

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Mécanique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : TECHNOLOGIE
Filière : GENIE MECANIQUE
Spécialité : ENERGETIQUE

Thème

**CONCEPTION D'UNE UNITÉ DE
DESSALEMENT SOLAIRE**

Présenté Par :

- 1) BELBACHIR Feyza
- 2) AMEUR Amira

Devant les jurys composés de :

OUADAD Wahid	Dr	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
NEHARI Driss	Pr	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
GUENDOZ Bouhlal	Dr	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur

Année universitaire 2017/2018



Remerciement

En préambule à ce mémoire nous remercions :

ALLAH qui nous a aidé, donné la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

*Nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.
Professeur NEHARI Driss notre encadrant de mémoire de fin d'étude,
pour ses précieux conseils et son orientation ficelée tout au long de notre
recherche.*

*Aux responsables et aux personnels des enseignants qui par leur
compréhension et leur aide, on a pu accomplir notre travail de recherche.*

*A nos familles et nos amis qui par leurs prières et leurs
encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles.*

*Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos
proches et amis, qui nous ont toujours encouragés au cours de la
réalisation de ce mémoire.*

Merci à tous et à toutes.





DEDICACE

À ma source de tendresse, de patience et de générosité,

À ma chère mère et ma chère grande mère

À tous mes frères et sœurs, ainsi que leurs enfants

À toute ma famille

À tous mes amis et collègues

À tous les étudiants de la promotion

*À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de
continuer*

AMEUR AMIRA



DEDICACE

Je dédie ce travail

A mes chers parents, et mes grandes mères.

*Ceux qui ont éclairé mon chemin et qui m'ont encouragé et
soutenu tout au long de mes études.*

A ma seour Nadia, et mes frères Sid Ahmed et Abdel Hak .

A tous mes oncles et mes tantes.

A tous mes cousines, et mes cousins.

*A ma Binôme Amira et tous mes amis Sara, Fatima, Asmaa
Karima, Halima ,et a mon frère Abdel Ouahed Djamel , qui
a beaucoup fait pour moi, et a F. Abdel Kader .*

A tous les étudiants de la promotion.

A tous les BELBACHIR.

BELBACHIR FEYZA

Résumé

L'approvisionnement en eau potable est devenu le problème le plus préoccupant de notre époque, puisque la demande en eau croît tandis que les ressources naturelles diminuent ou tendent à disparaître. Une des solutions qui peut contribuer à l'augmentation des potentialités en eau est le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres. L'exploitation des eaux saumâtres en Algérie peut s'effectuer en associant les procédés de dessalement à une source d'énergie solaire, généralement thermique et photovoltaïque pour les procédés à distillation et à membranes respectivement. Les différentes expériences à travers le monde ont montré que ces procédés s'adaptent convenablement aux énergies renouvelables.

La consommation d'énergie spécifique est le facteur le plus déterminant du coût d'exploitation des systèmes d'osmose inverse en eau de mer dans les usines de dessalement. Cette recherche vise à étudier l'optimisation des performances des systèmes avec une consommation d'énergie spécifique minimale en utilisant les technologies les plus avancées en ce qui concerne la configuration du système, le système de pompage, l'assemblage des membranes et les dispositifs de récupération d'énergie.

ROSA 9.1 a été utilisé pour vérifier l'efficacité du système de dessalement d'eau de mer et le programme SAM (System Advisor Model) a été utilisé comme un outil pour étudier la réduction de la consommation d'énergie.

Mots clés: Dessalement – Distillation – Membranes - Eaux salines - Energie solaire – Thermique -Photovoltaïque.

Abstract

Supply drinking water became the most alarming problem of our time, since the demand for water grows while the natural resources decrease or tend to disappear. One of the solutions which can contribute to the increase in the water potentialities is the desalination of sea water or brackish water. The saline water exploitation can be performed by associating desalination processes to solar energy sources. This can be done using thermal and photovoltaic systems to distillation and membrane processes respectively. The several experiments undertaken around the world have shown that these processes can adapt adequately to renewable energy sources.

The specific energy consumption is the most determinant factor in operation cost of seawater reverse osmosis systems in desalination plants.

This research aims to study the optimization of systems performance with minimal specific energy consumption by using the most advanced technologies with respect to system configuration, pumping system, membrane assembly and energy recovery devices.

Key words: Desalination - Distillation - Membranes - Salt water - Solar energy - Thermal - Photovoltaic.

ملخص

إمدادات مياه الشرب قد أصبحت المشكل الأكبر في عصرنا، حيث يتزايد الطلب على المياه في حين أن الموارد الطبيعية تنقص أو تميل إلى الزوال. أحد الحلول التي يمكن أن تساعد على زيادة وفرة المياه الصالحة للشرب، تحلية مياه البحر أو المياه قليلة الملوحة.

يمكن استغلال المياه المائلة للملوحة في الجزائر من خلال ربط عمليات التحلية بمصدر للطاقة الشمسية، الحرارية و الكهروضوئية بشكل عام للعمليات مع التقطير و الأغشية على التوالي. لقد أظهرت التجارب المختلفة في جميع أنحاء العالم أن هذه العمليات تتكيف بشكل جيد مع الطاقات المتجددة. ويعتبر استهلاك الطاقة من أهم العوامل التي تؤثر على تكاليف تشغيل أنظمة التناضح العكسي في محطات تحلية مياه البحر. ويهدف البحث إلى دراسة كيفية رفع كفاءة أنظمة التناضح العكسي في تحلية مياه البحر مع تقليل استهلاك الطاقة باستخدام التكنولوجيا المتقدمة المتوفرة في مجال أنظمة الضخ و المرشحات و أنظمة استرجاع الطاقة. ولقد تم استخدام برنامج ROSA 9.1 وذلك التحقق من كفاءة نظام تحلية مياه البحر، كما تم استخدام برنامج SAM (System Advisor Model) كأداة تساعد لدراسة تقليل استهلاك الطاقة.

الكلمات المفتاحية: تحلية المياه - التقطير - الأغشية - المياه المالحة - الطاقة الشمسية - الحرارية - الضوئية.

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES TECHNIQUES DE DESSALEMENT

Figure I- 1: Répartition de l'eau sur la planète. [1] 2
 Figure I- 2: Les divers procédés de dessalement. [8] 9
 Figure I- 3: Principe de distillation à simple effet. [11] 10
 Figure I- 4: Distillation à multiples effets. [11]..... 11
 Figure I- 5: Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF). [8] 11
 Figure I- 6: Compression mécanique de vapeur. [12] 12
 Figure I- 7: Distillation solaire. [8]..... 14
 Figure I- 8: Principe de dessalement par l'électrodialyse (Bushnak, 2012). [14] 15

CHAPITRE II : GENERALITE SUR LES MEMBRANES

Figure II- 1: Les membranes tubulaires. [26] 24
 Figure II- 2: Les membranes Planes. [27] 24
 Figure II- 3: Les membranes fibres creuses. [26] 25
 Figure II- 4: Les membranes fibres creuses. [28] 25
 Figure II- 5: Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse. [8]..... 29

CHAPITRE III : L'ENERGIE SOLAIRE

Figure III- 1: Représente les différentes filières des énergies renouvelables. [32] 33
 Figure III- 2: Les disparités entre les sources d'énergies renouvelables. [32] 34
 Figure III- 3: Classification des divers rayonnements électromagnétiques. [34] 36
 Figure III- 4: Les composants du rayonnement solaire. [34] 36
 Figure III- 5: Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel. [36] 37
 Figure III- 6: Capteurs solaire plan vitré. [40] 40
 Figure III- 7: Capteur solaire plan non vitré. [40] 41
 Figure III- 8: Capteur solaire a tube sous vide. [40]..... 42
 Figure III- 9: Capteur cylindro-parabolique. [41] 43
 Figure III- 10: Schéma de principe d'un capteur linéaire de Fresnel. [42]..... 44
 Figure III- 11: Capteurs solaires paraboliques. [44]..... 45
 Figure III- 12: Schéma de principe de principe d'une centrale à tour. [45] 46

CHAPITRE IV : DESCRIPTION DE LA STATION DESSALEMENT DE BENI SAF

Figure IV- 1: Site géographique de la SDEM de Béni Saf. [48] 49
 Figure IV- 2: Préfabrication de la tour de Captage. [47] 51
 Figure IV- 3: Préfabrication de l'émissaire DN 2400. [47]..... 51
 Figure IV- 4: Lancement de l'émissaire de captage. [47] 52
 Figure IV- 5: La conduite du captage d'eau de mer. [47] 52
 Figure IV- 6: Bâtiment de captage. [47]..... 53
 Figure IV- 7: Réservoir de stockage d'Hypochlorite de sodium. [47] 53
 Figure IV- 8: Le dégrillage pour éliminer les plus gros déchets. [49]..... 54

Figure IV- 9: Filtres rotatifs de nettoyage. [49]	55
Figure IV- 10: Pompes d'eau de mer. [30].....	55
Figure IV- 11: Bâtiment de dosage chimique. [30].....	56
Figure IV- 12: Bâtiment d'acide sulfurique. [30].....	56
Figure IV- 13: Zone des filtres à sable et anthracite. [30].....	56
Figure IV- 14: Zone des filtres à sable et à anthracite de la SDEM de Béni Saf. [30].....	58
Figure IV- 15: Les filtres à cartouches de la SDEM de Béni Saf. [47]	59
Figure IV- 16: Changement d'un filtre colmaté. [30]	60
Figure IV- 17: Zone de production de SDEM de Béni Saf. [47].....	62
Figure IV- 18: Membrane d'osmose inverse. [25]	63
Figure IV- 19: Récupérateurs d'énergie (ERI) d'un module d'OI de le SDEM. [30].....	64
Figure IV- 20: Le post traitement. [47]	65
Figure IV- 21: Bâtiment d'eau produit. [47]	66
Figure IV- 22: Bâtiment de saumure où l'eau de rejet de saumure. [47]	66
Figure IV- 23: Bâtiment de lavage des filtres. [30].....	67
Figure IV- 24: Le laboratoire de la SDEM de Béni Saf. [30]	68
Figure IV- 25: Appareil pour la détermination de SDI. [47].....	69
Figure IV- 26: Salle de contrôle de la SDEM de Béni Saf. [47]	69
Figure IV- 27: Salle d'électricité de la SDEM de Béni Saf. [47].....	70
Figure IV- 28: Station électrique conçue pour le fonctionnement de la totalité de la SDEM. [47]	70
Figure IV- 29: Process de dessalement de la SDEM de Beni Saf. [47]	71

