25 à 30 ans.

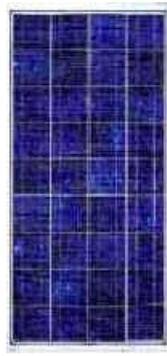
Cellules au silicium poly cristallin : elles ont une efficacité légèrement inférieure, soit de 12 à 15 %.

Cellules à couche mince : Leur efficacité est moindre, elle varie de 6 à 10 % et leur durée de vie est généralement inférieure à 20 ans.

La figure 41 représente les trois types de cellules PV :



Cellules au silicium



Cellules à couche mince



Polycristallin Monocristallin

Figure 41: types de cellules photovoltaïques

2.8.7.3 Fonctionnement de cellule PV :

Les cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir d'une jonction PN figure 42 au silicium (diode). Pour obtenir du silicium dopé N, on ajoute du phosphore. Ce type de dopage permet au matériau de libérer facilement des électrons (charge-). Pour obtenir du silicium dopé P, on ajoute du bord. Dans ce cas, le matériau crée facilement des lacunes électroniques appelées trous (charge+). La jonction PN est obtenue en dopant les deux faces d'une tranche de silicium. Sous l'action d'un rayonnement solaire, les atomes de la jonction libèrent des charges électriques de signes opposés qui s'accumulent de part et d'autre de la jonction pour former un générateur électrique.[44]

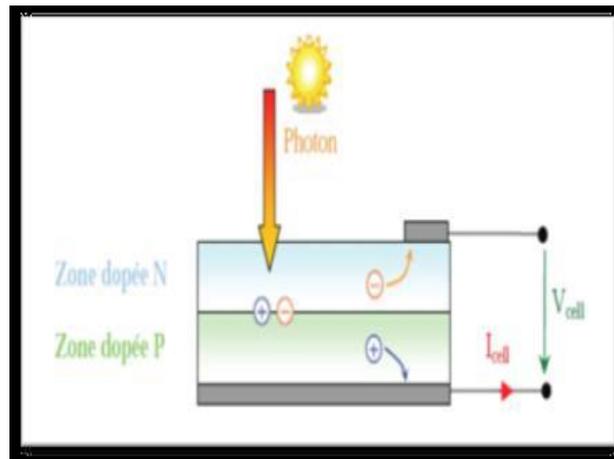


Figure 42: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

2.8.8 Différent type de système photovoltaïque :

2.8.8.1 Les systèmes autonomes :

Un système est qualifié d'« autonome » (figure 43) lorsqu'il n'utilise qu'une seule source d'énergie, comme le système photovoltaïque autonome qui utilise exclusivement l'énergie solaire. Il est utilisé fréquemment dans les endroits isolés, par exemple dans des chalets où leur raccordement au réseau de distribution est très loin. L'énergie solaire n'est disponible que le jour, et dans le but d'adapter la production à la demande, ce système nécessite des éléments de stockages, donc des accumulateurs.[45]

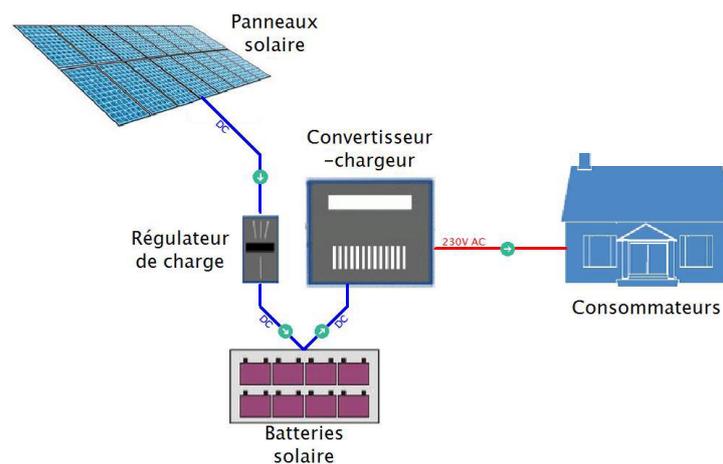


Figure 43: système photovoltaïque autonome

2.8.8.2 Les systèmes hybrides :

Le système hybride (figure 44) de production d'énergie est celui qui combine et

exploite différentes sources facilement exploitables. La méthode implique l'intégration de deux ou plusieurs technologies complémentaires afin d'augmenter la disponibilité de l'énergie. Les énergies solaires et ventrières ne produisent pas de puissance constante, et leur utilisation peut conduire à une production électrique plus constante. Dans de nombreuses régions, la plupart des journées ensoleillées sont marquées par une faible activité éolienne, tandis que les vents forts sont généralement observés pendant les journées nuageuses ou la nuit.[46]

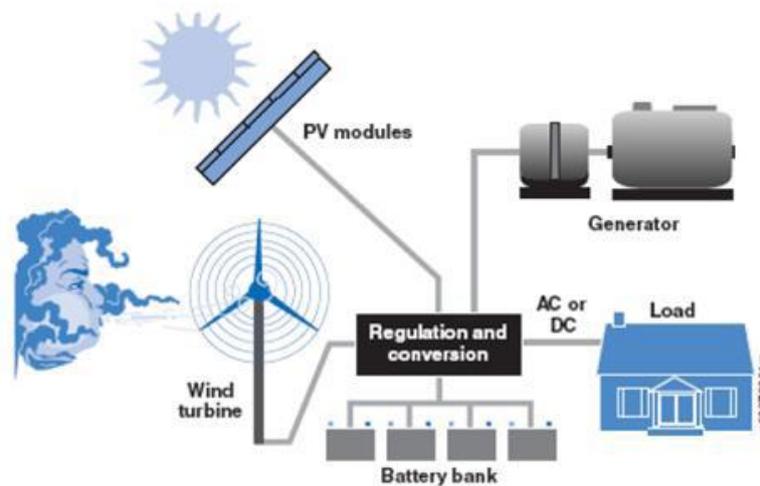


Figure 44: Système photovoltaïque hybride

2.8.8.3 Système raccordé au réseau :

De ce genre (figure 45) est installé sur un site connecté au réseau, habituellement sur les logements ou les entreprises qui désirent utiliser une énergie renouvelable et qui bénéficient d'un ensoleillement Dans ce cas de système, on parle plus de stockage d'énergie, donc elle est injectée totalement dans le réseau électrique. Qui dit pas de stockage d'énergie, dit absence de batteries d'accumulateurs ce qui diminue le coût d'installation, donc réduire la complexité du fonctionnement, et c'est pour quoi en terme d'investissement et de fonctionnement est le plus avantageux. Un système suffisant.[45]

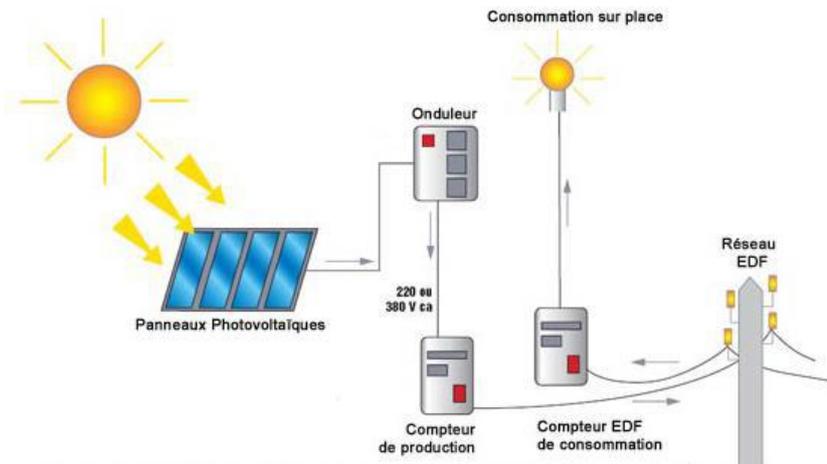


Figure 45: Système photovoltaïque raccordé au réseau.

2.8.9 Système de stockage (batteries) :

Un accumulateur électrochimique, également appelé batterie, est un dispositif qui transforme de l'énergie électrique en une énergie potentielle chimique pendant la phase de charge, puis en énergie électrique lors de la décharge .[47]

2.8.9.1 Les types de batteries :

Tableau 3: Les caractéristiques de type des batteries.

Type de batterie	Tension nominale	Durée de vie	Coût	Rendement
Batterie au plomb-acide	2V par cellule	5 à 7 ans	Abordable	80 %
Batterie au Nickel-cadmium	1.2V par cellule	12 à 15 ans	Modéré	70-90 %
Batterie au Lithium-ion	3.6V par cellule	8 ans	Modéré à élevé	90-95 %
Batterie au Sodium-ion	3.6V par cellule	15 ans	Moyen	97 %

2.8.9.2 Les caractéristiques des batteries :

La capacité : est généralement calculée en multipliant le courant de décharge par le temps de décharge.

Tension de la batterie : Tension électrique entre les bornes d'un élément ou d'une batterie pendant la décharge.

Tension en circuit ouvert : Tension électrique aux bornes d'un élément ou d'une batterie quand le courant de décharge est nul.

Profondeur de décharge : La quantité de charge, en pourcentage de la capacité initiale, qui peut être retirée d'une batterie sans réduire sa durée de vie.

Etat de charge : « State of Charge », est la quantité de charge, en pourcentage de la capacité initiale, qui reste accumulée dans la batterie.

Etat de santé : « State of Health », est facteur entre la capacité de charge actuelle d'une batterie par rapport à sa capacité initiale de charge.

Durée de vie : Durée totale de la vie active d'un élément ou d'une batterie en fonctionnement.

Température : Température de l'électrolyte causant la réaction chimique.

Vie de tablette : Période de temps entre la fin de la fabrication et la mise en service.

2.8.9.3 Charge et décharge :

Le courant de charge est le courant électrique fourni à la batterie et stocké par elle. Une batterie se charge plus ou moins vite selon le débit du courant qui la charge. Lorsqu'une charge connectée consomme de l'énergie stockée dans la batterie, celle-ci se décharge. L'intensité du courant de décharge correspond au débit de la batterie. On obtient la quantité d'énergie consommée sur une durée donnée en multipliant l'intensité du courant de décharge par la durée de fonctionnement de la charge. [48]

2.8.10 Dimensionnement du champ photovoltaïque PV :

• Evaluation de l'énergie journalière fournie par un module :

Sous les conditions standard de température et de l'éclairement ($T=25^\circ$ et $G=1000$). L'énergie délivrée par un module est exprimée sous la forme suivante :

$$E_p = P_{cm} \times \frac{E_{min}}{G_{cs}} \times K \dots\dots\dots (1)$$

Où :

P_{cm} : Puissance du module exprimée (en annuelle W);

E_{min} : Irradiation moyenne journalière annuelle minimale en (Wh / m^2) ;

K : Facteur de correction global, contenant les divers rendements ainsi qu'un coefficient de sécurité; il est exprimé en (%);

G_{cs} : Coefficient constant; il est égal à 1000

• Estimation du nombre total de modules constituant le générateur :

Le nombre total de module à installer est donné par :

$$N = \frac{C_j}{R_o \times R_r} \times \frac{1}{E_p} \dots\dots\dots (2)$$

Avec :

R0 : Rendement de l'onduleur en (%);

Rr : Rendement du régulateur en (%);

Cj : Énergie journalière consommée par la charge en (Wh).

• Estimation du nombre de module en série :

Le nombre de module en série est :

$$N_s = \frac{U}{U_n} \dots \dots \dots (3)$$

Avec :

U : Tension d'installation en V ;

Un : Tension nominale d'un module en V.

• Estimation du nombre de branche en parallèle :

$$N_p = \frac{N}{N_s} \dots \dots \dots (4)$$

Np : Nombre de module en parallèle.

• Calcul de la puissance du générateur

La puissance crête délivrée par le générateur Wc est :

$$P_c = N_s \times N_p \times P_{cm} \dots \dots \dots (5)$$

• Calcul de la surface totale du générateur :

La surface totale occupée par le champ sur le sol ou le toit est :

$$S_t = N \times S_m \dots \dots \dots (6)$$

Sm : C'est la surface d'un module en m²

2.8.11 Les avantages de l'énergie solaire :

L'énergie solaire joue un rôle crucial dans la vie sur Terre en fournissant des sources d'alimentation pour tous les écosystèmes. Des recherches sont en cours pour l'utiliser de manière adéquate afin de répondre aux besoins énergétiques futurs. Dans ce qui suit, nous aborderons les bénéfices de l'énergie solaire.

Il a un carburant gratuit.

La seule source d'énergie requise par un panneau solaire est le soleil, et la majorité des cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir de silicium, un matériau abondant et non toxique (le deuxième matériau le plus abondant sur Terre).

La production d'énergie solaire ne provoque aucun bruit, émissions nocives ou gaz polluants.

L'électricité solaire ne consomme que l'énergie solaire en tant que carburant, elle ne génère aucun coproduit nocif et joue un rôle actif dans la lutte contre le changement climatique.

Chapitre 2: Sources d'énergies renouvelables pour le dessalement

Les systèmes solaires sont extrêmement sécurisés et d'une grande fiabilité. La durée de vie d'un module solaire est d'environ 30 ans, et les fabricants garantissent généralement la performance des cellules photovoltaïques pendant 20 à 25 ans. Ainsi, le photovoltaïque est une technologie fiable à long terme, assurant ainsi la fiabilité des produits aux consommateurs.

Les panneaux solaires peuvent être réutilisés et les matériaux utilisés dans leur fabrication (silicium, verre, aluminium...) peuvent être réutilisés.

Le recyclage présente des avantages non seulement pour l'environnement, mais il contribue également à diminuer l'énergie requise pour fabriquer ces matériaux, ce qui permet de réduire leur coût de production.

L'intégration esthétique de l'énergie solaire dans les bâtiments est possible.

Les panneaux solaires ont la capacité de couvrir les toits et les façades, ce qui permet à ces bâtiments de s'autoalimenter énergétiquement. De plus, ils sont silencieux et peuvent être intégrés de manière très esthétique.

L'énergie solaire exige peu de maintenance

Les modules solaires ne nécessitent pratiquement aucune maintenance et sont faciles à installer.

Une heure d'énergie solaire captée par la Terre pourrait être équivalente à la consommation mondiale d'une année.

En tout, ce flux de chaleur s'élève à 1,6 milliards de tonnes de chaleur, ce qui équivaut à huit mille fois la consommation annuelle mondiale d'énergie.[49]

2.9 Conclusion :

A travers notre étude de ce chapitre, nous concluons que les énergies renouvelables ont une grande importance. Chaque type d' (EnR) à caractéristiques distinctives et un principe de fonctionnement qui diffère de l'autre; cela a poussé la plupart des pays développés à en dépendre pour produire de l'électricité et répondre à leurs besoins, Selon les capacités disponibles.

Et dans la prochaine partie, nous présenterons en détail un système de dessalement approvisionné en énergie solaire, incluant la description de notre étude de cas auprès d'une entreprise algérienne « COFEED ».

**Chapitre 3 :
Dimensionnement d'une
installation photovoltaïque
- étude de cas Cofeed**

Chapitre 3 : Dimensionnement d'une installation photovoltaïque - étude de cas Cofeed

3.1 Introduction :

Dans un contexte mondial marqué par une demande croissante en énergie durable et une prise de conscience accrue des enjeux environnementaux, l'intégration de sources d'énergie renouvelable dans les processus industriels devient une nécessité incontournable. Cofeed, entreprise innovante dans le secteur agroalimentaire, s'inscrit dans cette démarche en envisageant l'utilisation de l'énergie solaire pour alimenter son système d'osmose inverse. Ce chapitre présente une étude approfondie sur le dimensionnement d'une installation photovoltaïque dédiée à cet usage. Nous explorerons les besoins énergétiques spécifiques de l'osmose inverse, les conditions locales d'ensoleillement, ainsi que les composants essentiels pour une installation optimisée, durable et efficace.

3.2 Présentation de l'entreprise :



Cofeed (figure 46) est une entreprise Algérienne qui contribue au développement économique de notre pays dans la filière agroalimentaire. Elle se compose de quatre unités qui forment un complexe intégré, à savoir :²

Unité de trituration des graines oléagineuses : elle produit :

- 1- De l'huile brute par extraction qui après raffinage devient huile de table pour la consommation humaine.
- 2- Du tourteau et de la coque pour la fabrication de l'aliment de bétail et volaille.

Unité d'aliment de bétail et volaille : est de technologie récente dotée d'une grande capacité, conçue à la fabrication d'une diversité de matières premières, de pré-mix et d'additifs des aliments pour tous types d'animaux d'élevage ; sous forme de farine, de miettes ou de granulés.

Unité de stockage et distribution : En adéquation avec les besoins du complexe, Cofeed a mis en place de grandes capacités de stockage tant pour les matières premières que pour les produits finis.

Unité logistique et maintenance : Elle opère en soutien aux trois autres unités.



Figure 46: les unités de l'entreprise Cofeed

Le tableau 4 ci-dessous représente le développement de SARL Cofeed :

Tableau 4: Développement de SARL Cofeed

Décembre 2012	Création de l'entreprise
Mars 2018	Fabrication de tous types d'aliments de bétails
Juin 2021	Trituration de graine

3.2.1 Situation géographique de l'entreprise :

Zone industrielle EL-GHOMRI, Mohammadia, Wilaya de Mascara (figure 47) .



Figure 47: Localisation géographique de l'entreprise Cofeed

3.2.2 Climat :

Tableau 5: Le tableau ci-dessous représente le changement climatique à la commune Mohammadia, Wilaya de Mascara.[50]

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep- tembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	8.7	9.5	12.4	15.2	19.1	23.9	27.5	27.5	23.3	19.3	12.9	9.9
Température minimale moyenne (°C)	4	4.5	6.9	9.2	12.6	16.8	20.2	20.6	17.3	13.6	8.3	5.6
Température maximale (°C)	14.4	15.2	18.5	21.7	25.6	31	34.9	34.9	30	25.8	18.3	15.3
Précipitations (mm)	52	49	54	49	35	9	3	8	25	37	58	44
Humidité(%)	72%	70%	66%	61%	57%	49%	44%	46%	55%	59%	67%	72%

La variance des précipitations entre les mois où les précipitations sont les plus faibles et les mois où elles sont les plus élevées est 55 mm.

Au cours d'une année, on observe une fluctuation des températures moyennes de 18.8 °C. On observe que le Décembre (71.88) présente l'humidité relative la plus élevée, tandis que le Juillet (44.14) est le plus faible. Le mois avec les plus fortes précipitations est Janvier (8.80 jours), tandis que celui avec les plus faibles précipitations est Juillet (0.77).