CHAPITRE V : MODELISATION ET RESULTAS

Figure V- 1: Informations sur le projet au programme ROSA.....	75
Figure V- 2: Les données sur l'eau d'alimentation au programme ROSA.....	75
Figure V- 3: Mise à l'échelle des informations au programme ROSA.....	76
Figure V- 4: Configuration du système au programme ROSA.....	77
Figure V- 5: Configuration du système au programme ROSA.....	77
Figure V- 6: Le rapport de ROSA Software.....	78
Figure V- 7: Schéma d'une centrale solaire cylindro-parabolique.....	80
Figure V- 8: Page d'accueil du logiciel System Advisor Model 2017.....	82
Figure V- 9: Modèle de performance et financier.....	82
Figure V- 10: Paramètres climatiques sur SAM.....	84
Figure V- 11: Paramètres climatiques sur SAM.pour utiliser un fichier météo	84
Figure V- 12: Paramètres climatiques sur SAM. D la région d'AIN TEMOUCHENT.....	85
Figure V-13: Paramètres de cycle de puissance sur SAM	87
Figure V-14 Caractéristiques de collecteur sur SAM.....	88
Figure V-15: Caractéristiques de récepteurs sur SAM.....	89
Figure V- 16: Paramètres du champ solaire sur SAM.....	90
Figure V-17: Paramètres de stockage thermique sur SAM.....	91
La figure V-18: Allure du rayonnement direct pendent l'année	92

Figure V-19: Température au cours de l'année du site.	92
Figure V-20: Vitesse du vent au cours de l'année du site.	93
Figure V.23: Faisceau de ressources irradiation normale au cours de l'année (w/m^2).....	93
Figure V-22: Durée d'ensoleillement pour des différentes plages de DNI.	94
Figure V.23: Faisceau de ressources irradiation normale mensuel (w/m^2).	95
Figure V-24: Faisceau de ressources irradiation normale annuel (w/m^2).....	96
Figure V-25: Résultats pour chaque cas dans le fichier de projet.	96
Figure V-26: Puissance thermique totale produite au cours de l'année (MWt).	98
Figure V-27: Puissance thermique totale produite mensuelle (MWt).....	98
Figure V-28 Puissance thermique journée représentatif de l'année (MWth).	99
Figure V-29: Collecteur de champ thermique et optique au cours de l'année.	100
Figure V-30: Collecteur de champ thermique et optique mensuel.....	100
Figure V-31: Collecteur de champ thermique et optique annuel.....	101
Figure V-32 Puissance du système générée au cours de l'année (kw).	102
Figure V-33: Puissance du système générée mensuelle (kw).	102
Figure V-34: Puissance du système générée annuelle (kw).	103
Figure V-35: Rendement de conversion électricité	104

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES TECHNIQUES DE DESSALEMENT

Tableau I- 1: Concentration des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35%. [4].....	5
Tableau I- 2: Concentration des différents éléments mineurs dont la concentration est supérieur au $\mu\text{g/l}$ se trouvant sous forme dissoute, colloïdale, ou en suspension. [5].....	5
Tableau I- 3: Salinité de différentes mers fermées ou peu ouvertes. [7].....	7
Tableau I- 4: Viscosité relative η/η_0 de l'eau de mer en fonction de la température et de salinité (η_0 viscosité de l'eau pure à 0°C 1787 centpoises. [7].....	8
Tableau I- 5: Consommation électrique de filières de production d'eau potable. [15].....	16

CHAPITRE II : GENERALITE SUR LES MEMBRANES

Tableau II- 1: Comparaison des modules d'osmose inverse selon la membrane utilisée. [27].....	27
---	----

CHAPITRE III : L'ENERGIE SOLAIRE

Tableau III- 1: Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques. [35]	38
--	----

CHAPITRE IV : DESCRIPTION DE LA STATION DESSALEMENT DE BENI SAF

Tableau IV- 1: Fiche technique de la SDEM de Béni Saf. [47]	50
Tableau IV- 2: Analyse journalière de la qualité d'Eau commercialisée. [47]	68
Tableau IV- 3: Analyse process de la qualité d'Eau commercialisée. [47].....	69

CHAPITRE V : MODELISATION ET RESULTAS

Tableau V- 1: Analyse de l'eau produite, semaine du 11 au 17 Mars 2018.....	74
Tableau V- 2: Paramètres d'eau d'alimentation.....	74
Tableau V- 3: Les résultats obtenus par ROSA.	78
Tableau V- 4: Caractéristiques climatiques de la ville Ain T'émouchent.....	85
Tableau V- 5: Tableau récapitulatif des caractéristiques de la centrale analysée.	97

NOMENCLATURE

Symbole	Dénomination	Unité
T	Température	°C ou K
<i>m</i>	Debit massique	Kg/s
Ca	Concentration de l'alimentation	/
Cp	Concentration du perméat	/
π	Pression osmotique de concentré	bar
η	Rendement, efficacité	/
μ	La viscosité dynamique	kg/m.s
P	La puissance	w
p	La pression	bar

Liste des abréviations :

Algérienne des eaux.	ADE
Station de Dessalement d'Eau de Mer	SDEM
Beni Saf Water Company	BWC
Concentration de l'alimentation.	Ca
Concentration du perméat.	Cp
Distillation à multiples effets.	MED
Distillation Flash par détente successives.	MSF
Distillation à simple effet par compression de vapeur.	MVC
Électrodialyse.	ED
Osmose Inverse ou Reverse Osmosis	OI ou RO
Kilo Watt Heur	KWH
Partie Par Million	PPM
Osmose inverse d'eau de mer	SWRO
Échangeur d'énergie double récupération d'énergie	DWEER
Échangeur de pression ou de travail PWE	PWE
Analyse du système d'osmose inverse	ROSA
Dispositif de récupération d'énergie	ERD
Récupération d'énergie Incorporer	ERI
Système de récupération d'énergie	ERS
Échangeur de pression	PX
Total des solides dissous	TDS
haute pression	HP

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

Liste des abréviations

Introduction générale

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES TECHNIQUES DE DESSALEMENT

1. Introduction	1
2. Généralités sur l'eau de mer	2
2.1. Répartition de l'eau sur la planète	2
2.2. L'eau en Algérie	3
2.1.1. Eléments de géographie et d'hydrographie de l'Algérie : un cadre physique défavorable ..	3
2.3. Compositions de l'eau de mer	5
2.3.1. Les éléments principaux	5
2.3.2. Autres éléments minéraux	5
2.3.3. Matières organiques	6
2.4. Salinité	6
2.5. PH des eaux de mer	7
2.6. Autres propriétés de l'eau de mer	7
2.6.1. Viscosité des eaux de mer	7
2.6.2. Densités des eaux de mer	8
3. Généralité sur le dessalement de l'eau de mer	8
3.1. Définition	8
3.2. Procédé de distillation	8
3.2.1. Distillation à simple effet	8
3.2.2. Distillation à multiples effets	10
3.2.3. Distillation par détente successives (Multi stage Flash, MSF)	11
3.2.4. Distillation par compression de vapeur	11
3.3. Perspectives de la distillation	12
3.4. Autres procédés de dessalement	13
3.5. Les procédés membranaires	14
3.5.1. Généralités	14

a. L'ultrafiltration (UF).....	14
b. La microfiltration (MF).....	15
C. Osmose inverse	15
d. L'électrodialyse.....	15
3.6. Consommation énergétique	15
3.7. Les impacts sur l'environnement	16
3.7.1. Effets dus aux produits de la corrosion	16
3.7.2. Effets dus aux additifs antitartres	17
3.7.3. Effets des additifs antisalissure	17
3.7.4. Effets des additifs anti mousses	18
3.7.5. Impact de bruit	18
3.7.6. La consommation énergétique par rapport aux autres alternatives de ressources en eau potable	18
3.7.7. La saumure	18
3.8. Techniques pour minimiser les impacts du dessalement sur l'environnement	18
4. Conclusion	20

CHAPITRE II : GENERALITE SUR LES MEMBRANES

1. Introduction	21
2. Définition	22
3. Classifications des membranes	22
3.1. Les membranes organiques	22
3.2. Les membranes inorganiques	23
3.3. Les membranes mixtes.....	23
4. Les principaux types de membranes utilisées sont	23
4.1. Les membranes tubulaires	23
4.2. Les membranes Planes	24
4.3. Les membranes fibres creuses	24
4.3. Les membranes en spirale	25
5. Structures des membranes	26
5.1. Membranes poreuses et membranes denses	26
5.2. Membranes symétriques et membranes asymétriques	26
6. Comparaison entre les différents modèles de membranes	27
7. Performances des membranes	27
7.1. Perméabilité	27
7.2. Resistance	28
7.3. Durée de vie	28

7.4. Taux de conversion	28
7.5. Sélectivité	28
8. L’Osmose inverse	28
8.1. Principe	28
8.2. Schéma général d'une installation d'osmose inverse	29
8.3. Pression osmotique	29
8.4. Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse	30
9. Conclusion	31

CHAPITRE III : L'ENERGIE SOLAIRE

1. Introduction	32
2. Energie renouvelable	33
3. Energie solaire	34
4. Conversion de l'énergie solaire	35
4.1. L'énergie solaire passive	35
4.2. L'énergie photovoltaïque	35
4.3. L'énergie solaire active	35
5. Rayonnement solaire	36
6. Le gisement solaire en Algérie.....	37
7. Types des capteurs solaires	38
♦ Capteurs solaires thermiques.....	38
♦ Capteurs solaire photovoltaïques.....	38
7.1. L'énergie solaire thermique	38
7.1.1. Types des capteurs solaires thermiques	39
1. Selon le fluide de travail.....	39
a. Les capteurs solaire a eau.....	39
b. Les capteurs solaire a air.....	39
2. Selon la forme.....	39
Les capteurs solaire plans.....	39
♦ Le capteur pla, non vitré.....	39
♦ Le capteur plan , non vitré.....	40
♦ Capteurs solaires a tubes sous vide.....	41
7.1.2. Paramètres et caractéristiques de fonctionnement des capteurs solaires	42
a. Parametres externes.....	42
b. Parametres internes.....	42
c. Parametres de fonctionnement.....	42
7.2. L'énergie solaire a concentration (thermodynamique)	42

7.2.1. Les centrales solaires cylindro-paraboliques	43
7.2.2. Les centrales solaires de linéaire de Fresnel	44
7.2.3. Centrales solaires parabolique	45
7.2.4. Centrale solaire à tour (la tour solaire ou le four solaire)	46
8. Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire	47
9. Conclusion	47

CHAPITRE IV : DESCRIPTION DE LA STATION DESSALEMENT DE BENI SAF

1. Introduction	48
2. Présentation de l'usine de dessalement	49
2.1. Situation géographique	49
2.2. Principales données techniques de la station	49
2.3. Le but de la station	50
3. Description du fonctionnement de la station de dessalement d'eau de mer	51
3.1. Captage d'eau de mer	51
3.1.1. Bâtiment de captage	53
3.1.1.1. Dégrillage.....	54
3.1.1.2. Filtres rotatifs.....	54
3.1.2. La station de pompage	55
3.2. Zone de production.....	55
3.2.1. Prétraitement chimique	56
3.2.2. La filtration sur sable.....	57
3.2.2.1. Caractéristiques des filtres.....	57
3.2.3. Filtrage à anthracite	58
3.2.4. Filtration par cartouches	58
3.2.4.1. Description.....	58
3.2.4.2. Caractéristiques des filtres	59
3.2.4.3. Caractéristiques des cartouches.....	59
3.2.4.4. Fonctionnement.....	60
3.2.5. Description du prétraitement chimique	60
3.3. Post d'osmose inverse	61
3.3.1. Membranes	63
3.3.2. Description du récupérateur d'énergie.....	63
3.4. Le post traitement	64
3.5. Le Stockage	65
3.6. Les rejets	66
3.7. Le refoulement d'eau au le client	66

4. EQUIPEMENT DE NETTOYAGE	67
4.1. Nettoyage des filtres	67
4.2. Nettoyage des membranes.....	67
5. Le laboratoire	68
5.1. Rapport qualité	68
5.1.1. Analyses de l'eau produite.....	68
5.1.2. Analyses Process	69
6. Salle de contrôle	69
7. Autres composants de la station	70
8. Conclusion	71

CHAPITRE V : MODELISATION ET RESULTAS

1. Introduction	72
2. Partie I	73
2.1. Présentation du logiciel ROSA	73
2.1.1. Analyse du système d'osmose inverse (ROSA)	73
2.1.2. Description du modèle	73
2.1.3. Dow / Film Tec-ROSA	73
2.2. Les données du problème	74
2.2.1. Analyse de l'eau produite	74
2.2.2. Les principales données sont les paramètres d'alimentation	74
2.2.3. Les caractéristiques de dix modules de dessalement	74
a. Information sur le projet (Project Information).....	74
b. Données sur l'eau d'alimentation (Feed water Data).....	75
c. Mise à échelle des informations (scaling information).....	76
d. Configuration du système (System configuration).....	76
e. Rapport (Report).....	78
2.3. Résultats	78
3. Partie II	79
3.1. Introduction	79
3.2. Présentation de la centrale cylindro-parabolique utilisée	79
3.3. Présentation du logiciel SAM	80
3.4. Les paramètres d'entrée	81
3.4.1. Location and Resource	83

a. Téléchargez un fichier ou des fichiers météo à partir de la base de données NREL National Solar Radiation (NSRDB).....	83
b. Choisissez un fichier météo dans la bibliothèque de ressources solaires.....	83
c. Utilisez un fichier météo sur votre ordinateur.....	83
3.5. Les paramètres d'entre concentrant les différents composants de l'installation	86
3.5.1. Le bloc de puissance (Power Block)	86
a. Puissance électrique au design (Design Gross Output (MWe))	86
b. Estimated Gross to Net Conversion Factor	86
c. Estimated Net Output at Design (MWe).....	86
3.5.2. Collecteur solaire (Collectors (SCAs)).....	87
3.5.3. Le récepteur (Receivers (HCEs))	88
3.5.4. Champ solaire (Solar Field)	89
a. Disposition de champ (Field Layout).....	89
b. Rayonnement solaire direct (Direct Normal Radiation (W/m^2)).....	89
c. Vitesse du vent (Wind Velocity (m/s)).....	90
3.5.5. Stockage thermique (Thermal Storage).....	90
3.6. Discussions et interprétation des résultats de la simulation	91
3.6.1. Les paramètres de sortie	96
3.6.2. Les caractéristiques de l'installation étudiée	97
3.6.3. Les performances dynamiques de la centrale	97
♦ Puissance thermique produite par le champ solaire cylindro-parabolique	97
♦ Rendement optique du champ solaire.....	99
♦ Puissance électrique produite par la centrale.....	101
3.7. Rendement de conversion solaire électricité	103

Conclusion générale

Référence bibliographie

INTRODUCTION GENERALE

Devant une crise d'eau certaine qui commence à se faire sentir à travers le monde, en plus des contraintes économiques pour un développement durable, des solutions appropriées nécessitent d'être élaborées afin de se préparer à faire face à ce défi qui menace l'existence même de l'homme. Notre pays qui dispose de ressources hydriques salines considérables et d'un gisement solaire tout aussi important, doit utiliser les techniques de dessalement, dont la fiabilité n'est plus à démontrer, en les associant à des sources d'énergies renouvelables. Cette solution constitue un moyen assez fiable pour produire de l'eau potable. Il faut cependant signaler que ce moyen reste économiquement fiable seulement pour des unités de petites capacités allant de quelques m³ à des dizaines (voire centaines) de m³ d'eau potable par jour.

Il est important de signaler, que dans cette petite étude, nous considérons seulement ces types d'installations. Pour de grandes capacités, l'association des procédés de dessalement avec les énergies renouvelables nécessitent des coûts d'investissement élevés et la fiabilité de tels systèmes n'est pas toujours assurée.

Les procédés de dessalement se répartissent en deux grandes catégories; d'une part les procédés à distillation (qui nécessitent un changement de phase, évaporation/condensation) et d'autre part les procédés à membranes (filtration).

Le dessalement d'eau en utilisant une énergie renouvelable telle que l'énergie solaire, éolienne et géothermale fait l'objet de plus en plus de travaux, vu l'intérêt économique (énergétiques) et environnemental de ce genre de procédés. En particulier, le dessalement solaire a suscité beaucoup d'intérêt dans les pays à ensoleillement élevé tels que les pays du Maghreb et ceux du Moyen-Orient. Les distillateurs solaires les plus connus sont ceux à effet de serre. Ils présentent l'avantage d'être de conceptions simples, faciles à réaliser et autonomes. Cependant, le défi majeur demeure l'amélioration du rendement de ces procédés (la production nominale est de l'ordre de 2.5 à 3 litres par m² par jour).

D'autres systèmes de dessalement solaire qui ont des lieux d'évaporation et de condensation séparés sont de conception plus complexe mais ils sont plus performants. Ces systèmes utilisant le principe d'humidification/déshumidification sont jugés fort intéressants lorsque la demande en eau douce est décentralisée.

Notre travail comporte deux parties théorique et pratique, dont quatre premiers chapitres pour la théorie et un chapitre pour la pratique.

- ❖ Après une brève introduction, le premier chapitre est consacré à une présentation des connaissances générales sur les techniques de dessalement.

- ❖ Le chapitre suivant a pour objet de fournir un maximum d'information concernant les membranes.
- ❖ Le troisième chapitre contient des informations et des connaissances sur l'énergie solaire.
- ❖ Ensuite, le quatrième chapitre sera entièrement livré à la présentation de la station de dessalement d'eau de mer de Béni Saf qui utilise le procédé d'osmose inverse.
- ❖ Enfin, le chapitre cinq nous présente les logiciels utilisés et le travail expérimental ainsi que les résultats sous forme de graphes avec leurs interprétations.



CHAPITRE I



Généralités sur les techniques de Dessalement

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES TECHNIQUES DE DESSALEMENT

1. Introduction

2. Généralités sur l'eau de mer

3. Généralité sur le dessalement de l'eau de mer

4. Conclusion

1. Introduction :

Essentielle pour la vie, l'eau douce n'est pas accessible à tous et se trouve en quantité limitée sur terre. Les pressions qui pèsent sur les ressources en eau s'intensifient à mesure que la population augmente, les activités humaines consomment l'eau en grandes quantités et le niveau de vie s'accroît. A ce stade, la rareté de l'eau se fait de plus en plus sentir et devient sans doute l'un des enjeux majeurs de ce siècle.

Les problèmes en relation avec l'eau sont nombreux et très divers. Il n'y a donc aucune solution simple permettant de répondre à sa demande dans n'importe quel pays.

Le dessalement de l'eau marine ou saumâtre est un processus qui permet d'extraire le sel pour la rendre potable ou l'utiliser pour l'irrigation.