3.3 Diagnostique de la station :

3.3.1 Objectifs de la station traitement des eaux :

L'objectif du traitement de l'eau qui alimente la chaudière à vapeur est la production d'une eau potable dont les caractéristiques physico-chimiques sont conformes aux normes de potabilité. La potabilité de l'eau est soumise à la législation et le code de la santé publique

relatif aux eaux destinées à la consommation humaine. On distingue dans ce décret : Les limites de qualités qui sont des concentrations maximales admises à respecter, et vérifier l'efficacité des filières de traitement et de quantifier la dégradation de la qualité de l'eau. Les paramètres permettant de contrôler la potabilité d'une eau :

- Les paramètres organoleptiques : couleur, turbidité, odeur, saveur
- Les paramètres physico-chimiques concernant la structure des eaux : T°, pH, chlorures, sulfates, magnésium, sodium, potassium, aluminium, résidus secs....
- Les paramètres concernant des substances indésirables : nitrates, nitrites, fer, manganèse, fluor... - Les paramètres concernant des substances toxiques : arsenic, plomb, mercure...
- Les paramètres microbiologiques :(bactéries, virus...).
- Les paramètres concernant les eaux adoucies : La dureté totale et l'alcalinité.

Tableau 6: Analyses physico-chimiques de l'eau brute alimentant la station de traitement

Paramètre	unité	Valeur
PH		6.74
CE	μS/cm	7810
Turbidité	NTU	10.4
TH		429
Chlorure	Mg/L	1420
TAC	°F	55

3.3.2 Les étapes traitement des eaux RO :

Voici les étapes d'osmose inverse présenté dans la figure 48 :

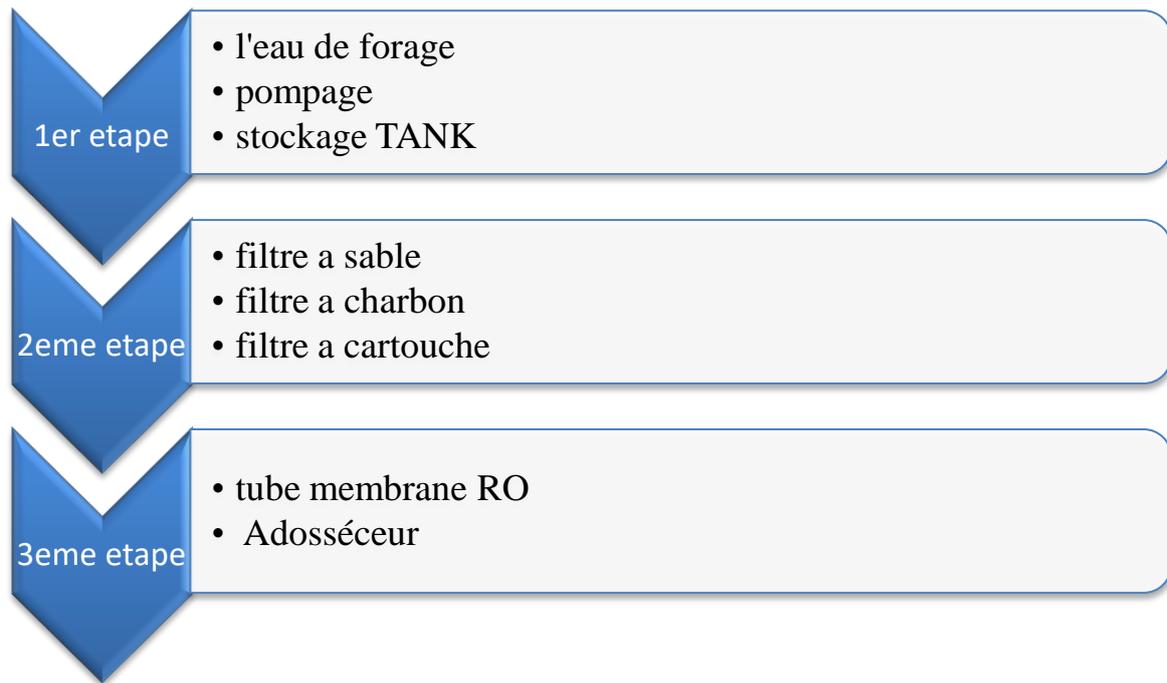


Figure 48: Étapes du RO

Le but de système d'osmose inverse (figure 49) dans cette étude de cas :

Le système d'osmose inverse est utilisé pour alimenter la chaudière à vapeur.

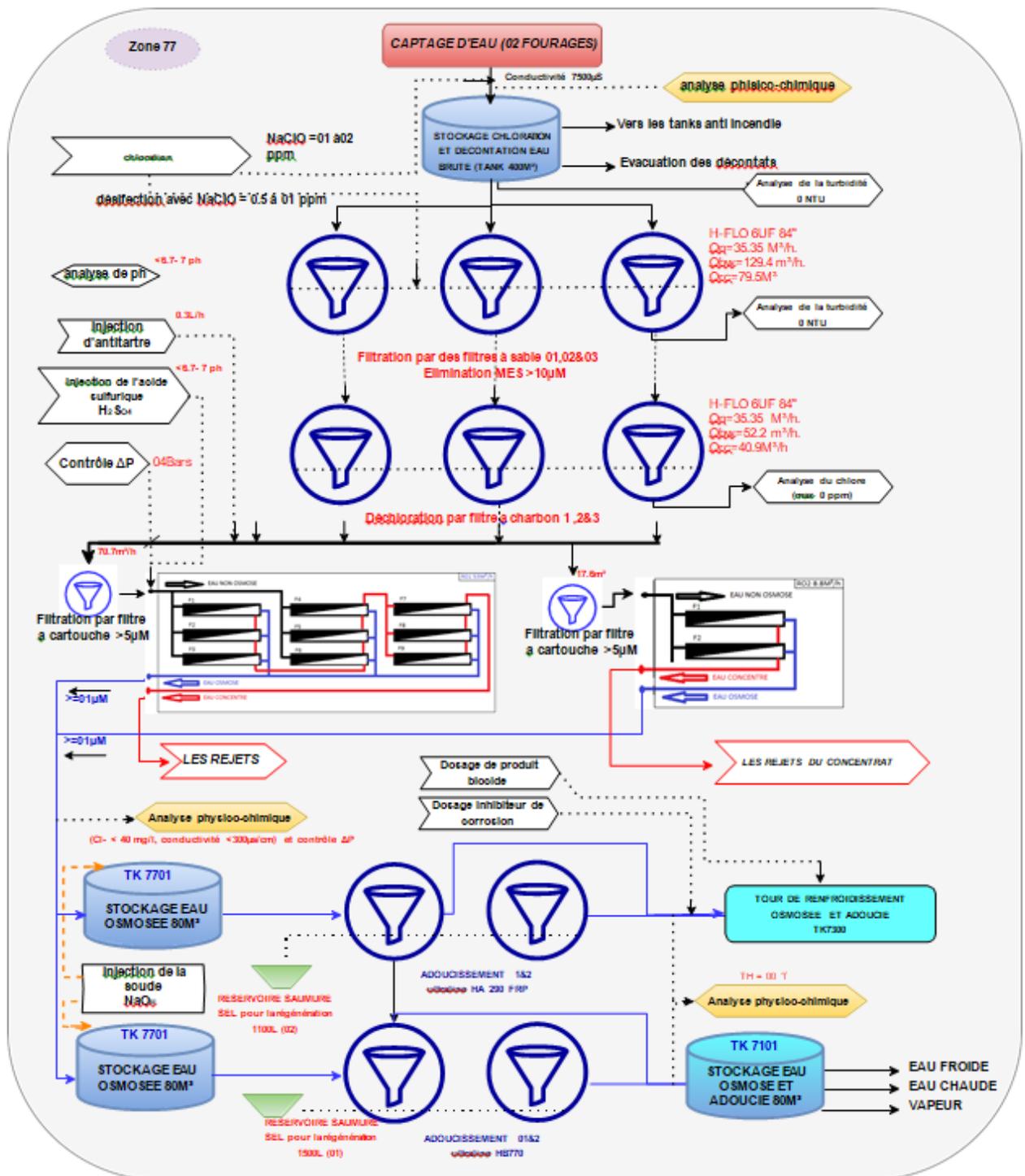


Figure 49: Diagramme de traitement des eaux

3.3.3 Définition de l'osmose inverse (RO) :

L'osmose inverse (figure 50) est un système de purification de l'eau contenant des matières en solution par un système de filtrage très fin qui ne laisse passer que les molécules d'eau.

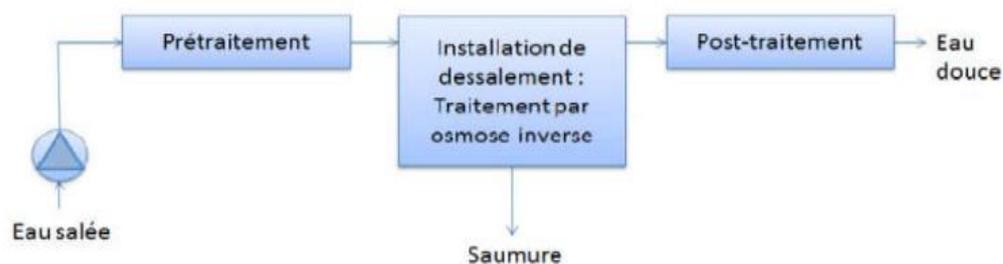


Figure 50: Schéma simple du procédé d'osmose inverse. [51]

Le tableau 7 présente les paramètres RO du Cofeed :

Tableau 7: Paramètres de l'unité d'osmose inverse du Cofeed

Paramètre	Valeur
Quantité d'eau dessalée	55,6 m ³ /heure
Alimentation en eau	74,6m ³ /h
Température de l'eau brute	20°C
Facteur de récupération	70%
Pompe à haute pression	30 bar - 37 kW
Processus membranaire	11 connectés en série
Type d'osmose inverse	Tubulaire
Pré filtration	Oui
Consommation d'énergie	130 kWh

3.3.4 Opération et maintenance sur le système d'osmose inverse :

Opération :

Démarrage : Avant de démarrer le système d'osmose inverse, les conditions suivantes doivent être prises en compte :

- Position des vannes
- Vanne de concentrât complètement ouverte.
- Désaérer les pompes.
- Vérifier la mise à disposition de l'eau d'alimentation.
- Laisser le système fonctionner avec la vanne de concentrâtes complètement afin désaérer le système.
- Pendant le démarrage utiliser la vanne de régulation de concentrâtes pour obtenir les débits souhaité

Arrêt : les systèmes d'osmose inverse sont arrêtés et démarrés automatiquement .A chaque arrêt le système est rincé avec de l'eau de perméat à basse pression (automatique).

Si le système est arrêté pour plus de 24 heures, il est important de vérifier :

- Les membranes ne s'assèchent pas. Des éléments asséchés peuvent irréversiblement perdre leur flux

- Rincer les membranes toutes les 24 heures afin de protéger les membranes d'un développement bactérien.

⊗ Si l'arrêt dure plus de 24 heures mais jusqu'à une semaine. Rincer régulièrement le système avec de l'eau du perméat permet de limiter les risques de développement bactérien. Il est important de vérifier que les membranes restent humides.

⊗ Si le système est arrêté pour plus de 7 jours, il est important de préserver les membranes avec une solution de 1,5% NaHSO₃ (Sodium Bisulphite-SBS). Les membranes dans les tubes de pression doivent être totalement immergés dans la solution de SBS. Le pH doit être vérifié une fois par semaine. Quand le pH diminue en dessous de 3, il est important de changer la solution de SBS. Pendant l'arrêt de système, le système doit être protégé du gel et de températures supérieures à 45 °C.

Maintenance :

Les membranes doivent être nettoyées périodiquement (NEP-Nettoyage en place) quand:

- La différence de pression sur les membranes augmente de plus de 15% par rapport aux conditions normales (ces conditions dépendent des paramètres pendant le démarrage de l'installation).

⊗ Si la conductivité du perméat augmente de manière notable.

- Tubes de pression
- Vérifier les têtes des tubes de pression en cas de fuites changer les têtes des tubes de pression si nécessaire.
- Il est important qu'il n'y ait pas de fuite du fait de la forte concentration en sels dans le concentrât.
- Filtres cartouche
- Vérifier la différence de pression sur les cartouches.
- Remplacer les cartouches si la différence de pression est supérieure à 0,8 bar.

⊗ Si la différence de pression diminue, ouvrir le corps de filtre afin de vérifier d'éventuels problèmes au niveau des cartouches.

Remplacer les filtres cartouches au moins tous les mois afin de limiter le développement bactérien sur les cartouches.

3.3.5 Procédé d'osmose inverse couplé à des panneaux photovoltaïques :

Le couplage Photovoltaïque-Osmose inverse (PV-RO) est très utilisé pour les petites installations du fait de la modularité de ces deux technologies et de la chute du prix des panneaux photovoltaïques.[52] La majeure partie de ces procédés utilisent des batteries pour stocker l'énergie. De plus en plus de recherches s'orientent sur des procédés s'affranchissant de stockage électrique, motivées par la réduction du coût et de l'impact écologique importants des batteries.

La figure 51 représente une centrale solaire PV :

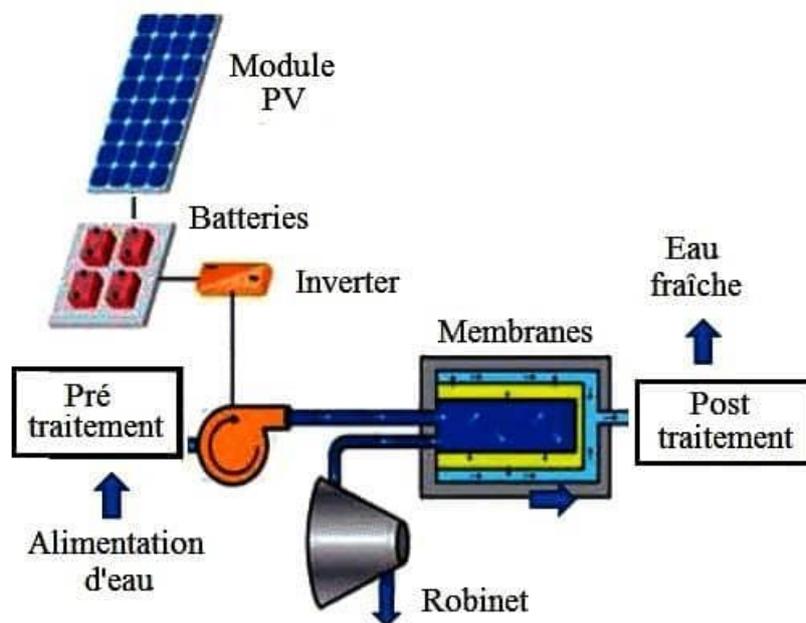


Figure 51: Schéma d'une centrale solaire photovoltaïque combiné avec une unité d'osmose inverse.

Concernant cette étude, nous avons utilisé le logiciel Homer pour analyser les ressources en énergie photovoltaïque destinées à la désalinisation par osmose inverse de l'eau Saumâtre dans la région Mohammadia, Mascara. L'objectif est d'évaluer la faisabilité de l'utilisation de l'énergie photovoltaïque pour la désalinisation.

3.4 Dimensionnement d'une installation photovoltaïque :

3.4.1 Le logiciel HOMER :

Le logiciel HOMER (Hybrid Optimisation of Multiple Electric Renewables), a été développé par l'U.S. National Laboratoire des énergies renouvelables (NREL). HOMER, qui est un logiciel d'ordinateur. Ce logiciel est un outil puissant, pour la conception et analyse des

systèmes de production d'électricité hybrides, il utilise différentes combinaisons de technologies et applications telles que les sources d'énergie renouvelable, les sources d'énergie traditionnelle, le stockage et la charge. Nous trouvons des systèmes multi-hybride avec ou sans réseau. Tout au long de projet, existe plusieurs éléments qui sont liés aux coûts tels que les coûts d'investissement, de remplacement et de maintenance, et il permet d'évaluer et de comparer les avantages et les inconvénients des aspects techniques et économiques des projets.

HOMER (figure 52) effectue trois tâches principales : la simulation, l'optimisation et l'analyse de sensibilité. Dans le processus de simulation, HOMER modélise les performances d'un micro centrales de production d'électricité chaque heure de l'année pour déterminer le coût de faisabilité et du cycle de vie. Dans le processus d'optimisation, HOMER simule de nombreux système de configurations différentes à la recherche de celui qui satisfait les contraintes techniques au coût le plus bas du cycle de vie.[53]

Tableau 8: Étapes d'utilisation du logiciel HOMER pro

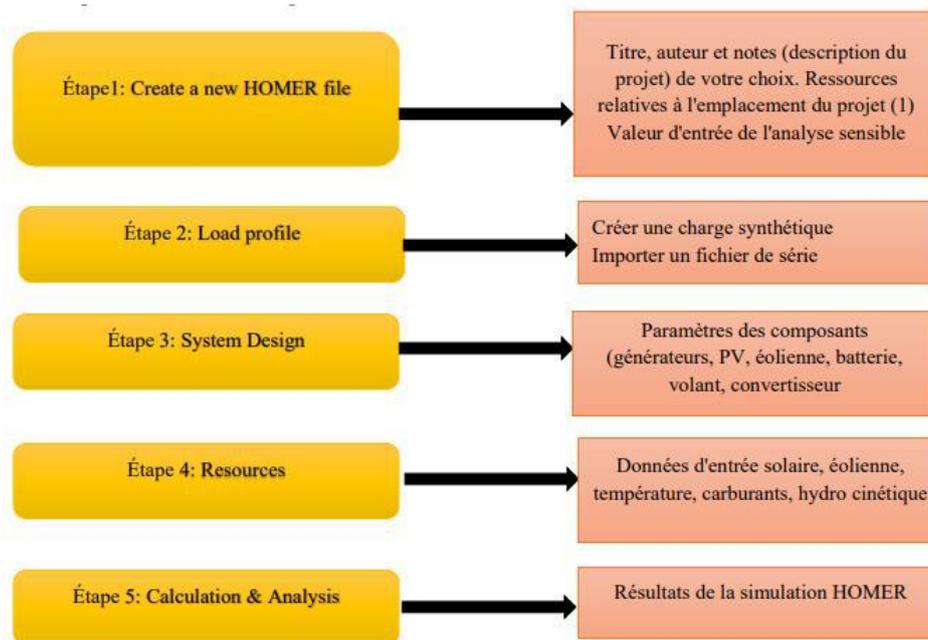


Figure 52: Bibliothèque de Homer

3.4.2 La position du site :

Nous définissons la localisation géographique, nous présentons sur l'interface du logiciel comme illustre la figure 53 qui nous permet de positionner le site de travail sur la carte géographique pour vérifier les coordonnées relatives au site de Cofeed, Mohammadia, et choisir les composants de l'installation et leurs caractéristiques techniques. On définit le système à partir de nom du projet, l'auteur et la localisation du système.