2. Généralités sur l'eau de mer :

2.1. Répartition de l'eau sur la planète :

On surnomme la terre la planète bleue, puisque 72% de sa surface est recouverte d'eau, 97,3% de cette eau est salée et se trouve dans les océans, les mers intérieures, mais aussi dans certaines nappes souterraines. L'eau douce représente 2,7% de l'eau totale du globe. [1]

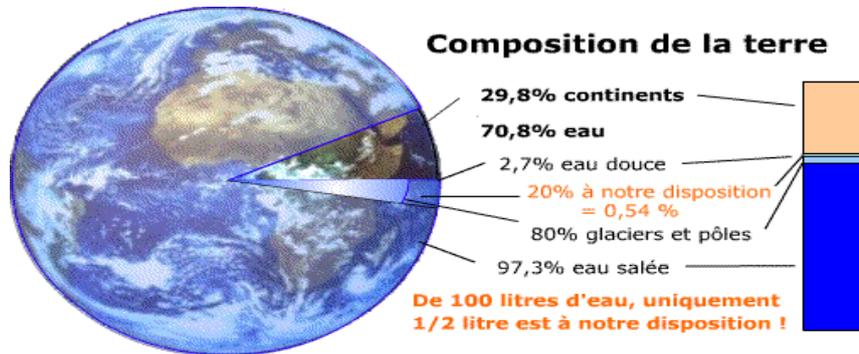


Figure I- 1: Répartition de l'eau sur la planète. [1]

La majorité de l'eau douce est sous forme de glace polaire (figure I.1) qui est inutilisable. Il ne reste donc que environ 1/4 de l'eau douce pour que tous les habitants de la planète bleue puissent assouvir leurs besoins, c'est donc très peu. [1]

Au cours des siècles passés, les utilisations humaines de l'eau n'ont eu aucune incidence sur la disponibilité en eau. Mais, avec le monde moderne, le développement industriel, la croissance démographique, les ressources en eaux deviennent insuffisantes pour satisfaire les besoins de la population bien entendu, la répartition géographique réelle de l'eau sur la Terre montre une réalité bien éloignée de ces moyennes, avec une surface océanique nettement plus importante au Sud qu'au Nord. Une calotte épaisse de glace couvre tout le continent Antarctique, alors qu'au Nord, il n'y a, en plus de la calotte du Groenland, que la glace qui flotte sur l'océan Arctique.

Ces contrastes dans la répartition de l'eau liquide et solide renforcent les disparités dans la répartition de l'eau atmosphérique. Il existe en effet de grandes différences régionales du Nord au Sud liées aux variations de rayonnement solaire, qui ont une incidence entre les pôles et l'Equateur, et d'Est en Ouest selon les circulations atmosphériques et les barrières de reliefs. [2]

Au final, l'homme ne peut utiliser que moins d'1 % du volume total d'eau douce présent sur Terre, soit environ 0,028 % de l'hydrosphère. Ceci englobe les cours d'eau, les réservoirs naturels ou artificiels (lacs, barrages...) et les nappes souterraines. [2]

2.2. L'eau en Algérie :

2.1.1. Eléments de géographie et d'hydrographie de l'Algérie : un cadre physique défavorable :

Pour bien saisir la question de l'eau en Algérie, il convient de rappeler de quelques éléments de sa géographie et de son hydrographie.

L'Algérie est un pays très vaste (2 381 741 Km²) qui représente du nord au sud sur 1 800 Km une succession de zones contrastées. La partie septentrionale forme une lisière large de 200 Km seulement en bordure de la mer Méditerranée. C'est cette zone qui forme l'Algérie « utile », occupée par la majeure partie de la population. Elle est soulevée par les barres parallèles des Atlas tellien et saharien qui enserrant la région des Hauts-plateaux. Au sud de cette lisière, s'étale l'immense désert du Sahara sur 1 600 Km de profondeur, surélevé au sud-est par le massif du Hoggar. Le littoral méditerranéen s'étire sur 1 200 Km ; il est bordé de montagnes parmi lesquelles la chaîne de Kabylie qui culmine à 2308m au Djurdjura. Dans le prolongement oriental de l'Atlas saharien, le massif de l'Aurès, culmine quant à lui à 2328m au Djebel Chelia. [3]

A l'arrière de ces reliefs se trouve un chapelet d'étroites plaines alluviales isolées les unes des autres, il s'agit, d'est en ouest, de la plaine d'Annaba, la Mitidja dans l'Algérois, la plaine de la vallée du Chleff, celle du Sig dans l'Oranie. Plus à l'intérieur on trouve les plaines de Mascara, de Bel-Abbès et de Tlemcen. Au sud de ces plaines, l'Atlas tellien déploie, à l'ouest des hautes plaines semi-désertiques et à l'est les hautes plaines constantinoises.

Au-delà, s'étend les reliefs primaires du Sahara, succession de larges plaines parsemées de dunes appelées ergs (grand Erg occidental, grand Erg oriental, Erg Chech), de dépressions recouvertes de sel – les sebkhas de Hamadas (plateaux recouverts de rocaïlle, tels le plateau du Tademaït ou le Tassili des Ajjer et le Hoggar, et enfin de hautes montagnes (massifs volcaniques du Hoggar qui culmine à 2908m au mont Tahat). [3]

En Algérie, autant la large disponibilité de l'énergie est un facteur favorable au développement durable, autant le déficit structurel en eau en constitue une contrainte majeure dont l'ampleur du défi a été longtemps sous-estimée, en particulier au lendemain de l'indépendance. [3]

Le pays est sorti, il y a quelques années, d'un cycle de sécheresse qui a duré près d'un quart de siècle avec toutes les conséquences sur l'assèchement de son régime d'écoulement

des eaux et tous les effets nocifs sur les nappes aquifères. A titre d'exemples, il avait plu les trois dernières années de ce cycle moins de 50% que la moyenne des 50 dernières années. [3]

Le déficit en eau potable pour alimenter Alger avait été tel qu'il a eu comme conséquence l'arrêt de l'irrigation sur la plaine de la Mitidja à partir des barrages (Hamiz, Safsaf).

La ville d'Oran a vu sa population consommer de l'eau saumâtre pendant plusieurs années.

L'Algérie, avec 500m³ d'eau par habitants en 2003, se situe parmi les pays les moins dotés de la planète, en dessous du seuil de rareté fixé par la banque mondiale à 1000m³ par habitant et par an. Depuis l'indépendance, la situation n'a fait que se dégrader puisqu'elle passe de 1500m³ en 1962 à 720m³ en 1990, 680m³ en 1995 et 630m³ en 1998. Les projections pour 2020, en scénario tendanciel, affichent 430m³ par an et par habitant. [3]

Cette situation caractérisée par des ressources insuffisantes, aggravée par des longs cycles de sécheresse dont le dernier s'est achevé en automne 2002, implique des conflits importants entre les différents utilisateurs qui nécessitent des arbitrages délicats et difficiles pour les pouvoirs publics. La faible pluviométrie de l'hiver 2007-2008 est là pour le rappeler. [3]

Les marges de manœuvre vont d'autant plus se rétrécir que les besoins en alimentation en eau potable (AEP) seront multipliés par 2.5 les 25 prochaines années.

Quelques éléments significatifs traduisent cette situation de crise permanente :

- Tensions fréquentes dans les grandes villes du fait de la disponibilité insuffisante de l'eau.
- Diminution importante de la superficie irriguée qui passe de 13ha en 1962 à 5ha pour 1 000 habitants en 2001.
- Disparition de certains vergers traditionnels du fait des prélèvements opérés du profit de l'AEP sur les eaux d'irrigation.
- Une population estimée à près de 8 millions d'habitants n'est pas encore raccordée au réseau de distribution d'eau potable.

L'érosion qui affecte les plaines septentrionales diminue non seulement le potentiel agricole mais affecte également les capacités de mobilisation des ressources en eau. Ajoutées

à cela, les diverses pollutions des eaux et les pertes dans les réseaux de distribution d'eau potable et d'irrigation aggravent la situation en matière de disponibilité d'eau.

A titre d'illustration les pertes totales dans les réseaux de distribution d'eau potable dans les villes sont estimées à 50% des volumes prélevés et à 40% pour les réseaux d'irrigation. [3]

2.3. Compositions de l'eau de mer :

2.3.1. Les éléments principaux :

Si la masse totale des sels dissous peut varier, le rapport de concentrations des différents éléments est stable. Cette constance des proportions est souvent appelée de Marcet ou de Dittmar. Les éléments principaux, c'est-à-dire ceux qui contribuent d'une façon notable à la masse de sels dissous dans les océans, représentent 11 éléments différents.

Leurs concentrations sont données par le tableau I.1.

Eléments	Concentrations (mg/kg)	Eléments	Concentrations (mg/kg)
Chlorure (Cl^-)	19353	Sodium (Na^+)	10160
Sulfate (SO_4^{2-})	2712	Magnesium (Mg^{2+})	1249
Bicarbonate (HCO_3^-)	142	Calcium (Ca^{2+})	413
Bromure (Br^-)	67	Potassium (K^+)	387
Fluorure (F^-)	1	Strontium (Sr^{2+})	8
Bore	4		

Tableau I- 1: Concentration des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35%. [4]

2.3.2. Autres éléments minéraux :

L'eau de mer contient de nombreux autres éléments à des concentrations beaucoup plus faibles (tableau I.2). Ces éléments, malgré leur faible concentration, ont une importance certain dans des processus biologique. Ils peuvent se trouver sous différentes formes (dissous, colloïdaux, ou en suspension).

Eléments	Concentration en $\mu g/l$	Eléments	Concentration en $\mu g/l$
Li	170	Cu	3
Al	10	Zn	10
Si	3000	As	3
P	70	Rb	120
Ti	1	Mo	10
V	2	I	60
Mn	2	Ba	30
Fe	10	U	30
Ni	2		

Tableau I- 2: Concentration des différents éléments mineurs dont la concentration est supérieur au $\mu g/l$ se trouvant sous forme dissoute, colloïdale, ou en suspension. [5]

Un litre d'eau de mer contient entre 30 à 40 g de sels alors les matières en suspension représentent quelques dizaines de mg par litre (mis à part aux embouchures de certains fleuves particulièrement chargés en matériaux terrigènes). Ces particules peuvent être finement divisées augmentant ainsi grandement les surfaces réactionnelles, ce qui peut avoir une importance notable sur les propriétés physico-chimiques de l'eau de mer. [5]

2.3.3. Matières organiques :

Les basses concentrations de matières organiques dans l'eau de mer rendent leur analyse chimique très compliquée. Les composés sont difficiles à isoler car dilués dans un milieu contenant beaucoup d'autres éléments à de plus fortes concentrations. Par convention, on sépare par filtration sur des filtres de 0.5 µm les matières dissoutes des matières organiques particulaires. Parmi les matières organiques dissoutes, on trouve des chlorophylles et caroténoïdes, de la vitamine B12, monosaccharides, des acides aminés.

Les matières organiques particulaires sont principalement constituées d'animaux et végétaux du zooplancton (ou leur résidus). Elles peuvent représenter de 10 à 60% de la matière en suspension. [5]

2.4. Salinité :

La salinité est le caractère essentiel de l'eau de mer. La présence de sel dans l'eau modifie certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, température du maximum de densité). D'autres (viscosité, absorption de lumière) ne sont pas influencées de manière significative. En fin, certaines sont essentiellement déterminées par la quantité de sel dans l'eau (conductivité, pression). [6]

Un aspect important de l'eau de mer est que si la concentration totale des sels dissous varie en fonction du lieu, la proportion des composants les plus importants reste à peu près constante. [6]

La salinité observée dans les différents océans ou mers de globe résulte d'un équilibre entre évaporation, pluies et apports des fleuves (salinité faible) d'une part et d'échange d'eau avec les autres mers ou océans auquel ils sont reliés d'autres parts. Elle est donc de l'ordre de 35g/l et c'est cette valeur qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer.

Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitation-évaporation. [6]

La salinité se mesure en PSU (Practical Salinity Unit), unité reposant sur la conductivité de l'eau de mer, équivalente au pour mille (‰) ou encore au g/kg. [7]

La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océanique comme l'illustre le tableau I.3. [7]

Origine	Salinité (g/l)
Mer baltique	17
Mer noire	22 à 25
Océans atlantique et pacifique	32 à 38
Mer méditerranée	37 à 40
Mer rouge-Golf Arabique	40 à 47
Mer morte	270

Tableau I- 3: Salinité de différentes mers fermées ou peu ouvertes. [7]

2.5. PH des eaux de mer :

L'eau de mer est faiblement alcaline et son pH moyen est de 8.2 avec des variations entre 7 et 8.4. Les variations de pH ont une certaine analogie avec celle de l'oxygène dissous. Ceci s'explique en considérant l'activité photosynthétique de certains organismes : une forte production d'oxygène s'accompagne d'une diminution de la teneur en CO₂ et par conséquent d'une augmentation du pH ; l'oxydation de la matière organique diminue la teneur en oxygène de l'eau en produisant du CO₂ et par conséquent abaisse le pH.

Dans certaines conditions comme les baies, les estuaires, le pH peut prendre des valeurs particulières. Notamment, dans les bassins isolés où il peut y avoir production d'H₂S. Le pH peut approcher des valeurs voisines de 7 ou tomber à des valeurs nettement plus acides.

Le pH des eaux de mer décroît avec une augmentation de température. Pour une eau de chlorinité de 19.5‰ et de pH=8, une élévation de température de 1°C, entre 10°C et 20°C, diminue le pH de 0.0109. [7]

De même, une augmentation de pression de 100 bar produit une diminution de pH de l'ordre de 0.02 (pour un pH de 8,3).

2.6. Autres propriétés de l'eau de mer :

2.6.1. Viscosité des eaux de mer :

La viscosité décroît rapidement en fonction de la température et dépend également de la salinité (tableau I.4). Cette dernière caractéristique est prise en compte dans l'équation suivante :

$$\eta = \eta_0(1 + A\sqrt{C} + BC) \quad (1)$$

η_0 Étant la viscosité du solvant à l'état pur, C la concentration du soluté, A et B des coefficients dépendant du soluté. Suivant la nature des ions, le coefficient B peut prendre des valeurs positives ou négatives et rendre plus en moins fluide le solvant (les ions ayant tendance à former des ions complexes augmentent la viscosité).

Température °C	5‰ s	10‰ s	20‰ s	30‰ s	40‰ s
0	1.009	1.017	1.032	1.056	1.054
5	0.855	0.863	0.877	0.891	0.905
10	0.738	0.745	0.785	0.772	0.785
15	0.643	0.649	0.662	0.675	0.688
20	0.568	0.574	0.586	0.599	0.611
25	0.504	0.510	0.521	0.533	0.545
30	0.454	0.460	0.470	0.481	0.491

Tableau I- 4: Viscosité relative η/η_0 de l'eau de mer en fonction de la température et de salinité (η_0 viscosité de l'eau pure à 0°C 1787 centipoises). [7]

2.6.2. Densités des eaux de mer :

Rapport de la masse volumique de l'eau de mer à celle de l'eau distillée à une température de 4°C. La densité des océans est en moyenne de l'ordre de 1.035 à 1.036. Elle varie avec la salinité, la température et la pression. [7]

3. Généralité sur le dessalement de l'eau de mer :

3.1. Définition :

Le dessalement de l'eau est un processus qui permet de supprimer les sels de l'eau salée ou saumâtre. Plusieurs procédés de dessalement ont été mis au point sur le marché mondial.

Le choix d'utilisation de chacun d'eux est relatif à la disponibilité de la source d'énergie qui fait fonctionner l'appareillage de dessalement, les principales techniques de dessalement mondialement connues sont (figure I.2). [8]

- les procédés thermiques qui se basent sur le principe de l'évaporation de la successive condensation.
- les techniques membranaires qui utilisent les capacités de certaines membranes.
- à retenir les particules dissoutes dans l'eau.

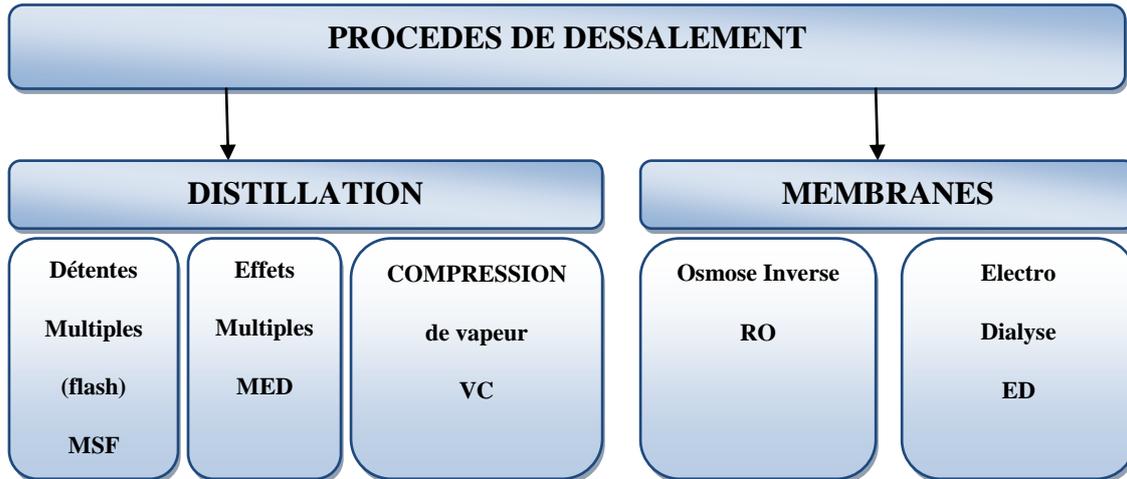


Figure I- 2: Les divers procédés de dessalement. [8]

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes : [8]

- Une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière.
- Un prétraitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte.
- Le procédé de dessalement lui-même.
- Le post-traitement avec une éventuelle reminéralisations de l'eau produite.

3.2. Procédé de distillation :

Les techniques de dessalement de l'eau de mer les plus utilisées La distillation ou dessalement thermique. L'eau de mer est chauffée jusqu'à évaporation. Seules les molécules d'eau s'échappent, laissant en dépôt les sels et les autres substances. La vapeur d'eau est condensée pour obtenir de l'eau douce. Ce principe de dessalement très simple est utilisé depuis longtemps.

Le principe fondamental mis en œuvre dans les procédés de distillation est le fait que la température d'ébullition de l'eau diminue avec la pression. Il s'agit dans tous les cas de distillation sous vide qui permet de travailler à des températures inférieure à 120°C. [9] et [10].

3.2.1. Distillation à simple effet :

Un faisceau tubulaire, alimenté par un fluide chauffant est plongé dans l'eau de mer à la Partie basse d'une enceinte étanche et sous vide.

Le fluide chauffant provoque alors une évaporation de l'eau de mer. La vapeur ainsi formée est condensée sur un faisceau tubulaire, placé dans la partie haute de l'enceinte et dans lequel circule l'eau de mer froide. L'eau distillée et condensée s'écoule du faisceau et est recueillie dans une goutte d'où elle est pompée pour des usages divers. La température d'ébullition de l'eau de mer varie avec la pression donnée, il est important de noter que, pour une pression donnée, il existe un écart entre la température d'ébullition de l'eau pure et celle d'une eau saline. [11]

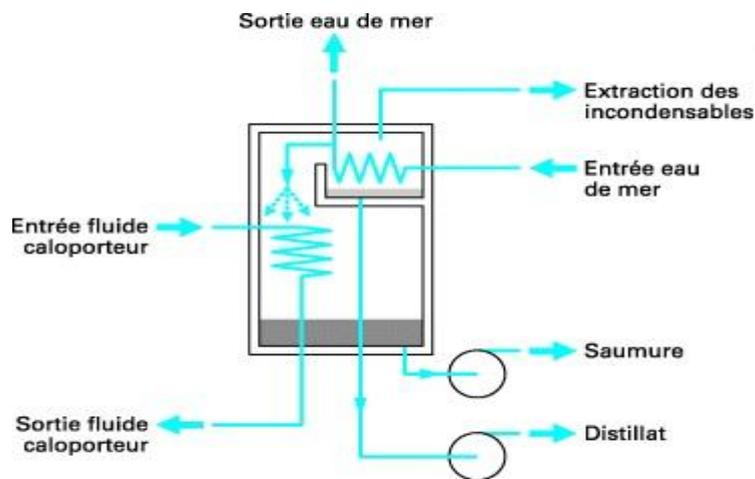


Figure I- 3: Principe de distillation à simple effet. [11]

3.2.2. Distillation à multiples effets :

On utilise la distillation à multiples effets pour améliorer le rendement thermique du cycle évaporation-condensation. La chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation réchauffe une seconde chambre à pression et température plus faibles et ainsi de suite.