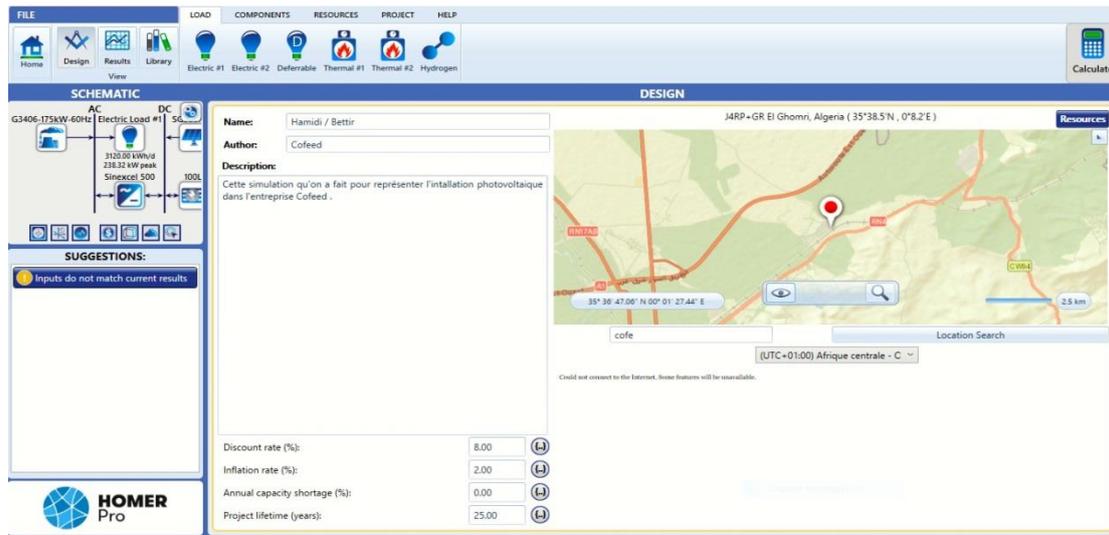


Figure 53: Mise en place notre site géographique El Ghomri, Mohammadia

3.4.3 La température :

La température a un impact significatif sur le fonctionnement des cellules. Il est important de surveiller la fluctuation de cette dernière afin de contrôler son influence sur le rendement des panneaux solaires.

Il est évident que le diagramme de la figure 54 montre que la température maximale pendant les mois d'été ne dépassera jamais la température qui affecte le rendement des cellules.

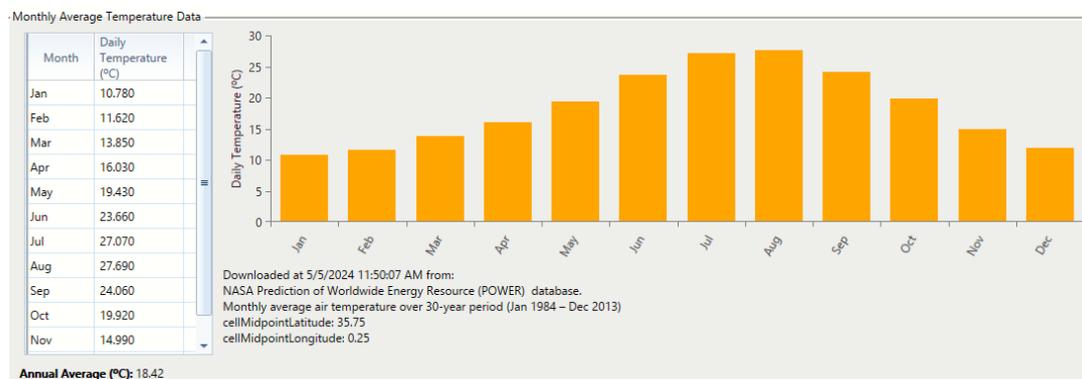


Figure 54: Température du site étudié

3.4.4 Irradiance du site étudié :

La détermination de la taille optimale d'un système photovoltaïque est une étape cruciale dans la conception d'un système photovoltaïque, qui repose principalement sur les informations climatiques du site. Les informations du profil de la variation de l'irradiation solaire moyenne et quotidienne sont présentes dans le graphe présenté dans la figure 55.



Figure 55: Irradiance et indice de clarté du site étudié

3.5 Simulation des composants de système :

3.5.1 Choix du générateur :

Dans cette étude, nous prenons en compte un générateur à gaz naturel d'une capacité 175 kW. Les caractéristiques techniques du générateur que nous prenons en compte dans notre étude sont illustrées par la figure 56.

GENERATOR Name: CAT-NG-175kW-60Hz-CP Abbreviation: G3406- Remove Copy To Library

Properties
Name: CAT-NG-175kW-60Hz-CP
Capacity: 175 kW
Fuel: Natural Gas
Fuel curve intercept: 23.0 m³/hr
Fuel curve slope: 0.216 m³/hr/kW
Emissions
CO (g/m³ fuel): 0
Unburned HC (g/m³ fuel): 0
Particulates (g/m³ fuel): 0
Fuel Sulfur to PM (%): 0
NOx (g/m³ fuel): 0

Generator Cost
Initial Capital (\$): 0.00
Replacement (\$): 0.00
O&M (\$/op. hour): 0.000
Fuel Price (\$/m³): 0.300

Optimization
 Simulate systems with and without this generator
 Include in all systems

Electrical Bus
 AC DC

Site Specific
Minimum Load Ratio (%): 35.00 CHP Heat Recovery Ratio (%): 0.00 Lifetime (Hours): 90,000.00
Minimum Runtime (Minutes): 0.00 Initial Hours: 0.00

Figure 56: Le choix du générateur

3.5.2 Choix des PV :

Les photovoltaïques sont des composants électroniques qui transforment les rayons

lumineux du soleil en électricité par les cellules. Le coût du PV (figure 57) varie linéairement avec sa taille. Pour accélérer le travail, nous avons choisi un panneau photovoltaïque Peimar SG300MBF.

The screenshot shows a software interface for configuring a PV panel. At the top, there are fields for 'Name: Peimar SG300MBF' and 'Abbreviation: SG300M'. Below this, the interface is divided into several sections:

- Properties:** Lists technical details such as 'Name: Peimar SG300MBF', 'Abbreviation: SG300MBF', 'Panel Type: Flat plate', 'Rated Capacity (kW): 1', 'Temperature Coefficient: -0.4', 'Operating Temperature (°C): 25', 'Efficiency (%): 19.1', and 'Manufacturer: Peimar Inc.'.
- Cost:** A table with columns for Capacity (kW), Capital (\$), Replacement (\$), and O&M (\$/year). The first row shows values: 1, 650.00, 650.00, and 0.00. Below the table is a 'Lifetime' field set to 30.00 years.
- Sizing:** Includes radio buttons for 'HOMER Optimizer™', 'Search Space', and 'Advanced'.
- Site Specific Input:** A 'Derating Factor (%)' field set to 80.00.
- Electrical Bus:** Radio buttons for 'AC' and 'DC'.

Figure 57: Déterminer le panneau solaire approprié et ses caractéristiques

3.5.3 Choix des convertisseurs :

La demande d'énergie stockée est liée au fonctionnement du convertisseur, l'analyse de son fonctionnement nous permet de prévoir les périodes de décharge des batteries. Le redresseur (figure 58) fonctionne en fonction de l'état de charge des batteries.

The screenshot shows a software interface for configuring a converter. At the top, there are fields for 'Name: Sinexcel 500kW' and 'Abbreviation: Sinexce'. Below this, the interface is divided into several sections:

- Properties:** Lists details such as 'Name: Sinexcel 500kW', 'Abbreviation: Sinexcel 500', and 'Notes: Both gri-forming and following'.
- Costs:** A table with columns for Capacity (kW), Capital (\$), Replacement (\$), and O&M (\$/year). The first row shows values: 500, \$90,000.00, \$60,000.00, and \$3,000.00.
- Capacity Optimization:** Includes radio buttons for 'HOMER Optimizer™', 'Search Space', and 'Advanced'.
- Inverter Input:** Fields for 'Lifetime (years): 10.00' and 'Efficiency (%): 97.67'. A checkbox 'Parallel with AC generator?' is checked.
- Rectifier Input:** Fields for 'Relative Capacity (%): 100.00' and 'Efficiency (%): 97.67'.

Figure 58: Propriétés du l'onduleur

3.5.4 Choix des batteries :

La mise en place de l'installation peut être réalisée sans système de stockage, mais le rôle des batteries est principalement d'optimiser les paramètres de fonctionnement, afin de réduire la part de l'énergie générée par le générateur traditionnel (figure 59).

STORAGE Name: Generic 100kWh Li-Ion Abbreviation: 100LI

Properties
Idealized Battery Model
Nominal Voltage (V): 600
Nominal Capacity (kWh): 100
Nominal Capacity (Ah): 167
Roundtrip efficiency (%): 90
Maximum Charge Current (A): 167
Maximum Discharge Current (A): 500

Cost

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	70,000.00	70,000.00	1,000.00

Lifetime
time (years): 15.00
throughput (kWh): 300,000.00

Sizing
 HOMER Optimizer™
 Search Space
 Advanced

Site Specific Input
String Size: 1 Voltage: 600.00 V
Initial State of Charge (%): 100.00
Minimum State of Charge (%): 20.00

www.homerenergy.com
This is a generic lithium ion battery package with 100 kWh of energy storage.

Figure 59 : Connexion des batteries au système

3.5.5 Schéma de conception du système :

La figure ci- dessous montre le système global qui sera étudié en utilisant le logiciel HOMER PRO qui comprend les panneaux solaires, le générateur, les convertisseurs et les batteries.

La figure 60 présente le schéma bloc du système :

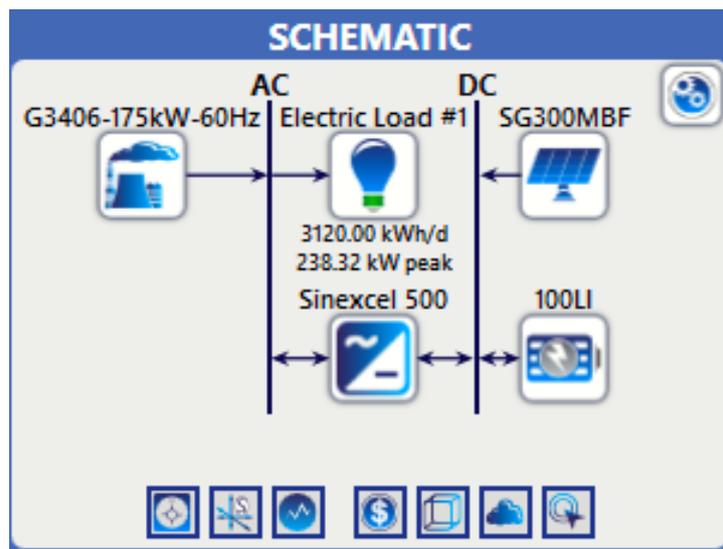


Figure 60: Schéma bloc du système électrique connecte au réseau

3.5.6 Profil de charge :

Après avoir effectué une évaluation de la consommation quotidienne à heure par heure et jour par jour, nous avons importé ces données traitées dans le logiciel Homer pro afin de calculer la consommation quotidienne, mensuelle et annuelle (figure 61) :

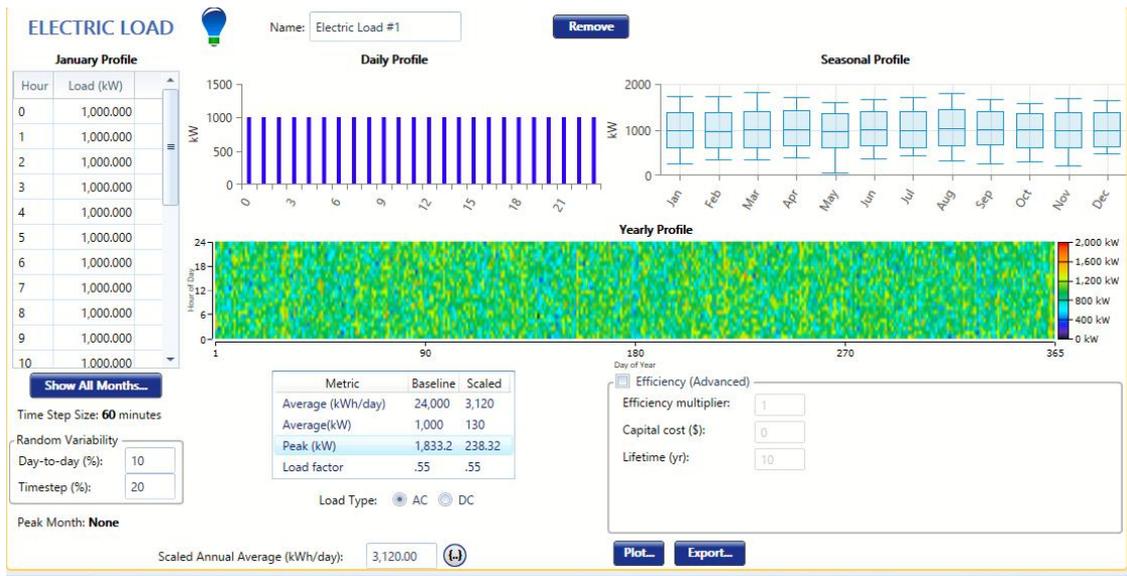


Figure 61: Données montrant le volume de consommation tout au long de l'année

3.6 Résultats de la simulation :

3.6.1 Étude économique :

La figure 62 représente les coûts des composants de l'installation :

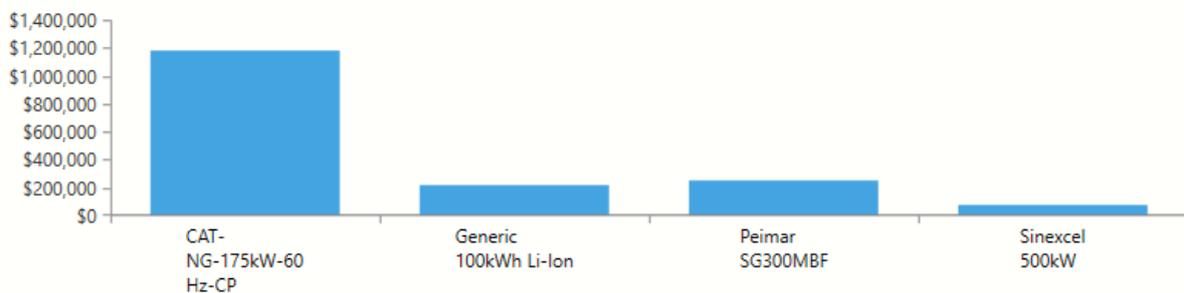


Figure 62: Schéma bloc du système électrique connecté au réseau

Après la simulation, nous avons obtenu les résultats globaux suivants :

Architecture							Cost			
					SG300MBF (kW)	G3406-175kW-60Hz (kW)	100LI	Sinexcel 500 (kW)	NPC (\$)	Initial capital (\$)
					175	175	1	45.7	\$1.86M	\$78,235
					399	175	2	204	\$1.72M	\$436,046

Figure 63: étude de réseau proposé

On remarque que le meilleur système utilisé est le système précédent, qui contient (PV, générateur, convertisseurs, batteries) dans la 2^{ème} ligne.

3.6.2 Étude électrique :

Ci-dessous la production électrique mensuelle par les PV et le générateur (figure 64) :

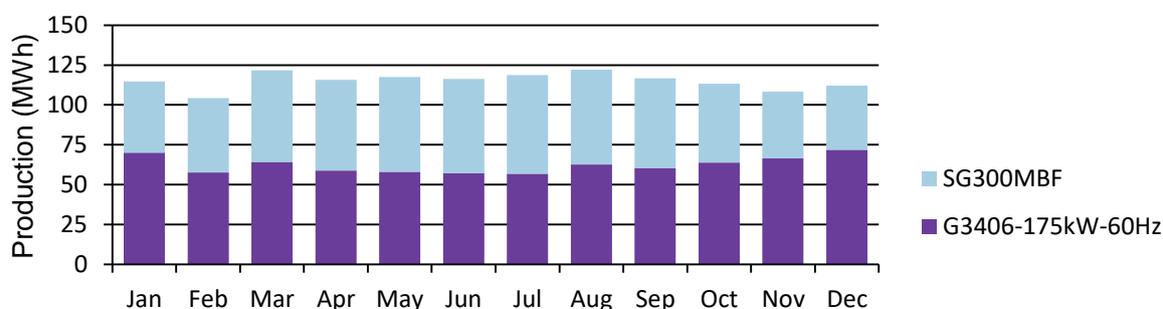


Figure 64: production électrique moyenne mensuelle

Il est observé qu'il existe une légère disparité dans la production d'énergie électrique pendant certains mois de l'année, et que la production moyenne mensuelle de puissance photovoltaïque est significative tout au long de l'année, en particulier pendant les mois d'été.

Le tableau 9 ci-dessous montre l'analyse des résultats du système PV :

Tableau 9: Analyse des résultats du système PV

Production	kWh/yr	%
Peimar SG300MBF	633,449	45.8
CAT-NG-175kW-60Hz-CP	748,126	54.2
Total	1,381,575	100

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	1,138,800	100
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Total	1,138,800	100

L'énergie produite par les cellules photovoltaïques est importante, estimée à 45.8 % de la quantité totale produite, soit 633.449 kWh/an, tandis que la quantité d'énergie produite par le générateur est moyen environ 54.2 %, sur la quantité totale, soit 748.126 kWh/an.