L'eau de mer est chauffée dans le premier effet, vaporisant une fraction d'eau de mer, une partie de cette vapeur est condensée par le faisceau tubulaire où circule de l'eau de mer froide.

L'autre partie de la vapeur est renvoyée dans l'effet suivant, maintenu à une pression plus faible que le premier. De même, une partie de la saumure chauffée dans le premier effet est également utilisée pour chauffer l'eau de mer dans le second, à chaque effet, l'eau distillée est envoyée dans un collecteur (figure I.4). [11]

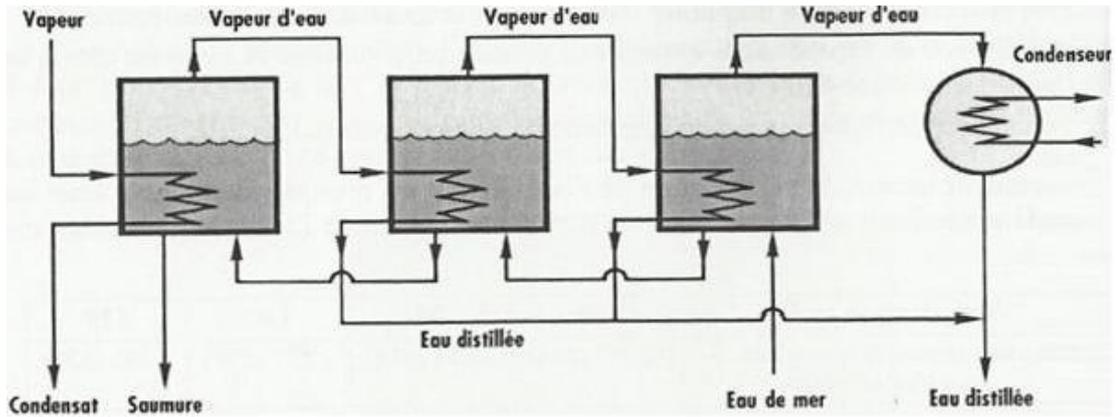


Figure I- 4: Distillation à multiples effets. [11]

3.2.3. Distillation par détente successives (Multi stage Flash, MSF) :

Ce procédé dit Flash consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage ; lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°C, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des réceptacles en dessous des tubes (figure I.5). [8]

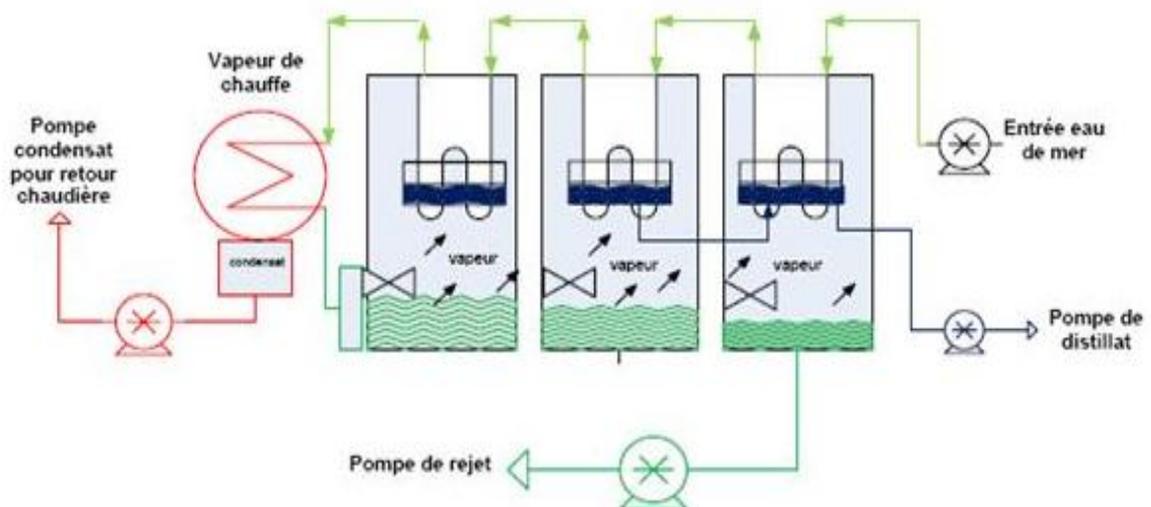


Figure I- 5: Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF). [8]

3.2.4. Distillation par compression de vapeur :

L'eau de mer à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermique isolée. La vapeur produite est aspirée par le 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'ébullition de l'eau salée (figure I.6). [12]

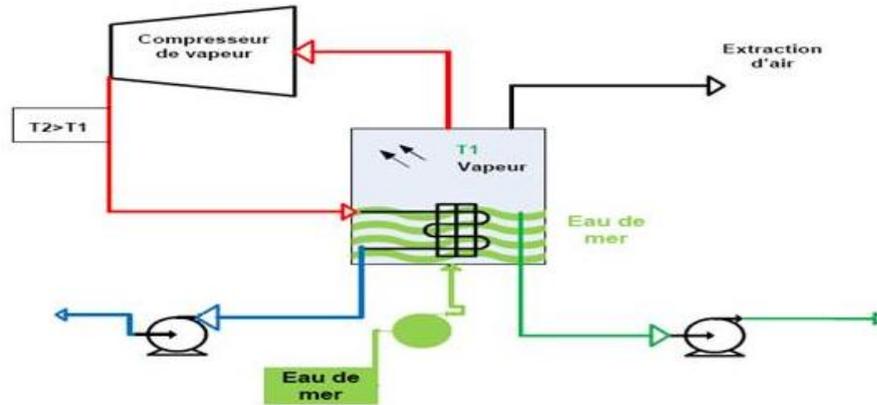


Figure I- 6: Compression mécanique de vapeur. [12]

3.3. Perspectives de la distillation :

Les perspectives de développement de la distillation pour le dessalement de l'eau de mer sont importantes, nous citerons les points forts de ce procédé :

- Les performances et les coûts de la distillation sont pratiquement indépendants de la salinité de l'eau de mer à traiter.
- Les procédés de distillation ne nécessitent pas de prétraitement sophistiqué de l'eau de mer : une filtration classique et une chloration pour éviter la prolifération d'organismes marins sont généralement suffisantes.
- La salinité de l'eau produite par distillation est très faible (de 5 à 30 mg/l), on peut même atteindre 1 mg/l, grâce à l'utilisation de séparateurs performants dans les évaporateurs.
- Une grande partie de l'énergie nécessaire est constituée par l'énergie à bas niveau (température comprise entre 80 et 110°C) que l'on peut obtenir dans certains cas à des coûts très faibles.
- unité de distillation moins sensible aux problèmes de colmatage.
- site disposant d'énergie dégradée à coût très faible.
- obtention d'une eau pure pour l'industrie qui atteint 5 à 30 ppm de salinité.

La distillation même si elle comporte quelques inconvénients ou même si elle coûte assez chère est un procédé couramment utilisé pour le dessalement de l'eau de mer. C'est aussi un des plus connus et un des plus simples à reproduire. Cette technique restera longtemps en place dans la catégorie « dessalement d'eau de mer » jusqu'à la découverte d'un procédé plus performant et moins coûteux.

3.4. Autres procédés de dessalement :

❖ Congélation :

La congélation de l'eau de mer fournit des cristaux de glace exempte de sel, le dessalement par congélation nécessite trois étapes :

- Congélation partielle de l'eau de mer.
- Séparation des cristaux de glace pure avec la saumure.
- Fusion des cristaux de glace.

Lorsqu'on refroidit une eau de mer jusqu'à environ (-2°C), il y a une formation de cristaux de glace qui sont constitués d'eau douce. L'eau de mer étant alors plus concentrée, elle résiste mieux à la congélation, si on fait baisser l'avantage la température, la production de glace augmente, aux environs de la température (-9°C), de surface de sodium déca-hydraté à tendance à participer pour produite de l'eau au- dessous de cette température. [8]

❖ Echange d'ions :

Certaines résines, insolubles, ont la propriété d'échanger certains de leurs ions avec ceux des sels dissous dans la solution (l'eau de mer) avec laquelle on met ces résines en contact. On utilise les résines anioniques pour échanger les anions de la solution par des ions OH^- et les résines cationiques qui permettent de remplacer les cations (Na^+) par des ions H^+ . Ce procédé est plutôt utile pour déminéraliser l'eau de faible teneur en sel. [8]

❖ Distillation solaire :

On utilise surtout la distillation solaire pour obtenir des petites quantités d'eau douce. Cette méthode est fréquemment utilisée dans les îles grecques et en Polynésie par l'énergie solaire globale qui atteint le sol dans les régions tropicales et « équatoriales et qui est d'environ $58.6 \text{ kJ (m}^2 \cdot \text{Min)}$ et un évaporateur solaire constitué d'un bac pour contenir l'eau à faire évaporer et pour absorber l'énergie solaire, une toiture de verre ou de matière plastique ainsi que deux rigoles destinées à recevoir l'eau douce produite. L'énergie rayonnante de faible longueur d'onde traverse la toile de verre, absorbée en grande partie par l'eau et par le fond du bac pour être convertie en énergie thermique produisant ainsi de l'eau douce qui s'infiltrer vers les rigoles se trouvant latéralement au bac (figure I.7). [8]

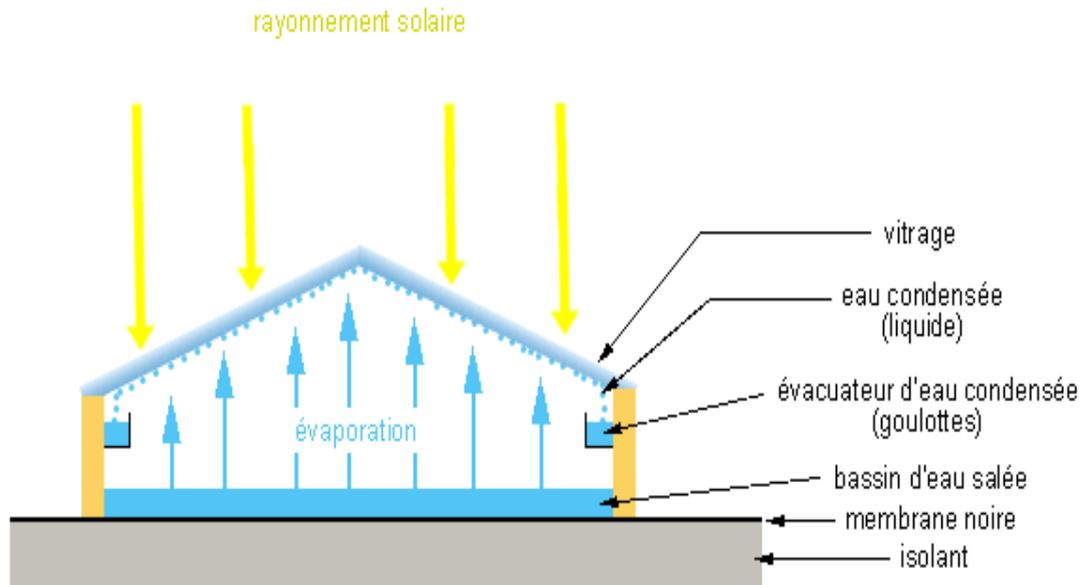


Figure I- 7: Distillation solaire. [8]

3.5. Les procédés membranaires :

3.5.1. Généralités :

Le procédé de traitement des eaux par membrane d'osmose inverse est une des techniques de filtration membranaire. Il est utilisé en dessalement des eaux saumâtres, des eaux de mer et également pour la réutilisation des eaux usées urbaines et industrielles.

L'objectif principal de cette technologie est l'élimination des sels et des substances organiques présentes dans les eaux ainsi qu'une partie des bactéries et des virus.

En dessalement des eaux de mer, l'osmose inverse reste en compétition avec les procédés thermiques (multi flash ou multi effet). Le choix entre ces deux technologies dépend essentiellement des coûts énergétiques (électricité et vapeur), de la qualité de l'eau brute à traiter ou de l'eau dessalée à obtenir. [13][14]

a). L'ultrafiltration (UF) :

L'ultrafiltration a pour objet de séparer deux constituants en solution en fonction de leurs masses moléculaires. La membrane utilisée a des micropores de dimensions comprises entre 0.002 et 0.05mm, cette technique a des applications très divers, tels que les industries agroalimentaires, Textiles et pharmaceutiques ainsi que dans le traitement des eaux.

b) .La microfiltration (MF) :

Cette technique s'apparente à l'ultrafiltration mais s'en distingue par la nature des espèces à arrêter, de ce fait elle concerne la clarification et la stérilisation des eaux et des liquides alimentaires ou biologiques.

c) .l'osmose inverse :

Ce procédé fait l'objet de notre étude, OI est un procédé de séparation des sels dissous, la matière organique, les virus et bactéries de l'eau au moyen de membranes semi- perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bar pour le traitement de l'eau de mer).

d) .L'électrodialyse :

L'électrodialyse consiste à transférer des ions de sels dissous à travers des membranes qui ne laisse pas passer l'eau épurée, le mouvement des ions est provoqué par un champ électrique, l'électrode négative (cathode) attire les cations, tandis que les anions se déplacent vers l'électrode positive (anode) (figure I.8).

Les installations sont formées d'empilements compartimentés de membranes alternativement anionique et cationique, un compartiment sur deux renferme des saumures concentrées et un sur deux du permet épuré. [14]

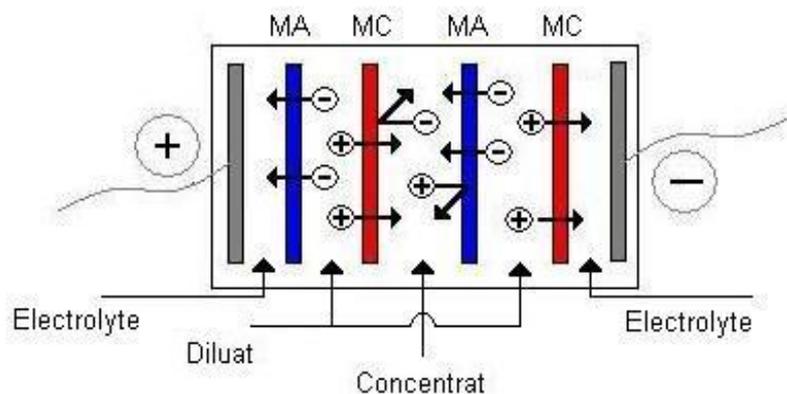


Figure I- 8: Principe de dessalement par l'électrodialyse (Bushnak, 2012). [14]

3.6. Consommation énergétique :

Consommation énergétique d'une usine de dessalement.

Pour le calcul de la consommation énergétique de l'usine, nous prendrons en compte les éléments suivants :

- Pompes de captage.
- Pompes Hautes Pression (HP).
- Autres sources (éclairage, ventilation, ...)
- Récupérateurs d'énergies (échangeurs de pression, turbines, ...).

Moyennes de consommation énergétique de procédés de traitement de l'eau :

Il existe des valeurs moyennes calculées par Veolia Environnement (autrefois Veolia Environnement, Vivendi Environnement et précédemment compagnie générale des eaux) est une multinationale française, chef de file mondial des services collectifs.

Et présentées dans le Tableau I.5

Filière de production d'eau potable	Consommation Electrique (Wh/m³ d'eau potable)
Traitement conventionnel	50 – 150
Traitement membranaire (UF ou MF)	100 – 200
Traitement membranaire avancé d'eau de surface ou de nappe	250 – 700
Dessalement d'eau saumâtre (NF ou OI)	600 – 1500
Dessalement d'eau de mer avec système de récupération d'énergie (OI)	3000 – 5000
Dessalement d'eau de mer sans système de récupération d'énergie (OI)	5500 – 8000
Dessalement thermique (distillation)	> 6000
Réutilisation d'eau usée	250 – 1500
Traitement des boues	5 – 15

Tableau I- 5: Consommation électrique de filières de production d'eau potable. [15]

Pour le procédé de dessalement d'eau de mer par osmose inverse (OI) avec système de récupération d'énergie, a une consommation moyenne d'électricité entre 3 à 5 kWh/m³.

3.7. Les impacts sur l'environnement :

3.7.1. Effets dus aux produits de la corrosion :

Sont rejetés par les unités de dessalement et peuvent constituer une menace pour les organismes d'estuaire en raison de leur toxicité. Nous avons :

➤ **Les traces de métaux :**

Le Ni, Mo, Fe, Cr, Zn, provenant de la dissolution de tuyauterie et système de condensateur de refroidissement et autres dépendants des alliages présents dans la

ligne du process. Ces métaux provoquent des stressés au niveau des communautés aquatiques et leurs effets seront plus marqués au niveau des habitats benthiques soumis à un enrichissement plus élevé de métaux trace. (Hoepner, 2003). [16]

➤ **Le Cuivre :**

A forte concentration, le Cuivre est très toxique et joue le rôle d'inhibiteur d'enzymes au niveau de l'organisme et peut entraîner le décès d'un nombre important d'espèces susceptibles. Pour le phytoplancton, le Cuivre inhibe la photosynthèse, limite l'absorption et l'assimilation du nitrate et l'adsorption du silicate. Au niveau des poissons d'estuaire, des changements apparaissent dans la physiologie de l'organisme, la reproduction et le développement. [16]

➤ **Le Fer :**

Le Fer est contenu dans certains additifs entrants dans le processus de dessalement. En présence d'une forte salinité peut conduire à un accroissement de la turbidité qui risquera de perturber la photosynthèse. [16]

3.7.2. Effets dus aux additifs antitartres :

Les produits utilisés contre l'entartrage sont les phosphates polymères. Dans une zone marine oligotrophe comme la mer méditerranée, le rejet de ces produits peut avoir des effets drastiques tels que des efflorescences algales, des proliférations d'algues macroscopiques, etc.

Ces dernières années, les agents antitartre les plus largement utilisés ont été les polymères de l'acide maléique pour empêcher l'apparition d'effets eutrophisants. [17]

3.7.3. Effets des additifs antisalissure :

Si le chlore est un agent antisalissure à large spectre, il présente aussi des effets étendus sur le milieu marin quand il est rejeté avec la saumure. Il occasionne des effets biologiques par son action stérilisante intrinsèque et des effets chimiques en halogénant les constituants organiques de l'eau de mer. [16]

D'autres agents antisalissure comme les sels de cuivre entraînent des rejets de cuivre dans la saumure, et ce métal, même à de très faibles concentrations (moins de 1ppm), peut avoir des incidences sur l'environnement par suite de son accumulation. [17]

3.7.4. Effets des additifs antis mousses :

Les agents anti mousse sont des détergents. Les détergents ont des effets nocifs sur les organismes en altérant le système membranaire intracellulaire. Les effets sur l'écosystème marin n'ont pas été étudiés mais pourraient être négligeables. [17]

3.7.5. Impact de bruit :

Une usine de dessalement par filtration membranaire est plus bruyante, et la majeure partie de ce bruit provienne des pompes haute pression et des turbines de récupération d'énergie qui présente un danger pour les travailleurs de la station. [14]

3.7.6. La consommation énergétique par rapport aux autres alternatives de ressources en eau potable :

La consommation énergétique importante des usines de dessalement est l'un des principaux inconvénients de cette source alternative d'eau potable. Cette consommation est due, d'une part, au pompage à haute pression (deux tiers du total) et, d'autre part, au reste des pompages de l'usine : pompage d'eau de mer, lavage des filtres et membranes, pompes vide cave, ponts roulants, éclairage, etc.), qui constituent l'autre tiers. Au cours des dernières années, il y a eu une diminution de la consommation spécifique grâce au remplacement progressif de la distillation par l'osmose inverse, ainsi qu'au système de récupération de l'énergie des saumures. [8]