3.6.3 Résultats de la batterie :

Le tableau 10 ci-dessous montre le fonctionnement de la batterie :

Tableau 10: Paramètres de Fonctionnement de la batterie

Quantity	Value	Units
Batteries	2.00	qty.
String Size	1.00	batteries
Strings in Parallel	2.00	strings
Bus Voltage	600	V

Quantity	Value	Units
Autonomy	1.23	hr
Storage Wear Cost	0.246	\$/kWh
Nominal Capacity	200	kWh
Usable Nominal Capacity	160	kWh
Lifetime Throughput	192,165	kWh
Expected Life	15.0	yr

Quantity	Value	Units
Average Energy Cost	0.0479	\$/kWh
Energy In	13,504	kWh/yr
Energy Out	12,154	kWh/yr
Storage Depletion	0	kWh/yr
Losses	1,350	kWh/yr
Annual Throughput	12,811	kWh/yr

La figure 65 présente l'état de charge des batteries :

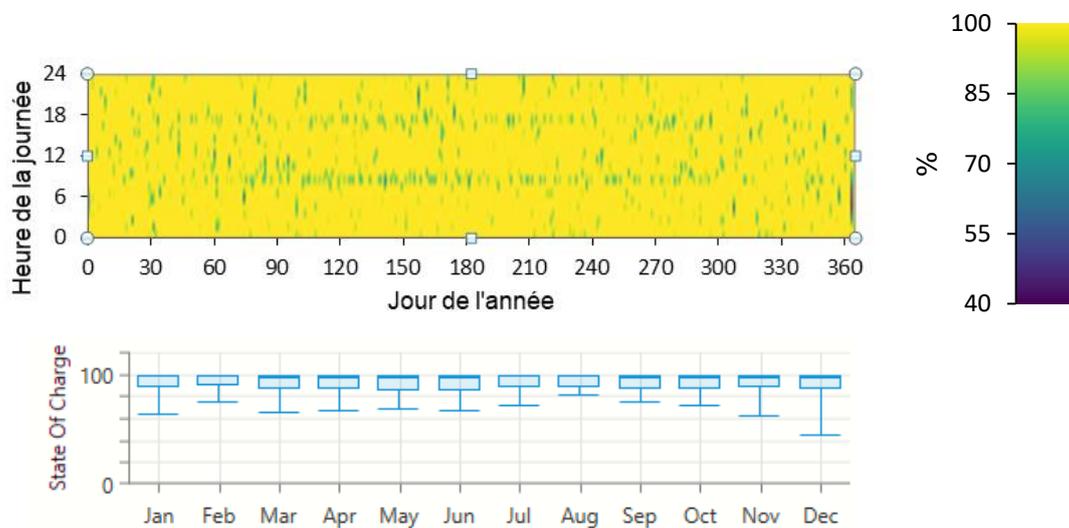


Figure 65: État de charge moyenne journalière et mensuelle des batteries.

La répartition quotidienne moyenne de l'état de charge est assez similaire pour tous les mois, mais avec des valeurs différentes. La quantité d'énergie générée par les batteries serait considérable.

3.6.4 Résultats de convertisseur :

Les paramètres de fonctionnement d'onduleur sont :

Tableau 11: Paramètres de Fonctionnement d'onduleur

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of Operation	4,603	321	hrs/yr
Energy Out	395,662	4,656	kWh/yr
Energy In	405,101	4,767	kWh/yr
Losses	9,439	111	kWh/yr

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	204	204	kW
Mean Output	45.2	0.531	kW
Minimum Output	0	0	kW
Maximum Output	185	58.7	kW
Capacity Factor	22.2	0.261	%

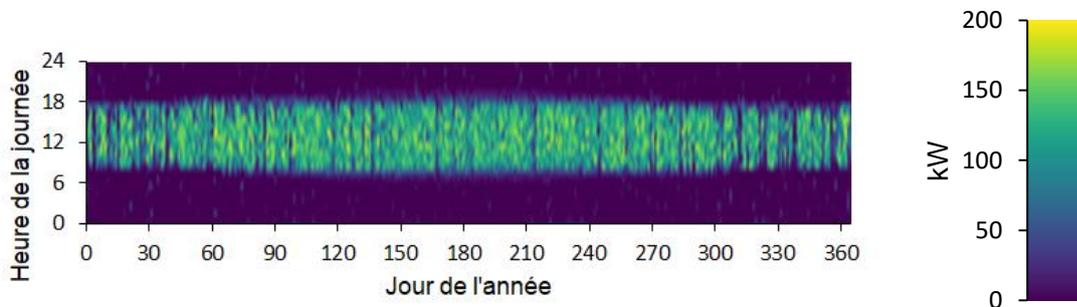


Figure 66: Puissances journalières moyennes délivrées par l'onduleur

3.6.5 Résultats des panneaux photovoltaïques :

Les paramètres de fonctionnement de générateur photovoltaïque sont :

Tableau 12: Paramètres de Fonctionnement du PV

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	399	kW
Mean Output	72.3	kW
Mean Output	1,735	kWh/d
Capacity Factor	18.1	%
Total Production	633,449	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	418	kW
PV Penetration	55.6	%
Hours of Operation	4,387	hrs/yr
Levelized Cost	0.0304	\$/kWh

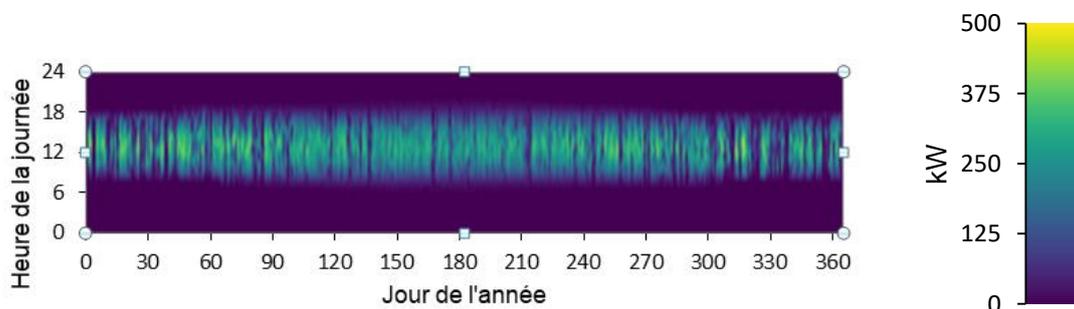


Figure 67: Puissances journalières moyennes délivrées par les panneaux photovoltaïques

Après l'analyse des résultats obtenus pour les puissances moyennes journalières du PV, on remarque que la période de fonctionnement du PV est plus étroite pendant les mois d'hiver, et

l'inversement pour la période d'été. La production par PV est très élevée environ entre 8h et 18h, soit 10 heures par jours.

3.6.6 Résultats du générateur :

Le tableau 13 présente les caractéristiques du générateur :

Tableau 13: Caractéristiques du générateur isolé du réseau

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	6,253	hrs/yr
Number of Starts	536	starts/yr
Operational Life	14.4	yr
Capacity Factor	48.8	%
Fixed Generation Cost	6.91	\$/hr
Marginal Generation Cost	0.0648	\$/kWh

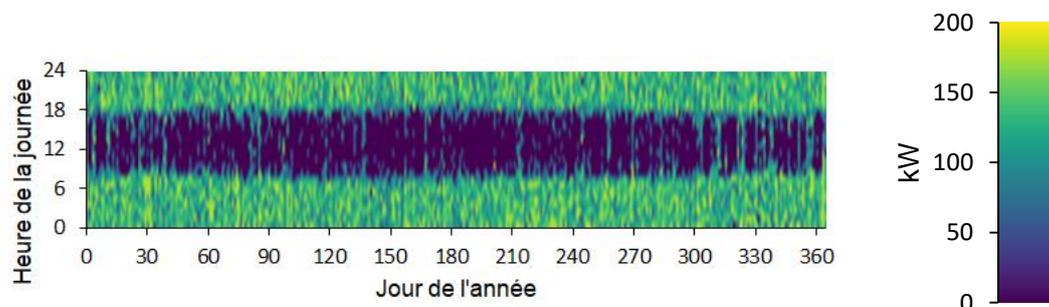


Figure 68: Puissances journalières moyennes délivrées par le générateur photovoltaïque.

Après l'analyse des résultats obtenus pour les puissances moyennes journalières du générateur, on remarque que la période de fonctionnement du générateur est plus étroite environ entre 8h et 18h et plus élevé après 18h. C'est l'inverse du fonctionnement des PV.

3.6.7 Répartition des coûts de l'installation :

Le tableau 14 ci-dessous montre les couts de l'installation

Tableau 14: Coûts de l'installation

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
CAT-NG-175kW-60Hz-CP	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$1,185,404.23	\$0.00	\$1,185,404.23
Generic 100kWh Li-Ion	\$140,000.00	\$59,398.34	\$25,855.03	\$0.00	-\$11,179.37	\$214,074.00
Peimar SG300MBF	\$259,350.84	\$0.00	\$0.00	\$0.00	-\$10,354.92	\$248,995.91
Sinexcel 500kW	\$36,695.31	\$21,612.01	\$15,812.64	\$0.00	-\$2,930.22	\$71,189.74
System	\$436,046.14	\$81,010.35	\$41,667.67	\$1,185,404.23	-\$24,464.50	\$1,719,663.89

Coût net actuel : 1, 719,663.89 \$

Le coût total du projet est du 1, 719,663.89 \$.

La figure 69 suivante présente les flux :

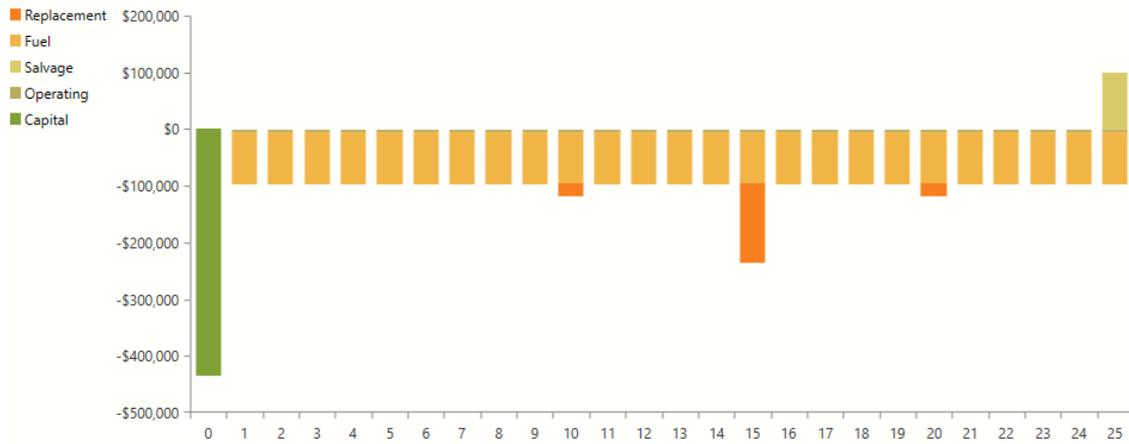


Figure 69: les flux de trésorerie

3.7 Évaluation environnementale :

D'après le tableau 15, On remarque que la quantité de gaz polluant est réduite qui est due à l'utilisation des panneaux solaires qui sont des facteurs clés dans la réduction de ces quantités.

Tableau 15: Quantité du gaz polluant émis à Cofeed, Mohammadia

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	593,203	kg/yr
Carbon Monoxide	0	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr
Particulate Matter	0	kg/yr
Sulfur Dioxide	0	kg/yr
Nitrogen Oxides	0	kg/yr

3.8 Étude de l'espace et du coût :

3.8.1 Etude de l'espace:

Les panneaux solaires sont généralement orientés dans une seule direction, souvent vers le sud dans l'hémisphère nord et vers le nord dans l'hémisphère sud, pour maximiser leur exposition au soleil tout au long de la journée. Cette orientation optimale permet aux

panneaux solaires de capturer la plus grande quantité de lumière solaire possible, ce qui augmente leur rendement énergétique.

En orientant les panneaux solaires vers une direction fixe, on s'assure qu'ils reçoivent une exposition directe au soleil pendant la majeure partie de la journée, ce qui est essentiel pour générer de l'électricité à partir de la lumière solaire.

De plus, en orientant les panneaux solaires dans une seule direction, il est plus facile de concevoir et d'installer les systèmes de montage, et cela simplifie également la planification et l'entretien à long terme des installations solaires.

La hangar de l'entreprise Cofeed est montré dans la figure 70 comme suit :

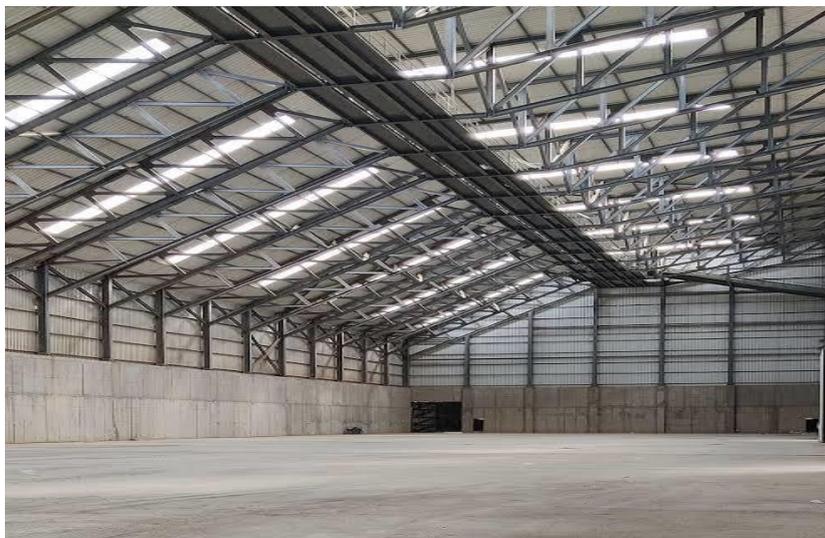


Figure 70: hangar de l'entreprise Cofeed

D'après l'étude de l'espace concernant l'entreprise Cofeed, on propose le hangar qui est destiné à stocker le produit final, l'espace idéal pour l'installation photovoltaïque.

Vu que le nombre de panneaux 399 ;

Panneau solaire

- Nombre : 399
- Surface : 1.627 m²
- Poids : 18 kg

le hangar

- Longueur : 69 m / Largeur : 28.2m
- Surface : 1950.53 m²
- Application : stockage de produit final

Après le calcul :

La surface totale pour le nombre total des panneaux : 650 m²

Puisque l'orientation des panneaux solaires est dans une seule direction, on divise la surface

d'hangar sur deux :

$$S = \frac{\text{Surface d'hangar}}{2} = \frac{1950,53}{2} = 975,265 \text{ m}^2 \dots\dots\dots (7)$$

En comparant les surfaces $975,265 \text{ m}^2 > 650 \text{ m}^2$, on distingue que l'installation est réalisable à 100 %.

Ci-dessous (figure 71) localisation du hangar :



Figure 71: l'emplacement de hangar

3.8.2 Etude de coût:

Le chiffre d'affaires annuel est : 12,5 M\$

Le cout d'installation est : 1.72 M\$.

Donc le projet d'installation photovoltaïque est réalisable

3.9 La sécurité environnementale :

La mise en place d'un système photovoltaïque sur le toit d'un hangar de 1950,53 m² constitue une solution efficace pour générer de l'énergie renouvelable. Cependant, il est essentiel de prendre en considération divers aspects de la sécurité environnementale afin de réduire au minimum les conséquences néfastes. Voici les principaux aspects à prendre en considération :

- Utilisation des panneaux fabriqués de manière durable avec des matériaux recyclables en évitant les panneaux contenant des substances toxiques comme le cadmium.
- Prévois un plan de recyclage ou de réutilisation des panneaux en fin de vie.
- Utilisation des techniques de nettoyage économes en eau pour les panneaux solaires en

évitant le gaspillage d'eau.

- Assure-toi que le toit peut supporter le poids des panneaux sans compromettre son étanchéité.
- Garantir que l'installation n'entrave pas la ventilation naturelle du toit pour éviter les surchauffes.
- Vérification des réglementations locales concernant les installations photovoltaïques.
- Mis en place un plan de maintenance régulier pour garantir le bon fonctionnement des panneaux et maximiser leur efficacité énergétique.
- Utilisation des produits de nettoyage non toxiques et respectueux de l'environnement pour l'entretien des panneaux.
- Installation des systèmes de sécurité incendie adéquats, car les systèmes photovoltaïques, comme toute installation électrique, peuvent présenter des risques d'incendie.

3.10 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté un dimensionnement d'une installation photovoltaïque-osmose inverse, où nous avons choisi l'entreprise Cofeed pour mener ces études.

L'étude de faisabilité réalisée avec le logiciel HOMER a démontré que l'intégration d'une installation photovoltaïque avec un système d'osmose inverse est non seulement techniquement viable mais également économiquement avantageuse. L'utilisation de l'énergie solaire pour alimenter le processus de dessalement permet de réduire les coûts énergétiques et l'empreinte carbone. Les résultats obtenus confirment que cette solution est durable et efficace pour répondre aux besoins en eau potable dans les régions ensoleillées.

Chapitre 4 :
Étude et dimensionnement d'une station
d'osmose inverse

Chapitre 4 : étude et dimensionnement d'une station d'osmose inverse

4.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous étudions une station d'osmose inverse en nous basant sur les analyses physico-chimiques de l'eau. Nous exposons les résultats de deux puits : celui de Tizi et d'Es-Senia, en examinant leur conception et dimensionnement pour une installation alimentée par l'énergie solaire photovoltaïque. Après avoir optimisé le système en termes de qualité de l'eau traitée et de consommation énergétique, nous présentons les scénarios étudiés. Enfin, nous identifions les points clés pour garantir une station d'osmose inverse efficace et optimale afin de produire de l'eau potable.

4.2 Partie 1 : étude d'un système osmose inverse :

4.2.1 Critères de qualité des eaux de puits :

L'eau de puits est une source souterraine utilisée pour la consommation, l'irrigation et d'autres besoins domestiques, nécessitant des tests réguliers pour garantir sa qualité et sa sécurité. Elle peut être sujette à des contaminants chimiques et microbiologiques, rendant essentiels les contrôles appropriés.

Parmi Les critères de qualité des eaux de puits incluent des analyses physico-chimiques (pH, métaux lourds, nitrates), microbiologiques (bactéries, virus, parasites) et organoleptiques (goût, odeur, couleur, clarté) pour garantir leur potabilité et sécurité sanitaire.

a- Les paramètres physiques :

Température : la température de l'eau permet de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). La température est un critère très importants, car les eaux de puits ont une température constante puisqu'elles sont à l'abri du rayonnement solaire et de l'atmosphère.

La conductivité : la conductivité électrique est la propriété qui a une eau pour conduire le courant électrique. Elle dépend de la qualité d'ions que renferme cette eau ainsi que sa température. Une conductivité élevée traduit une grande salinité. Ceci peut provoquer un entartage des conduits si l'excès est dû aux ions (Ca^{+2})

Le pH (potentiel Hydrogène) : le pH mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base ;

Des $\text{pH} < 7$ augmentent la corrosion des tuyauteries métalliques conduisant à une

augmentation de certaines substances métalliques (plomb, cadmium)

Des pH > à 8 entraînent une diminution de l'efficacité de la désinfection au chlore, et augmentent les dépôts incrustants dans les canalisations

b- Les paramètres chimiques indispensables :

La dureté : la dureté ou titre hydrotimétrique (TH) d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les ions fer, aluminium, manganèse, strontium. La dureté est encore appelée dureté calcique et magnésienne ou consommation de savon.

Dans l'eau sont déterminés :

La dureté totale ou titre hydrotimétrique TH qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne. La dureté calcique qui correspond à la teneur globale en sels de calcium ; La dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium

L'alcalinité : l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates (HCO_3^{-}), carbonates (CO_3^{-2}) et hydroxydes (OH^{-}).

On distingue, deux titres qui sont le titre alcalimétrique ou titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC)

- Titre alcalimétrique simple (TA) :

Le TA correspond donc à la teneur d'une eau en hydroxydes et de la moitié de sa teneur en carbonates alcalin et alcalino- terreux

- Titre alcalimétrique complet (TAC) :

Le TAC est la teneur d'une eau en hydroxydes, en carbonates, et en hydrogencarbonates alcalin et alcalino- terreux.

Les Chlorures Les teneurs en chlorures des eaux de puits sont extrêmement variables et liées principalement à la nature de terrains traversés.

Les Sulfates Les sulfates proviennent de la dissolution du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé.

L'aluminium : l'aluminium est le 3^{ème} élément le plus abondant de la croûte terrestre. Une des causes les plus courantes de la présence d'aluminium est le traitement de l'eau par des sels d'aluminium comme agents de coagulation, pour éliminer la couleur ou la turbidité.

Potassium : le potassium est présent dans l'eau à des teneurs ne dépassant pas habituellement 10 à 45mg/l.

La silice : la silice est un composé abondant, présent dans l'eau souterraine en raison de l'érosion des roches et des minéraux.

Les Métaux lourds : incluent le Fer, le Manganèse, le Zinc.[54]

4.2.2 Détermination des besoins d'eau :

La détermination des besoins en eau est essentielle avant d'installer un système d'osmose inverse. Il faut évaluer la consommation quotidienne d'eau potable pour l'ensemble des utilisateurs, incluant les usages domestiques comme la boisson, la cuisine et le nettoyage, ou les usages agricoles ou industriels. Estimer la qualité et la quantité d'eau requises permet de dimensionner correctement le système, en tenant compte des débits nécessaires et de la capacité de filtration. Cette évaluation garantit une performance optimale du système d'osmose inverse, assurant une fourniture suffisante d'eau pure et sûre pour tous les besoins.

4.2.3 Choix des Composants Appropriés :

La station OI se compose de plusieurs éléments qui peuvent être adaptés en fonction de la qualité de l'eau analysée :

Pré filtration :

Filtres à sable : Éliminent les particules solides (sable, limon, rouille).

Filtres à charbon : Réduisent le chlore, les composés organiques volatils (COV) et améliorent le goût et l'odeur de l'eau.

Membranes d'Osmose Inverse :

- Type de membrane : Choisissez des membranes adaptées aux niveaux de TDS et aux types de contaminants identifiés.
- Capacité : Assurez-vous que la membrane peut traiter le volume d'eau nécessaire pour répondre à vos besoins quotidiens.

Post filtration et Traitement exigence :

- Post-filtres à charbon: Affinent la purification de l'eau en éliminant les résidus de goût et d'odeur.

Choix de type de membrane d'osmose inverse :

Les membranes d'osmose inverse varient en fonction de leur capacité de filtration et de leur résistance aux contaminants. Les types de membranes couramment utilisés incluent :

- Cellulose acétate : efficace mais moins résistante au chlore
- Membrane composite film mince (TFC) : meilleure efficacité et durabilité
- Membrane en polyamide : haute résistance chimique et bonne efficacité

Considérations d'exigences :

- Espace et installation : assurez-vous d'avoir l'espace nécessaire pour installer le système et les réservoirs de stockage.
- Maintenance et coût : évaluez les coûts d'entretien, y compris le remplacement des filtres et des membranes.
- Marque et garantie : choisissez une marque reconnue et vérifiez les termes de la garantie et du service après-vente.

4.3 Partie 2 Etude de cas : Puits de Tizi

4.3.1 Présentation de la zone d'étude :

Tizi est une ville et une commune de la wilaya de Mascara, en Algérie (figure 72) :



Figure 72 : Localisation du site de forage Tizi, Wilaya de Mascara

4.3.2 Analyse de l'eau de forage du site Tizi :

Avant le dimensionnement du système de dessalement par OI, il est nécessaire de connaître la qualité de l'eau brute à dessaler. Les résultats des analyses de l'eau saumâtre prélevée sont illustrés dans le tableau 16. On constate que la qualité de ces eaux est généralement salée, légèrement saumâtre et médiocre en raison de la nature chimique des couches géologiques traversées (tableau 16) :

Tableau 16: Analyse physico-chimique de l'eau saumâtre. [55]

Paramètres	Résultats
pH	8.1
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	856
TAC ($\text{mg}/\text{l}(\text{CaCO}_3)$)	341.6
Dureté Total ($^\circ\text{F}$)	5.24
TDS (mg/L)	420
Sodium Na (mg/L)	52.47
Potassium K (mg/L)	2.83
Calcium Ca (mg/L)	18.43
Magnésium Mg (mg/L)	70.05
Chlorure CL (mg/L)	155.99
Nitrate NO ₃ (mg/L)	8.41
Sulfate SO ₄ (mg/L)	78.3
Fer Fe (mg/L)	0.2
Phosphore PO ₄ (mg/L)	0.1
Bicarbonate HCO ₃ (mg/L)	16.5

4.3.3 Conception et dimensionnement d'un système d'OI par IMS-Design :

4.3.3.1 Présentation de logiciel :

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

4.3.3.2 Paramètre de fonctionnement de logiciel (IMS-Design) :

Débit de production : c'est la quantité d'eau produite par jour (m^3/jrs)

Taux de conversion : le taux ou facteur de conversion est le rapport du débit de perméat au débit d'alimentation. Le taux de conversion est très variable en fonction de la qualité désirée, de la qualité de la ressource disponible, et en particulier du risqué à la précipitation des sels

minéraux en surface de membrane.

$$Y(\%) = \frac{Q_p}{Q_a} \cdot 100 \dots \dots \dots (8)$$

Avec :

Q_p : débit d'alimentation (m^3/jrs)

Q_a : débit de perméat (m^3/jrs) Y : taux de conversion

Qualité d'eau produit (TDS, pH....) : c'est les analyses de salinité de perméat (TDS) et le pH.

Consommation énergétique : est le calcul de consommation d'énergie en kilowatt par mètre cube (KWh/m^3)

4.3.3.3 Étapes de simulation par IMSdesign :

Étape 1 :

Analyse : C'est l'étape où nous ajoutons l'analyse d'eau de forage Tizi (figure 73) :

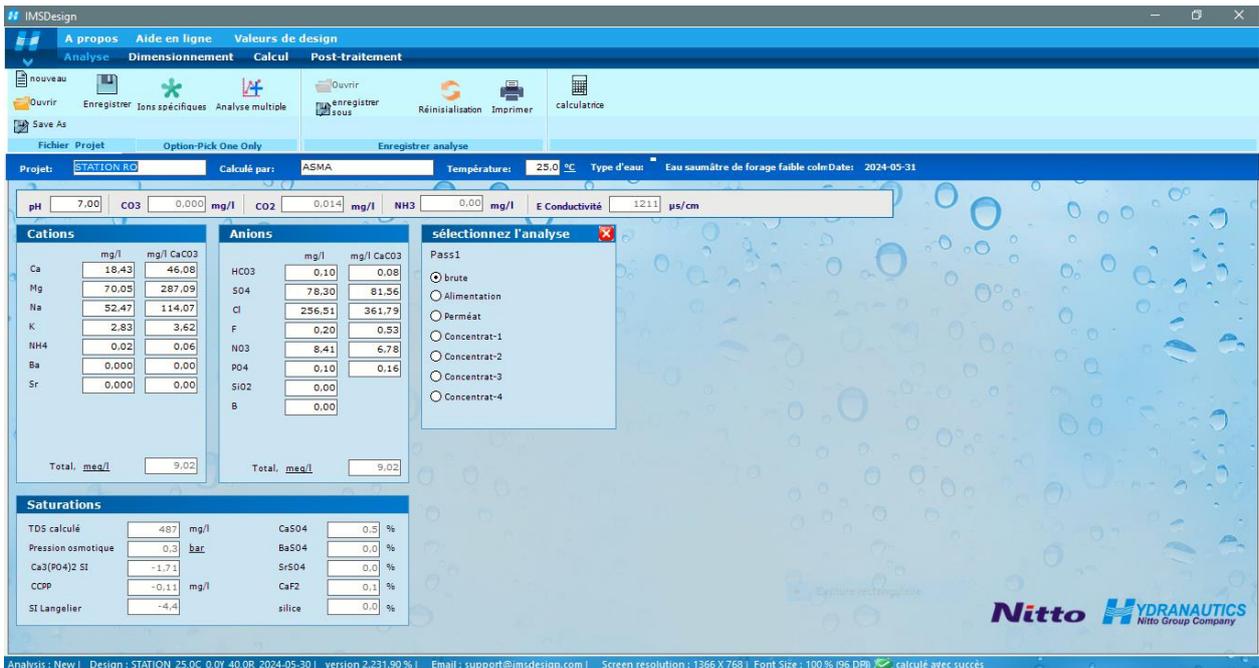


Figure 73: Étape analysé par IMS-Design

Étape 2 :

Dimensionnement : c'est la partie d'ajouter les conditions et choisir le type de membrane et même dans cette étape le calcul de consommation énergétique (figure 74) :

Chapitre 4: Etude et dimensionnement d'une station d'Osiose Inverse

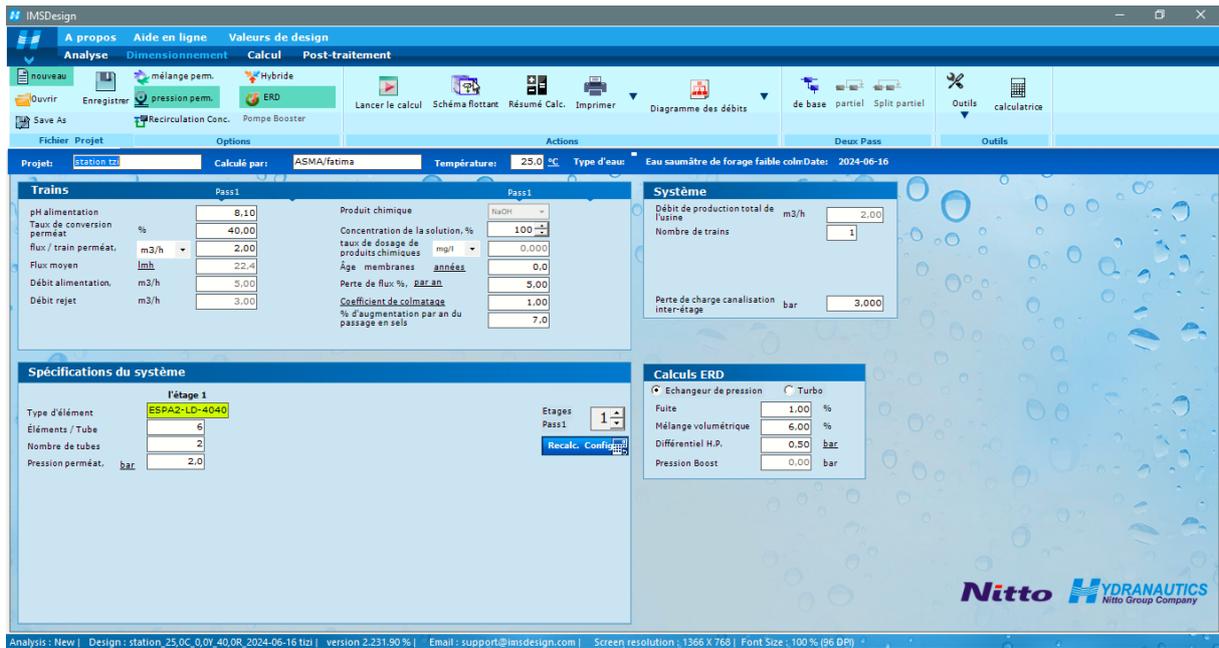


Figure 74 : L'étape de dimensionnement avant le calcul

Nous montrons dans la figure 75 de dimensionnement après le calcul :

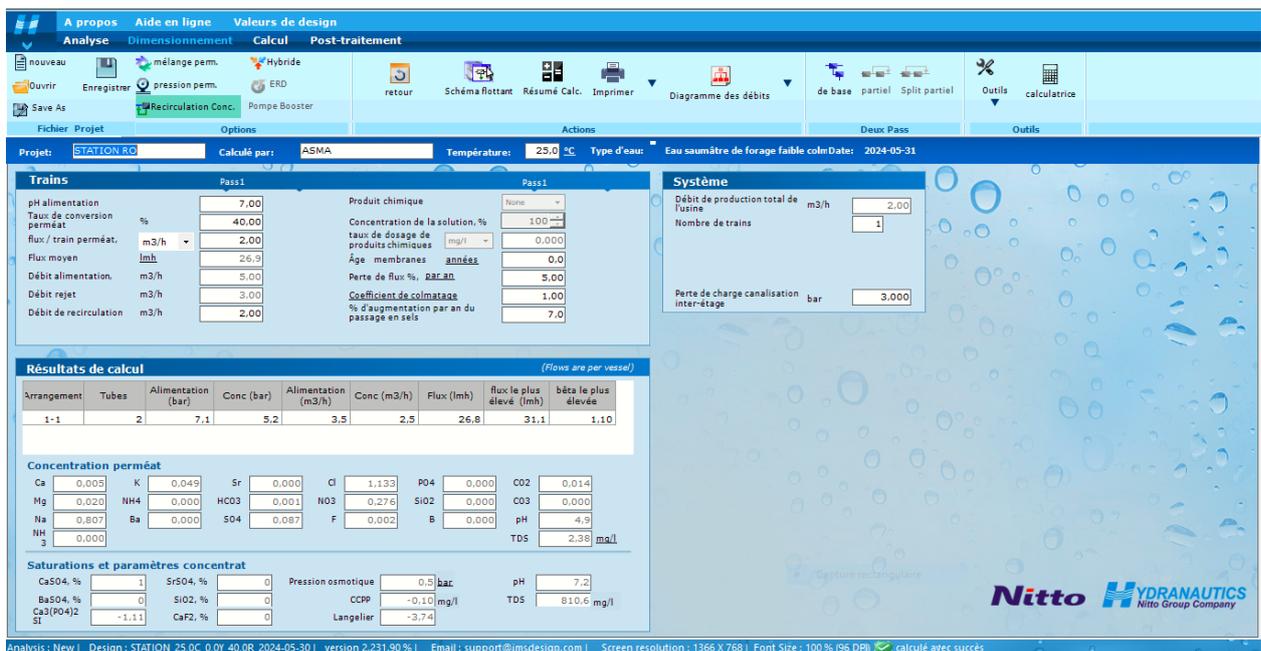


Figure 75: L'étape de dimensionnement après le calcul

Étape 3 :

Calcule : c'est l'étape de l'affichage des résultats de consommation énergétique et le coût (figure 76) :

Chapitre 4: Etude et dimensionnement d'une station d'Osmose Inverse

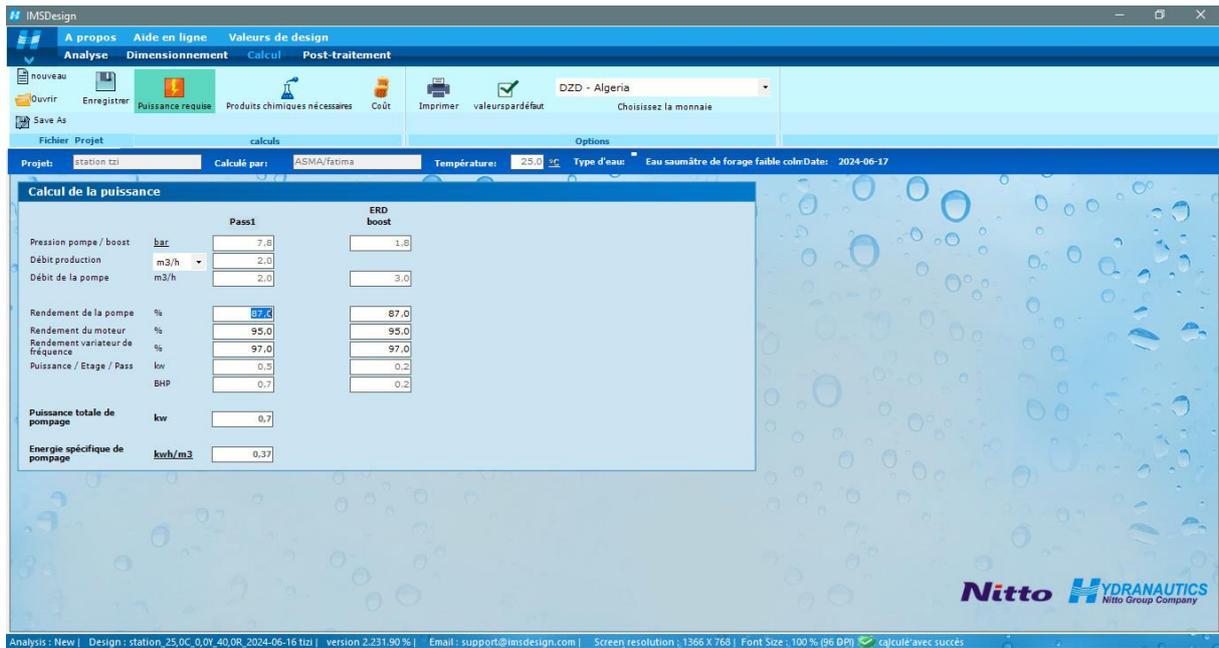


Figure 76: Étape de résultat de calcul de consommation énergétique

La figure 77 suivant présente le calcul des coûts :

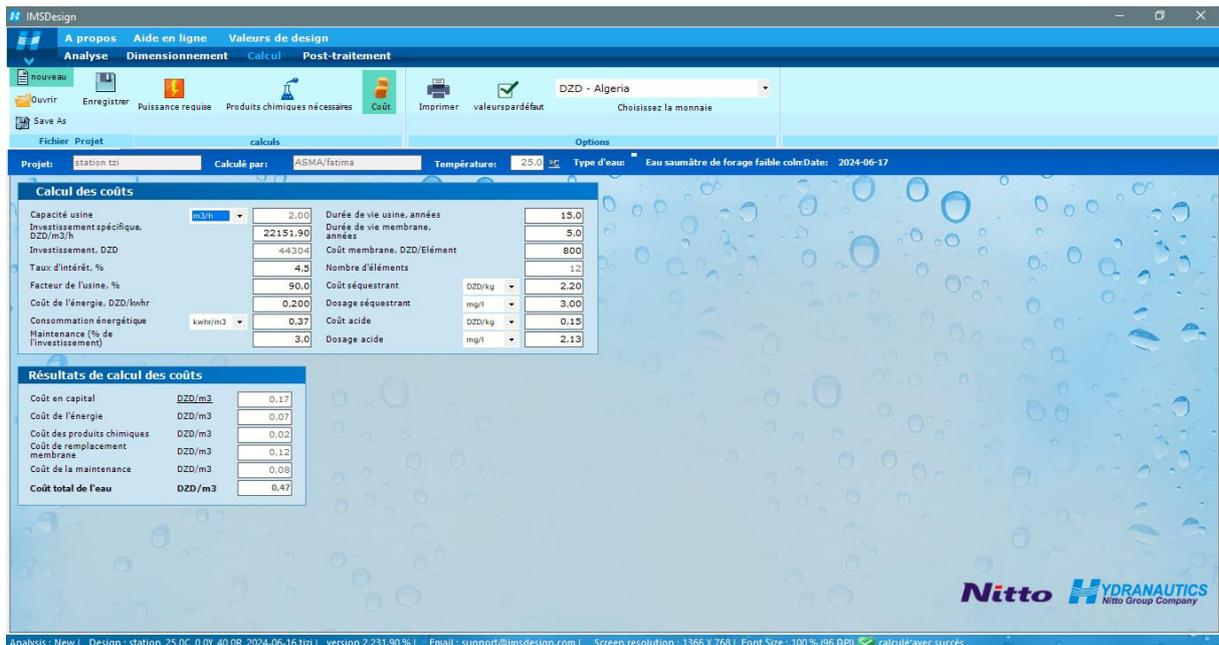


Figure 77: Étape de résultat de calcul de coût

Étape 4 :

Post-traitement : C'est la partie de traitement chimique de perméat (figure 78) :

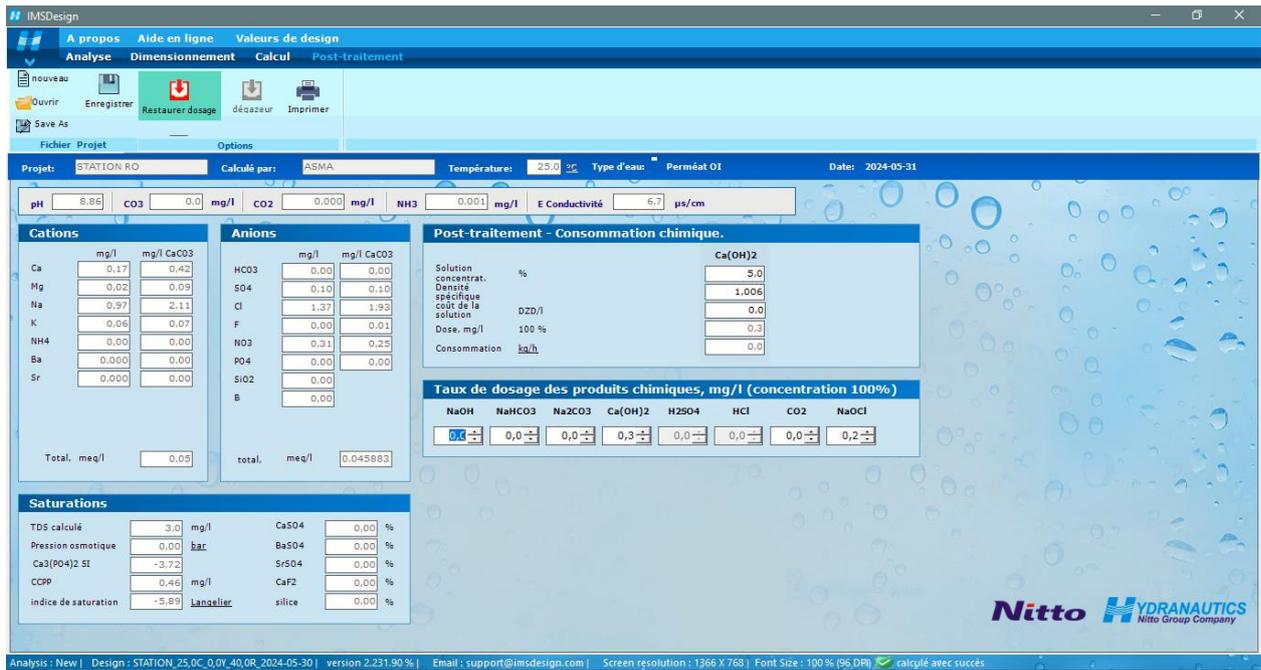


Figure 78: Étape de post traitement

4.3.3.4 Choix et optimisation de la membrane :

Le choix de la membrane est effectué à l'aide d'un logiciel IMS-Design. Différentes configurations sont étudiées en utilisant des modules membranaires à savoir ESPA2-LD-4040, ESPA4-LD-4040, LFC3-LD4040, Leurs paramètres caractéristiques sont représentés dans la figure. Le choix de la membrane pour un système d'osiose inverse doit être basé sur plusieurs critères, notamment la teneur totale en matières dissoutes (TDS) de chaque membrane, la consommation d'énergie spécifique, le taux de conversion, la pression d'opération, la température et le pH de l'eau à traiter. Le TDS est importante car elle indique la quantité de sels et de minéraux présents dans l'eau et détermine la capacité de la membrane à réduire ces minéraux. La consommation d'énergie spécifique est également un critère important pour évaluer l'efficacité énergétique du système. Enfin, le taux de conversion indique la proportion d'eau traitée qui est convertie en eau pure, ce qui est un indicateur de l'efficacité de la membrane.

Dans la deuxième étape de la simulation, on a pu avoir le TDS et la consommation de chaque membrane ;

La membrane de type ESPA4-LD-4040 a donné un TDS moyen (8.50 mg/L), mais consomme une faible énergie (0.24 kWh/m3), elle n'est donc pas adaptée.

La membrane de type LFC3-LD-4040 consomme d'énergie moyenne (0.16 kWh/m3), mais le TDS élevé (11 mg/L) elle n'est donc pas valable.

Chapitre 4: Etude et dimensionnement d'une station d'Osiose Inverse

La membrane de type ESPA2-LD-4040 consomme d'énergie moyenne (0.31 kWh/m³), et le TDS moyen (2.78 mg/L) donc elle est meilleur choix.

En fait, nous constatons que la membrane ESPA2-LD-4040 présente la plus faible valeur de TDS (2.78 mg/L) et une consommation d'énergie moyenne de 0.31 kWh/m³ par rapport aux autres membranes. Le choix s'est porté alors sur la membrane du fabricant Hydranautics, qui produisait une bonne qualité d'eau, pour la suite de notre étude.

Voici la fiche technique (figure 79) de la membrane :

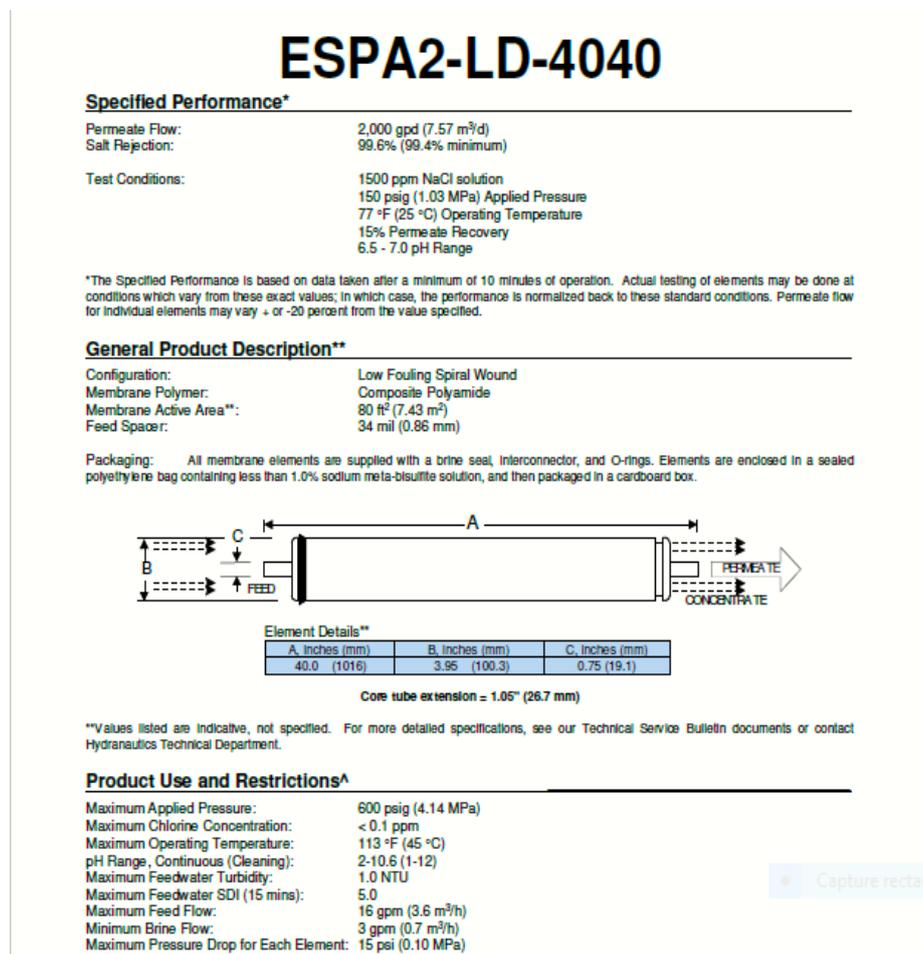


Figure 79: Fiche technique de la membrane ESPA2-LD-4040

4.3.3.5 Choix et optimisation de la configuration du system d'OI :

Ci-dessous le tableau 17 qui montre les différentes configurations :

Tableau 17: Les différentes configurations proposées pour system OI.

Spécification du système	Débit d'eau d'alimentation (m3/h)	Type de configurations	Tube de pression/étage	Élément de membrane/étage
Scénario 1	2	1 étage	1	4
Scénario 2	2	2 étage	1	2
Scénario 3	2	4 étage	1	1
Scénario 4	2	1 étage	2	6
Scénario 5	2	1 étage	2 avec échangeur de pression	6

Pour élaborer un schéma du procédé d'osmose inverse, nous avons établi plusieurs "scénarios", en utilisant la membrane choisie "ESPA02-4040" d'une surface active de 8,4 m² pour le dessalement de l'eau saumâtre, et nous avons effectué les tests les six configurations qui en découlent. Ces scénarios ont été établis conformément aux caractéristiques de la membrane choisie et de l'eau saumâtre de la région de TIZI. Les différentes configurations proposées sont répertoriées dans le tableau en indiquant le nombre d'étages, le nombre de membranes et les tubes de pression par étage. L'objectif de cette étude est d'évaluer les performances de chaque configuration et de déterminer la configuration optimale pour notre cas.

4.3.3.6 Présentation des différents scénarios :

Scénarios 1 :

La configuration utilisée dans ce scénario est un système à module unique, composé d'un seul tube de pression. Ce module comprend quatre (04) éléments membranaires "ESPA02-4040" qui sont connectés en série.. Le concentrât produit par le premier élément devient l'alimentation du deuxième élément, et ainsi de suite. Les tubes de pression de tous les éléments sont connectés au port de perméat du module (figure 80) :

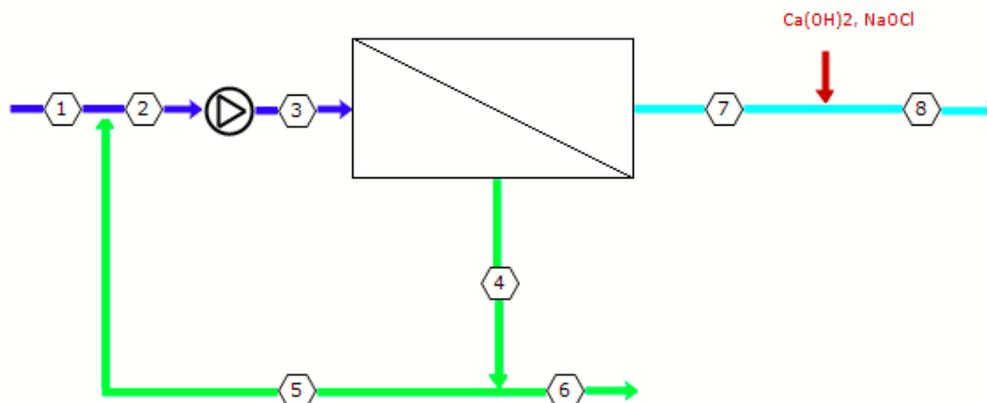


Figure 80: Présentation de la configuration « scenario 01 »

Scénarios 2 :

Pour le deuxième scénario, la configuration utilisée est un système à deux étages avec un tube de pression dans chaque étage. Chaque étage comprend deux (02) éléments membranaires qui sont connectés en série. Le concentrât produit par le premier étage devient l'alimentation du deuxième étage. En effet, cette configuration à deux étages avec un tube de pression dans chaque étage permet d'amplifier davantage le processus d'osmose inverse en utilisant plusieurs éléments membranaires en série. Cela permet d'améliorer la séparation des solutés et d'obtenir une plus grande récupération de perméat (figure 81) :

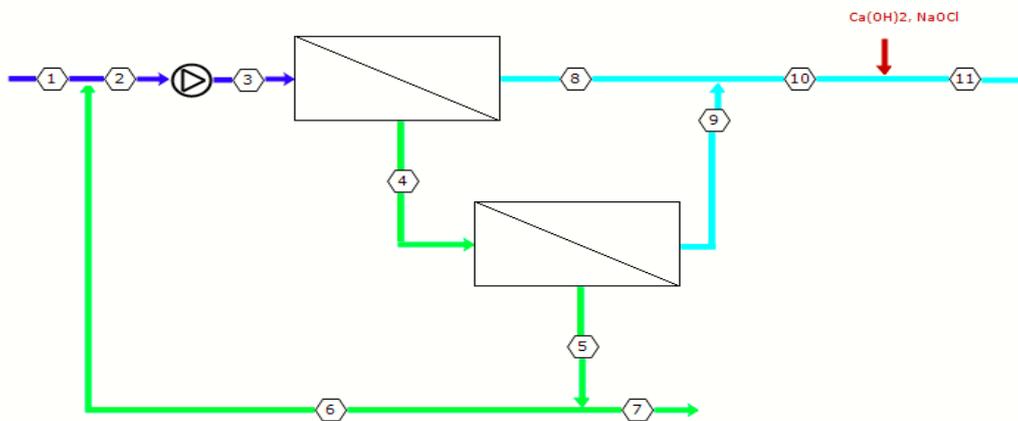


Figure 81: Présentation de la configuration « scenario 02 » avec deux étages

Scénarios 3 :

La configuration « scénario3 » utilisée est un système à quatre étages avec un tube de pression dans chaque étage. Chaque étage comprend un élément membranaire qui est connecté en série (figure 82) :

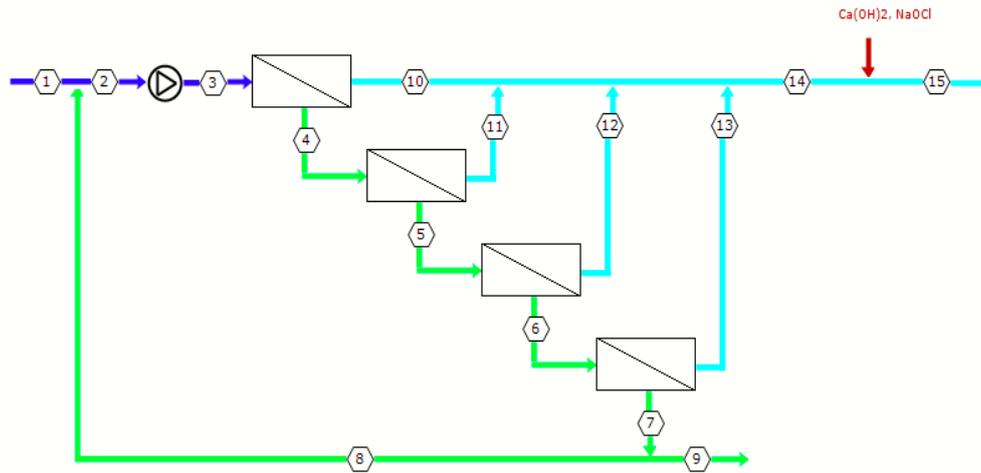


Figure 82: Présentation de la configuration « scénario 03 » avec quatre étages

Le concentrât produit par le premier étage devient l'alimentation du deuxième étage, et ainsi de suite pour les étages suivants. Cette configuration à quatre étages avec un tube de pression dans chaque étage permet d'amplifier le processus d'osmose inverse en utilisant plusieurs étages de membranes en série

Scénarios 4 :

Dans ce scénario, la configuration utilisée est un système un seul étages avec deux tube de pression. Ce module comprend six (06) éléments membranaires qui sont connectés en série (figure 83) :

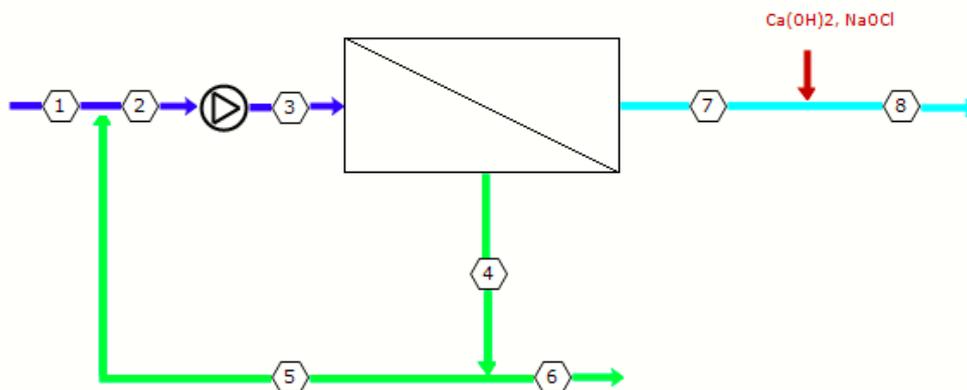


Figure 83: Présentation de la configuration « scénario 04 » avec un seul étages

Scénarios 5 :

Dans ce scénario, la configuration utilisée est un système un seul étages avec deux tube de pression. Ce module comprend six (06) éléments membranaires qui sont connectés en série. Avec échangeur de pression (figure 84) :

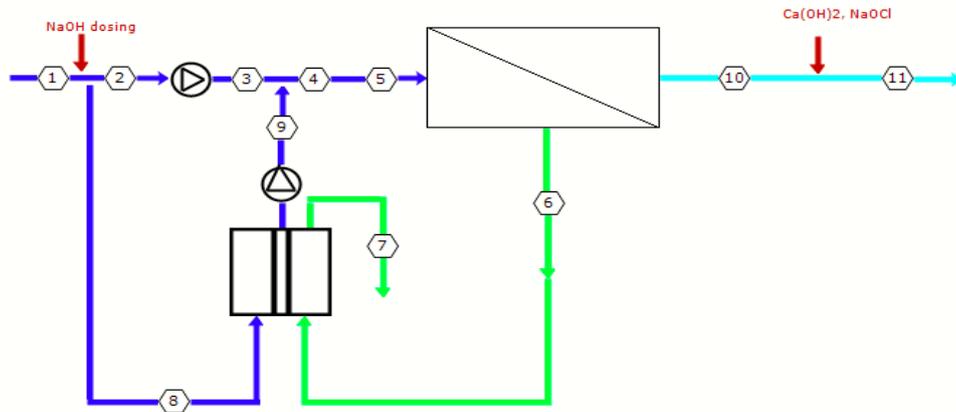


Figure 84: Présentation de la configuration « scénario 05 » avec échangeur de pression

Le tableau 18 ci-dessous présente les résultats de calcul :

Tableau 18: Résultats de calcul par IMS-Design

Scenario	Consommation d'énergie (kWh/m ³)	TDS (mg/l)	PH
Scénario 1	2.26	2.70	5.6
Scénario 2	2.45	2.80	5.7
Scénario 3	2.8	2.80	5.7
Scénario 4	1.02	6.20	6.1
Scénario 5	0.37	5.70	6.1

Nous présentons dans (la figure 85) la consommations d'énergies par les différentes scénarios :

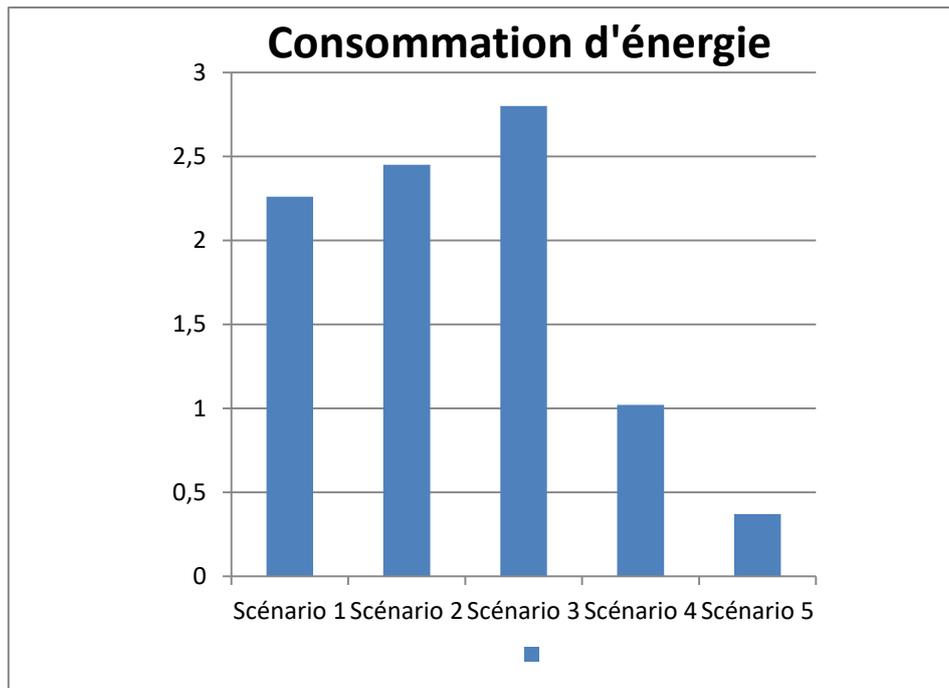


Figure 85: Les résultats de simulation par IMS pour différents scénarios

Les deux courbes suivantes dans (la figure 86) présentent le TDS et le PH dans chaque scénario :

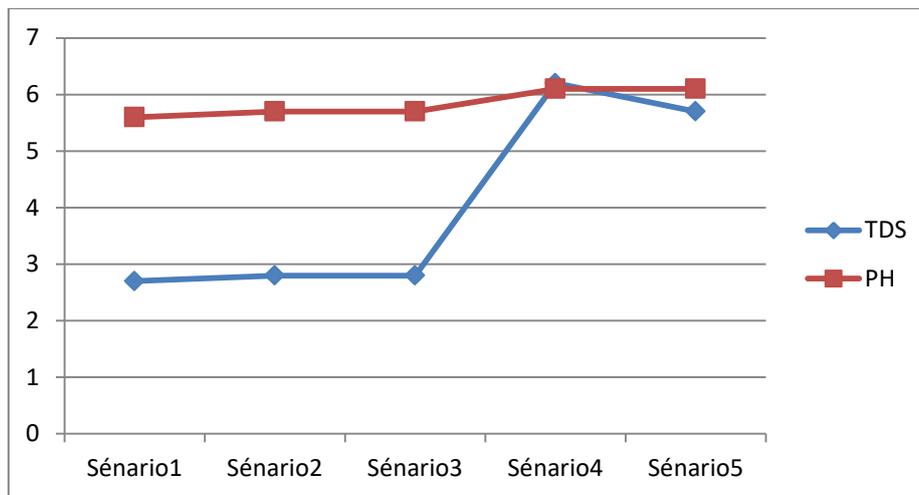


Figure 86: Taux de sels dissous et pH du perméat produit par différents scénarios

4.3.3.7 Discussions et résultats :

Suite aux différentes simulations testées par le logiciel IMS design et en tenons compte des données de l'eau à l'entrée des compartiments d'osmose inverse avec un débit de production en eau déminéralisé estimé à 48 m³/jour avec un taux de conversion de 40%, Les résultats de la comparaison entre les consommations énergétiques , TDS et PH des différents scenarios simulé par IMS design montrent que :

Le scénario 5 a une faible consommation d'énergie qui est 0.37 kWh/m³ par rapport les

autres scénarios.

Le TDS et PH pour les trois premiers scénarios sont faibles par rapport aux 4 eme et 5 eme scénarios.

Sachant que le scénario 4 et le scénario 5 ont les mêmes configurations. Cependant qu'ils n'ont pas les mêmes consommations d'énergies.

Grace à un système de récupération, la consommation d'énergie a diminué, en éliminant les pertes d'énergies.

On constate que Le scénario 5 s'est avéré être la meilleure configuration du système pour obtenir une eau traitée de haute qualité, avec des concentrations réduites de ces éléments (organiques et inorganiques). Cependant, pour notre étude, nous avons choisi le système en configuration 5 en raison de la disponibilité du tube de pression sur le marché national, constitué d'une 12 membrane de quatre pouces 4040, et qui répond parfaitement à nos besoins spécifiques.

4.3.3.8 Etude de la possibilité de couplage des systèmes membranaires avec les panneaux photovoltaïques :

La simulation par Logiciel Homer :

Le but : on veut alimenter notre système par l'énergie photovoltaïque, sachant que :

- L'énergie consommée : 0.37 kWh/m³
- Le débit de production total de l'usine: 2 m³/h

Donc l'énergie totale de consommation est :

$$0.37 \times 2 = 0.74 \times 24j = 17.76 \text{ kWh/j}$$

Après avoir exécuté l'analyse de la consommation énergétique de 18,24 kWh/j dans le logiciel HOMER et utilisé des panneaux solaires de type Peimar SG300MBF.

Nous avons obtenu les résultats globaux suivants d'après la simulation :

Architecture						Cost				
			PEI300 (kW)	100LI	Sinexcel 500 (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)
			5.97	1	1.35	CC	\$111,389	\$1.33	\$2,883	\$74,124

Figure 87: Le réseau proposé

On remarque que le meilleur système proposé contient (PV, convertisseurs, batteries). Et pour notre système on a besoin de 6 panneaux.

4.4 Etude de cas : Puits de Es-Senia

4.4.1 Présentation de la zone d'étude :

Es-Senia est une commune de la wilaya d'ORAN, en Algérie (figure 88) :

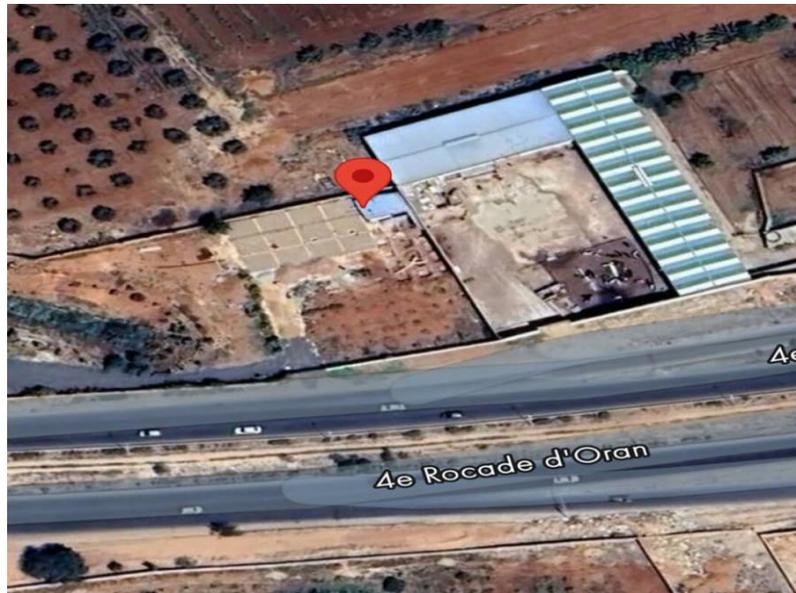


Figure 88: Localisation de puits Es-Senia

4.4.2 Analyse de l'eau de puits Es-Senia :

En résumant les analyses physicochimiques de l'eau de puits Es-Senia dans le tableau suivant :

Tableau 19: Résultats Analyse physico-chimique de l'eau de puits Es-Senia

Paramètres	Résultats
pH	7.22
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	4000
ORP (mV) (potentiel Redox)	209
Turbidité (NTU)	1.61
TA	0
TAC ($\text{mg}/\text{l}(\text{CaCO}_3)$)	390
TH	864
Calcium Ca (mg/L)	184.36
Magnésium Mg (mg/L)	96.90
Bicarbonate HCO_3 (mg/L)	475.8

4.4.3 Simulation par IMSdesign :

Etape 1 :

C'est l'étape où on ajoute l'analyse des eaux (figure 89) :

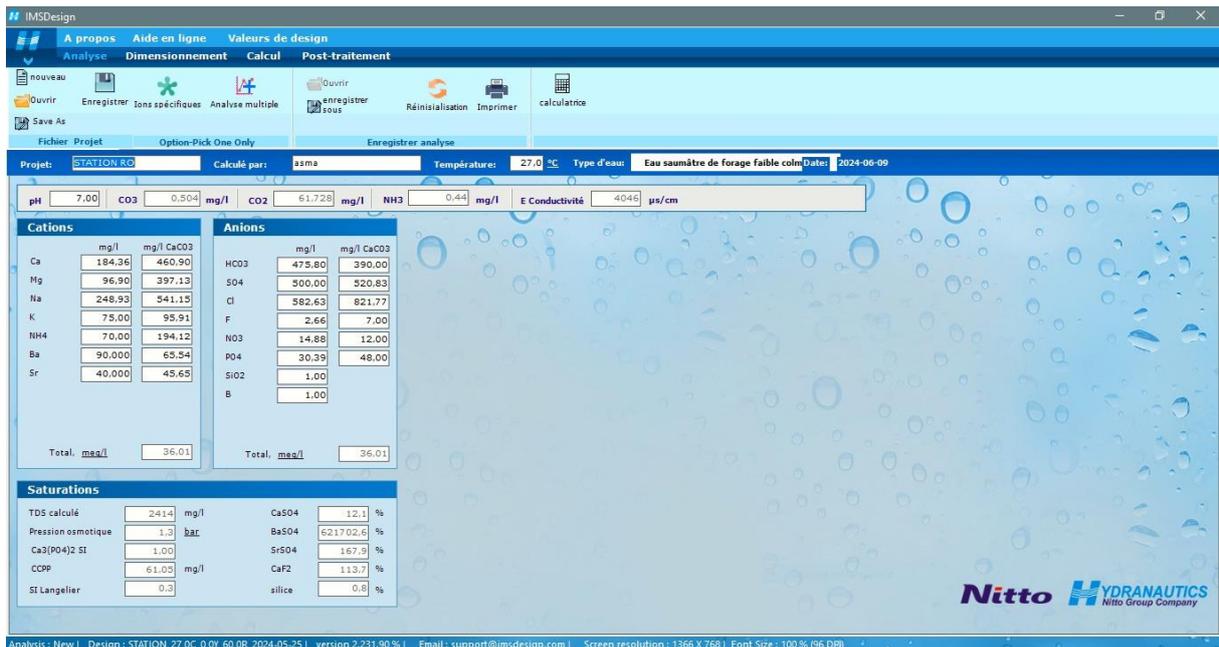


Figure 89: Étape analyse d'eau par IMS-Design

C'est la partie d'ajouter les conditions et de choisir le type de membrane et même dans cette étape le calcul de consommation énergétique (figure 90) :

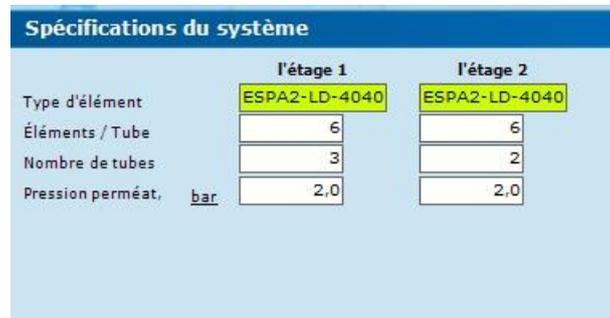


Figure 90: Étape de dimensionnement de membrane

Étape 2 :

C'est l'étape de l'affichage des résultats de calcul de consommation énergétique et le coût (figure 91) :

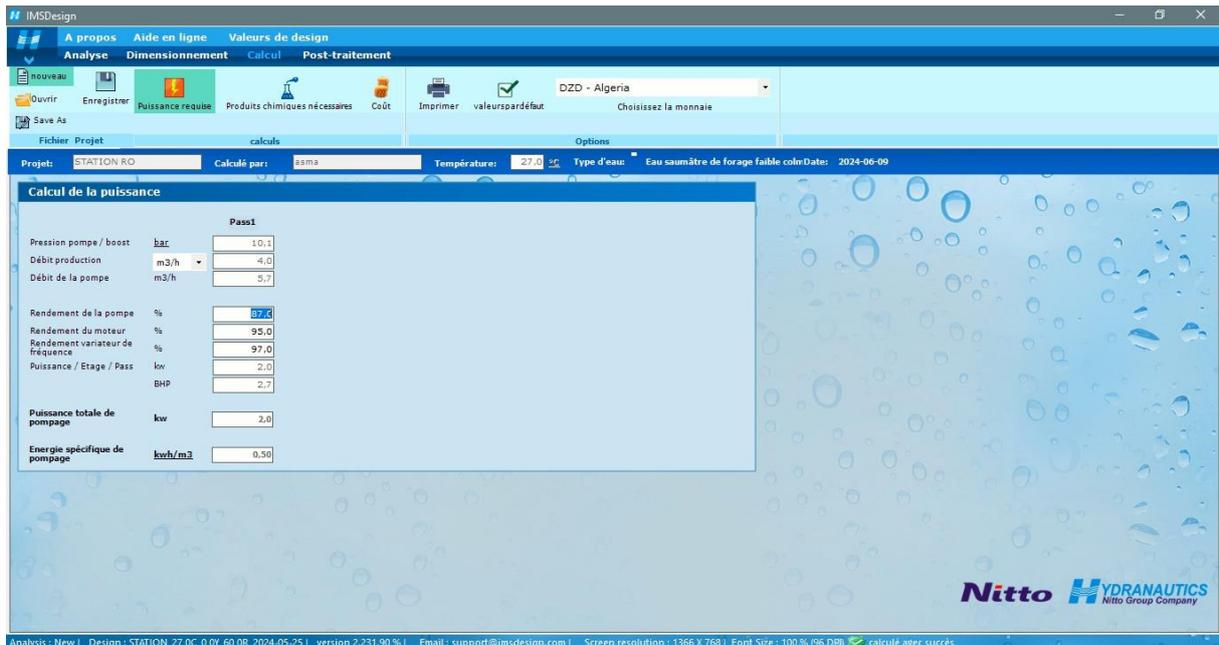


Figure 91: Étape de résultat de calcul de la puissance

Nous montrons les résultats de calcul de coût dans la figure 92 :

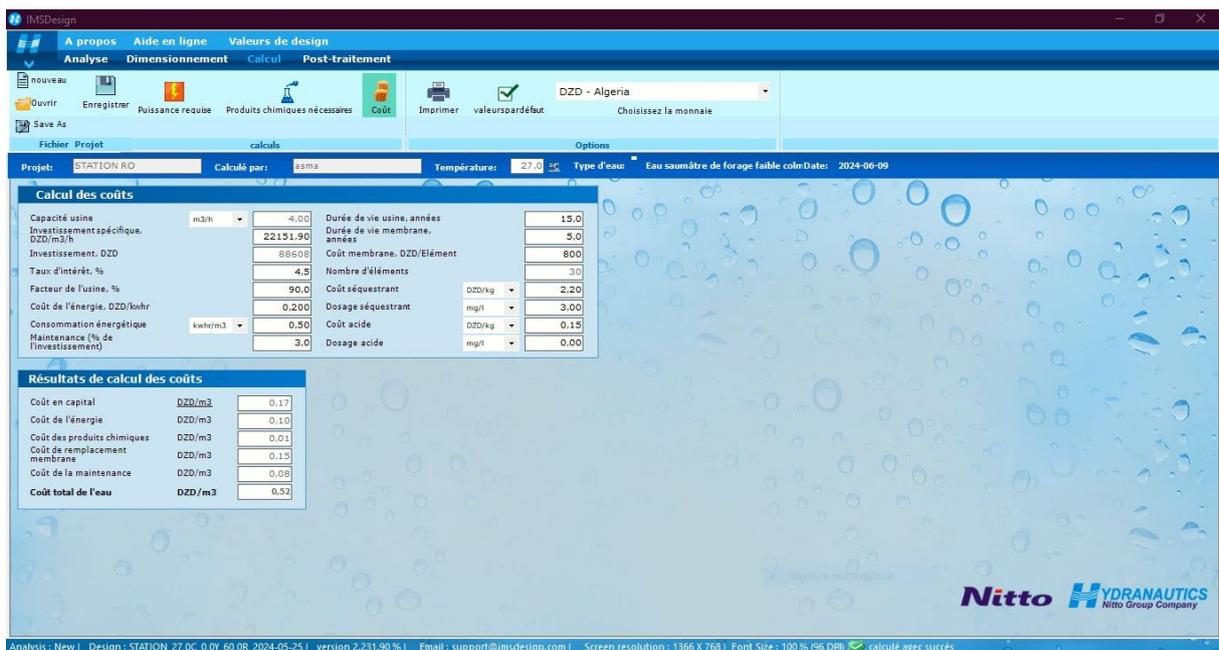


Figure 92: résultat de calcul de coût

Scénarios 1 :

Pour le scénario, la configuration utilisée est un système à deux étages avec (3) tubes de pression dans le 1^{er} étage qui comprend (6) éléments membranaires et (2) tubes de pression dans le 2^{ème} étage qui comprend (6) éléments membranaires, qui sont connecté en série. Le concentrât produit par le premier étage devient l'alimentation du deuxième étage. En effet,

cette configuration permet d'amplifier d'avantage le processus d'osmose inverse en utilisant plusieurs éléments membranaires en série. Cela permet d'améliorer la séparation des solutés et d'obtenir une plus grande récupération de perméat (figure 93) :

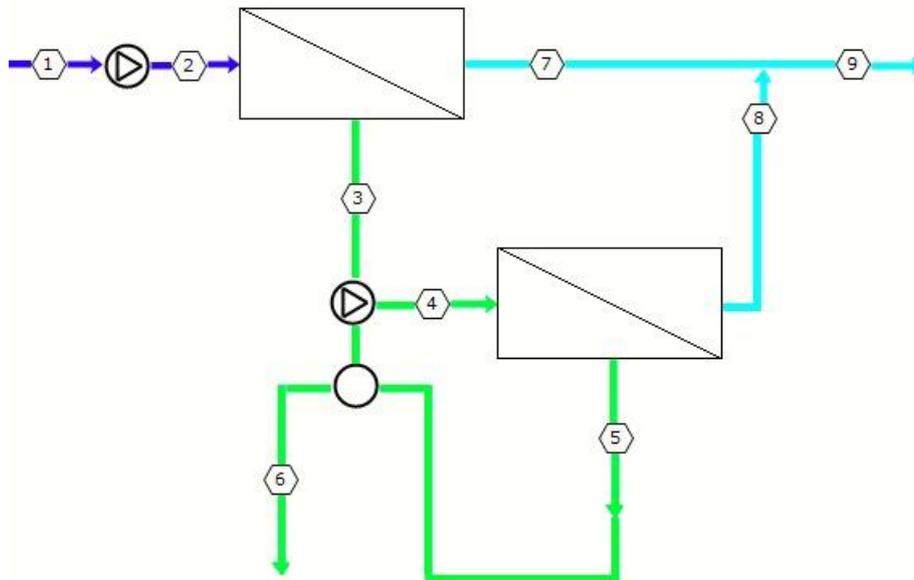


Figure 93: la configuration de « scenario » avec deux étages

Voici ci-dessous dans le tableau 20 les résultats des caractéristiques par IMSdesign :

Tableau 20: Résultats de calcul des caractéristiques par IMS-Design

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Débit (m3/h)	5.71	5.71	2.5	2.5	1.72	1.71	3.21	0.788	4
Pression (bar)	0	10.1	9.35	8.01	7.52	0.300	2	2	2
TDS (mg/l)	2414	2414	5447	5447	7807	7807	43.5	275	89.3
PH									
Econd (us/cm)	4046	4046	8483	8477	11833	11833	76.3	473	154

4.4.4 La simulation par Logiciel Homer :

- L'énergie consommée : 0.5 kWh/m³
- Le débit de production total de l'usine: 4 m³/h

Donc l'énergie totale de consommation est :

$$0.5 \times 4 = 2 \times 24j = 48 \text{ kWh/j}$$

Après avoir exécuté l'analyse de la consommation énergétique de 48 kWh/j dans le logiciel HOMER et utilisé des panneaux solaires de type Peimar SG300MBF.

Nous avons obtenu les résultats globaux suivants d'après la simulation :



The screenshot shows a software interface with an 'Export...' button and a title 'Optimization Results'. Below the title is a subtitle: 'Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.' The main table is divided into three sections: 'Architecture', 'Cost', and 'System'. The 'Architecture' section includes columns for PEI300 (kW), 100LI, Sch60.391 (kW), and Dispatch. The 'Cost' section includes columns for NPC (\$), COE (\$), Operating cost (\$/yr), and Initial capital (\$). The 'System' section includes columns for Ren Frac (%) and Total Fuel (L/yr). The data row shows values: 30.9, 1, 60.4, CC, \$125,553, \$0.555, \$2,865, \$88,516, 100, and 0.

Architecture				Cost				System	
PEI300 (kW)	100LI	Sch60.391 (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)
30.9	1	60.4	CC	\$125,553	\$0.555	\$2,865	\$88,516	100	0

Figure 94: Le réseau proposé

On remarque que le meilleur système proposé contient (PV, convertisseurs, batteries). Et pour notre système on a besoin de 31 panneaux.

4.5 Synthèse de l'étude :

Lors de la mise en place de systèmes d'osmose inverse pour le traitement des eaux. Plusieurs éléments doivent être pris en considération pour garantir des performances optimales et une efficacité énergétique. Cette synthèse aborde les points suivants :

- Avant toute chose, il est essentiel de réaliser des analyses approfondies de l'eau brute de puits pour déterminer sa composition chimique et ses caractéristiques physiques. Ces données sont cruciales pour sélectionner le type de membrane d'osmose inverse le plus approprié.

- Une fois l'analyse de l'eau effectuée, le type de membrane d'osmose inverse adapté peut être sélectionné. Cette décision influencera la consommation énergétique du système ainsi que sa capacité à réduire les niveaux de sels et de pH dans l'eau traitée.

- Les filtres de prétraitement, tels que ceux à sable, à charbon et les cartouches, jouent un rôle vital dans l'élimination des impuretés de l'eau brute. Ils protègent également les membranes d'osmose inverse et prolongent leur durée de vie.

- Le nombre idéal d'éléments de tubes et de membranes doit être déterminé en fonction des besoins spécifiques en termes de débit, de conductivité et de pH de l'eau traitée. Cette configuration garantit une bonne qualité de perméat tout en respectant les paramètres de traitement.

- Le nombre d'étages d'osmose inverse est déterminant pour la quantité de perméat produite. Une configuration appropriée permet d'optimiser l'efficacité du système et d'ajuster la production d'eau purifiée selon les besoins

- Le taux de conversion (T_c) définit la proportion d'eau brute convertie en perméat par rapport au rejet. Un T_c de 40-45% indique une plus grande quantité de rejet, tandis qu'un T_c de 60-70% signifie une production de perméat plus élevée. Ce paramètre est crucial pour équilibrer la production d'eau purifiée et minimiser les

pertes.

-Certains cas, l'utilisation d'un système de récupération d'énergie peut être nécessaire afin de réduire la consommation énergétique.

En combinant ces éléments, il est possible de concevoir des systèmes robustes et écoénergétiques pour répondre aux besoins en eau potable avec efficacité et durabilité.

4.6 Conclusion :

Nous avons détaillé dans ce chapitre le dimensionnement d'une station d'osmose inverse alimenté par l'énergie photovoltaïque en sélectionnant l'étude de puits de Tizi, pour mener à bien ces études.

Ce dimensionnement a permis de définir un système efficace et adapté aux besoins spécifiques. En tenant compte des paramètres essentiels tels que la qualité de l'eau brute et les débits requis, nous avons conçu une installation optimale qui assure une production d'eau de haute qualité. Cette approche démontre la pertinence et la fiabilité de l'osmose inverse comme solution durable pour la gestion des ressources en eau.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de recherche de ce projet est de développer un concept de petite station de dessalement d'eau saumâtre, basée sur l'osmose inverse et alimentée par des panneaux photovoltaïques pour produire de l'eau potable. Pour atteindre cet objectif, plusieurs étapes cruciales ont été suivies.

Nous avons constitué une base de connaissances approfondie sur les techniques de dessalement, en nous concentrant particulièrement sur la technique d'osmose inverse.

Nous avons identifié et étudié les sources d'énergies renouvelables les plus importantes, leur fonctionnement, les différentes techniques utilisées et leur application dans divers pays pour répondre aux besoins énergétiques tout en réduisant la pollution.

Nous avons ensuite caractérisé le besoin énergétique de notre système d'osmose inverse, estimé à 3120 kWh/jour. Pour dimensionner le système d'alimentation en énergies renouvelables, nous avons utilisé le logiciel HOMER. La simulation avec HOMER a révélé une configuration optimale comprenant 175 générateurs de type CAT-NG-175kW, 399 panneaux photovoltaïques Peimar SG300MBF, 2 batteries Generic 100kWh Li-Ion et 204 convertisseurs Sinexcel 500kW. Cette configuration garantit que notre système de dessalement sera fonctionnel tout au long de l'année au sein de l'entreprise Cofeed.

Nous avons démontré l'efficacité de notre approche à travers deux études de cas, notamment sur les puits de Tizi et un autre puits d'ES-Senia. Ces études ont confirmé que l'utilisation de l'énergie photovoltaïque pour alimenter les stations d'osmose inverse est viable. Les résultats des simulations avec HOMER ont déterminé le nombre nécessaire de panneaux photovoltaïques, tandis que les simulations avec IMSdesign ont optimisé le choix de la station d'osmose inverse pour produire de l'eau potable de manière efficace.

Ce projet a prouvé que l'intégration du dessalement par osmose inverse avec une alimentation en énergie renouvelable est techniquement faisable et durable. Cette approche non seulement répond aux besoins en eau potable de manière écologique, mais aussi contribue à la réduction de la pollution en utilisant des sources d'énergie propre.

Références

- [1] Jones, E., Qadir, M., van Vliet, M.T.H., Smakhtin, V., & Kang, S.M. The state of desalination and brine production: A global outlook. Science of The Total Environment, 2009.
- [2] BAKALOWICZ, M., Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques, Agence de l'eau Rhône Méditerranée, Corse, 1999.
- [3] Timsit, S., & Grandjean, A, Entreprises Pour l'Environnement (EPE), L'eau à l'horizon 2025, 2008.
- [4] Kettab A., Ait Mouhoub D., Ouarda T., Bobbee B., Contribution à l'étude du phénomène de la sécheresse sur les régions littorales de l'Algérie, février 2004.
- [5] Farid TATA-DUCRU, Dessalement de l'eau de mer bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes, Agence Française de Développement, Janvier 2009.
- [6] Amoura Chaimaa, Toumi Rihab, dessalement de l'eau de mer par osmose inverse , mémoire de master, Annaba, 2020.
- [7] <http://www.lycee-kerichen.org/dossiers/ProjetInde/page5.html>.
- [8] Emzaine Zakaria, Azza Fethi, étude d'une installation de dessalement fonctionnant en énergie solaire, mémoire de master, Blida, 2015.
- [9] <http://www.lenntech.fr/procedes/pesticide/nanofiltration/nanofiltration-fr.htm>.
- [10] F. LEFORT, G. RANDON, J-M. MONGIN, D. LE MAUX, 2002 : La nanofiltration: un procédé bien adapté à la problématique des eaux bretonnes, T.S.M. n°3, mars 2002.
- [11] Berroudja.K, Contribution à l'étude de l'évolution des qualités physico-chimiques et microbiologique de l'eau de robinet du centre ville de Chlef. Mémoire d'ingénieur, 2003.
- [12] L. et al Tian. Economic evaluation of seawater desalination for nuclear heating reactor with multi-effects distillation, Desalination,180, 53-61, 2004.
- [13] Pastor Jean, Pauli Anne-Marie. Dialyse. Chromatographie et techniques séparatives. Paris : Techniques de l'Ingénieur - p 1525, 1995.
- [14] J. G JACANGELO J, ET C. A. BUCKLEY. Microfiltration. Chapitre 11 du livre Water Treatment Membrane Processes, American Water Works Association Research Foundation, Lyonnaise des Eaux, Water Research Commission of South Africa, édité par McGraw-Hill, New York, NY, 1996.

- [15] Alain Maurel, dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtre et autre procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce 2eme édition .
- [16] J.KRUIHOF, KAMP P. C, FOLMER H. Membrane integrity monitoring at the UF/RO Heemskerk plant, Proceedings of the 2001 Membrane Technology Conference of the American Water Works Association, San-Antonio, Texas, USA, mars 2001.
- [17] Bulletin Technique, Osmose Inverse TE 200. DELTALAB. 38340 VOREPPE. France .
- [18] Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général Fiche 2, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement.
- [19] <http://dessalement.wordpress.com/> consulté le 30/07/2020.
- [20] Henri Boyé, Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée, Aout 2008.
- [21] Val S. Frenkel. « Seawater Desalination : Trends and Technologies, Desalination » Trends and Technologies, Michael Schorr (Ed.), ISBN : 978-953-307- 311-8,2011.
- [22] Erik D, Juan MP. A case study: energy use and process design considerations for four desalination projects in California. In: IDA World Congress – Perth Centre Convention et Exhibition (PCEC). Perth, Western Australie, September 4-9, 2011.
- [23] KHADIDJA, N., Commande de la charge et la décharge de la batterie d'une installation photovoltaïque isolée, university center of abdalhafid boussouf-MILA, 2022.
- [24] M. M. Mounira, Récupération des déperditions d'énergie dans les complexes industriels et leur conversion en énergie électrique exploitable , These de doctorat, BADJI MOKHTAR ANNABA, 2014.
- [25] International Energy Agency (IEA) , à 9 :12, 07/05/ 2021.
- [26] Ammar Hachmei, Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système hybride dédié au pompage, thèse de doctorat, Algérie , page 50,52, 2017.
- [27] F. Poitiers, Etude et Commande de Génératrices Asynchrones pour l'utilisation de l'Energie Eolienne, Machine asynchrone à cage autonome; Machine asynchrone à double alimentation reliée au réseau, thèse de doctorat soutenue à l'université de Nantes, page 14, 15, France, 2003.
- [28] https://www.researchgate.net/figure/11-technologie-eolienne-a-axe-horizontale-BEL-07-Les-eoliennes-a-axe-horizontale_fig8_265087995.
- [29] T. ZOHEIR, Principaux organes du système de conversion éolien..., ResearchGate. <https://www.researchgate.net/figure/1-Principaux-organes-du-systeme-de-conversion-eolien-Lenergie-eolienne-est-une-energie>, consulté le 11 mars.

- [30] Mekki Mounira, Récupération des déperditions d'énergie dans les complexes industriels et leur conversion en énergie électrique exploitable, thèse de doctorat, page 15, Algérie, 2014.
- [31] Mohamed Nasser, Supervision de sources de production d'électriques hybrides éolien/hydraulique dans les réseaux d'énergie interconnectés ou isolés, page 22 ,26, France, le 05 mai 2014.
- [32] M. M. Nasser, Supervisi on de sources de production d'électricités hybrides éolien/hydraulique dans les réseaux d'énergie interconnectés ou isolés , phdthesis, Arts et Métiers ParisTech, 2011. Consulté le: 13 mars 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://pastel.archives ouvertes .fr/pastel 00593845> ».
- [33] Qu est ce que l é nergie hydraulique ? | EDF FR, 4 septembre 2022, <https://www.edf.fr/groupe edf/espaces dedies/l energie de a a z/tout sur l energie/produire de l electricite/qu est ce que l energie hydraulique> (consulté le 2 juillet 2023).
- [34] Alain Damien, Livre, la biomasse Energie, page 5, 181, 184, , Paris, 2008.
- [35] Mekki Mounira, Récupération des déperditions d'énergie dans les complexes industriels et leur conversion en énergie électrique exploitable, thèse de doctorat , page 15, Algérie, 2014.
- [36] Géothermie : exploiter la chaleur de la planète | IFPEN, <https://www.ifpennergiesnouvelles.fr/enjeux et prospective/décryptages/énergies renouvelables/géothermie exploiter chaleur planète>, consulté le 2 juillet 2023.
- [37] Agence internationale des énergies renouvelables (IRENA), disponible sur : www.irena.org, consulté le 11 septembre 2018.
- [38] Ministère de l'Énergie : <http://www.energy.gov.dz>, consulté le 12 septembre 2018.
- [39] Bernard Thonon, Question de physique autour de l'énergie solaire, page 8,23.
- [40] Anne Labouret. Michel Violez, préface de Jean-Louis Bal, énergie solaire photovoltaïque, Livre, France, 2009, page 7,8.
- [41] Bernard Thonon, Question de physique autour de l'énergie solaire, page 8,23.
- [42] M.BOUDJEMA, N.BELHAOUAS. Commande d'une poursuite du point de puissance maximum (MPPT) par les Réseaux de Neurones et implémentation sur FPGA et DSP. Mémoire de Fin d'Etude, ENP d'Alger, 2007.
- [43] C. I. ELMETENNANI. Commande et Optimisation par l'Approche Hybride d'une Chaîne de Production Photovoltaïque à base d'un Convertisseur Multicellulaire. Mémoire de Fin d'Etude, ENP d'Alger, 2012.

- [44] Ismail, K., Etude d'un système de poursuite solaire pour les panneaux photovoltaïques. 2014.
- [45] Hichem, D., Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque dédié à une habitation. , Université Mouloud Mammeri, 2017.
- [46] BILLEL, F., Etude d'un système Hybride (photovoltaïque–éolien). Mémoire de master génie mécanique, 2015.
- [47] Bourad, K., N. Ouchene, and K. Rahrah, Dimensionnement d'un système photovoltaïque avec stockage. Université A. mira-Béjaia, 2021.
- [48] Azzedine, B. and M. Meziane, Dimensionnement et conception d'une installation photovoltaïque pour la FGEI et optimisation de la consommation, Université Mouloud Mammeri, 2017.
- [49] M. Belhadj, « Modélisation D un Système De Captage Photovoltaïque Autonome », These de magister, Bechar, 2008.
- [50] <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/mascara/mascara-6186/>.
- [51] Amitouche M. Impacts des rejets des stations de dessalement sur le milieu récepteur, Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra, 2016.
- [52] Abutayeh, C. Li, D. Y. Goswami, and E. K. Stefanakos, "Solar Desalination," in Desalination : Water from water, pp. 551–581, 2014.
- [53] <https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.12/index.html>.
- [54] BERKANI Asmaa, Qualité physio-chimique et microbiologique des eaux de puits, mémoire de master, Université Saad DAHLAB, Blida, 2013.
- [55] SEMAMEN Meriem., Zaoui Abdelkrim, Etude de la qualité chimiaue des eaux des puits et des forages destinées à l'irrigation du pistachier vrai dans la wilaya de Mascara, mémoire de master. Université Mustapha Stambouli, Mascara, 2023.