3.7.7. La saumure :

La saumure est un sous-produit du dessalement inévitable, qui est déchargée, généralement dans l'environnement marin. Les constituants présents dans ces eaux résiduaire rejetées par les usines de dessalement dépendent dans une large mesure de la qualité de l'eau d'alimentation, de la qualité de l'eau douce produite et de la technique de dessalement adoptée. Cependant, les rejets des usines de dessalement ne comprennent pas seulement l'effluent de saumure concentrée, les désinfectants et les agents antisalissure (antifouling), mais également des eaux chaudes et des effluents aqueux tels que les distillats et condensats d'éjecteur. [19]

3.8. Techniques pour minimiser les impacts du dessalement sur l'environnement :

Les saumures fortement salines en contact avec la mer descendrait au fond de la mer et prolongeraient sur un rayon de centaines de mètres présentent une source continue et cumulative de pollution, qui aurait comme conséquence des détriments continus sur la vie

aquatique à proximité (zone hyper saline). Pour réduire au minimum ces effets nuisibles des usines de dessalement de l'eau de mer nous proposons des remèdes pour débarrasser le surplus des saumures concentrées. [21], [20], [14], [22], [10]

- Il est souhaitable de placer le point de décharge de saumure loin de la plage et des endroits rocheux qui sont riches en organismes à partir d'un émissaire sous marin, ou par incorporation des diffuseurs sur les tubes de décharges pour améliorer la dilution des saumures.
- Utilisation de l'eau déchargée de la centrale électrique pour la dilution des saumures concentrées (un taux élevé de dilution pourra réduire la tendance de dessalement au fond).
- Diriger les saumures vers une usine de production de sel. Cette solution présentera beaucoup d'avantages environnementaux et économiques.
- La décharge zéro au moyen d'un procédé d'évaporation des produits concentrés qui permet d'obtenir des résidus secs. Cette issue nécessitera une forte augmentation du capital d'investissement et de la consommation d'énergie.
- Utilisation des énergies renouvelables (solaires) pour fonctionner les usines de dessalement et essaient de produire un déversement nul de saumure dans la mer (usine de dessalement environnemental).
- La réalisation d'une cartographie sous-marine des habitats écologiques à protéger dans toute la région. Cette information doit être autant décisive que les contraintes sociales ou économiques, au moment de choisir la parcelle où on situera l'usine de dessalement.
- Le choix adéquat du type de rejet, soit direct sur la côte soit par le biais d'un émissaire sous-marin : il faut tenir compte de l'importance de la vitesse et de l'angle de sortie du jet ou des diffuseurs d'eau, de la bathymétrie du fond marin, du régime des houles et courants marins, etc.
- Le rejet simultané de saumures avec les eaux de refroidissement d'une centrale thermique ou avec l'effluent d'une usine de traitement d'eaux résiduelles est une solution intéressante à adopter, dans la mesure du possible. [23], [14]
- Rejet bien étudié aux endroits des embouchures des cours d'eau pour avoir une dilution et un équilibre naturel des différentes concentrations ambiantes naturelles.

4. Conclusion :

Le dessalement d'eau de mer est l'une des solutions les plus efficaces pour pallier le manque d'eau dans certains pays. Chaque procédé de dessalement d'eau de mer est très intéressant et performant à mesure que les conditions de son utilisation soient favorables.



CHAPITRE II

*Généralités sur les
Membranes*



CHAPITRE II : GENERALITE SUR LES MEMBRANES

- 1. Introduction**
- 2. Définition**
- 3. Classification des membranes**
- 4. Les principaux types de membranes utilisées**
- 5. Structure des membranes**
- 6. Comparaison entre les différents modèles de membranes**
- 7. Performance des membranes**
- 8. Osmose inverse**
- 9. Conclusion**

1. Introduction :

La filtration membranaire est un procédé de séparation des composants d'un fluide. Le rôle de la membrane permselective est d'agir comme une barrière sélective qui permet certains transferts de matière entre deux milieux qu'elle sépare et qui en interdit d'autres ou, de façon moins restrictive, qui en favorise certains par rapport à d'autres sous l'action d'une force de transfert. La phase retenue constitue alors le retentât (ou concentrât) alors que la phase ayant traversé la membrane s'appelle le perméat (ou filtrat).

2. Définition :

La membrane est une mince paroi permettant une séparation sélective d'espèces chimiques, ioniques, moléculaires ou biologiques : un « nano filtre ». Les pores d'une membrane sont de l'ordre de grandeur du nanomètre et varient de 1 à 100 suivant l'emploi que l'on destine à ces membranes.

Deux types de membranes sont utilisés en traitement de l'eau :

- Les membranes symétriques (ou isotropes), qui possèdent des propriétés identiques sur toute leur épaisseur.
- Les membranes asymétriques (ou anisotropes), dont la structure composite varie de la surface de la membrane vers l'intérieur.

Ces membranes sont généralement supportées, c'est-à-dire fixées sur un support de manière à leur conférer une bonne stabilité mécanique. [24]

3. Classifications des membranes :

Les matériaux membranaires doivent avoir une résistance chimique, thermique et mécanique en accord avec le procédé et le fluide utilisé.

- **La résistance chimique** est reliée à la nature du fluide traité (pH, oxydant /réducteur...) ainsi qu'aux nettoyages mis en œuvre lors de la lutte contre le colmatage et/ou la désinfection des installations.
 - **La résistance thermique** des matériaux impose une plage de température d'utilisation en continu ou de manière momentanée.
 - **La résistance mécanique** dépend du matériau mais aussi de la structure de la membrane et de sa géométrie.

Les matériaux membranaires doivent pouvoir être mis en forme facilement et permettre la fabrication d'une membrane fine, résistante, sélective et perméable. Trois grandes catégories existent : les membranes organiques ou polymères, les membranes minérales et les membranes mixtes. [25]

3.1. Les membranes organiques :

Sont les premières à avoir fait leur apparition sur le marché. On distingue généralement :

-les membranes à base d'acétate de cellulose, Ce sont des matériaux possédant de bonnes propriétés de perméabilité mais qui souffrent de conditions limites d'utilisation relativement contraignantes en raison de leur sensibilité à l'hydrolyse chimique et aux températures élevées.

-les membranes qui sont constituées de polymères de synthèse (poly sulfone, polyamides aromatiques, polycarbonates, polymères fluorés...), Ces membranes possèdent des résistances chimiques et thermique supérieures aux membranes cellulosiques et ont permis d'augmenter significativement le nombre d'applications des procédés membranaires. [25]

3.2. Les membranes inorganiques :

Constituées à base de matériaux céramiques (alumine, dioxyde de titane, dioxyde de zirconium), sont plus résistantes mécaniquement, chimiquement et thermiquement que leurs concurrentes organiques, ce qui justifie leur utilisation dans des applications mettant en jeu des milieux agressifs et/ou non aqueux ; De plus, elles peuvent subir des stérilisations à la vapeur sans altération de leur structure. [25]

3.3. Les membranes mixtes:

Faites de polymères organiques et de matériaux inorganiques qui offrent des avantages spécifiques pour la préparation de membranes exigeant une sélectivité importante et des débits élevés, ou une résistance chimique et thermique considérable. [25]

4. Les principaux types de membranes utilisées sont :

4.1. Les membranes tubulaires :

Les membranes tubulaires ne sont pas des membranes autosupportées. Elles sont placées à l'intérieur d'un tube, fait avec un type spécial de matériau. Ce matériau est la couche support de la membrane. L'attachement de la membrane à la couche support est assez faible.

Les membranes tubulaires ont un diamètre d'environ 5 à 15 mm. Du fait de la taille de la surface de la membrane, l'obstruction de la membrane est peu probable. Un inconvénient des membranes tubulaires est une densité du conditionnement faible et par conséquent un prix par module élevé. [26]

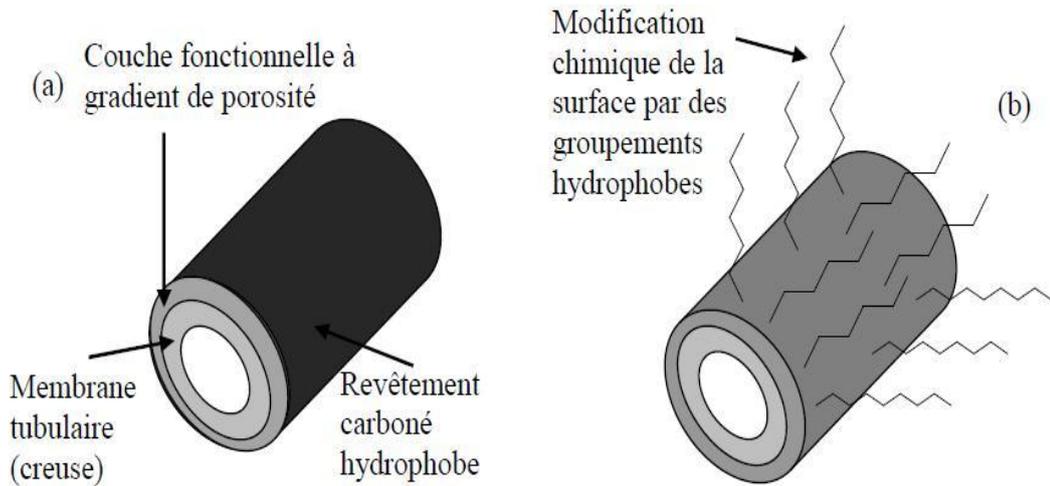


Figure II-1 : Les membranes tubulaires. [26]

4.2. Les membranes Planes :

Les membranes sous formes de plaque plate sont appelées membranes pillow-shaped, ce nom provient du fait que lorsque deux membranes sont assemblées dans une unité on obtient une forme d'oreiller.

A l'intérieur du module, plusieurs "pillow" sont placés avec une certaine distance entre eux, qui dépend de la quantité du solide dissout dans l'eau. [27]

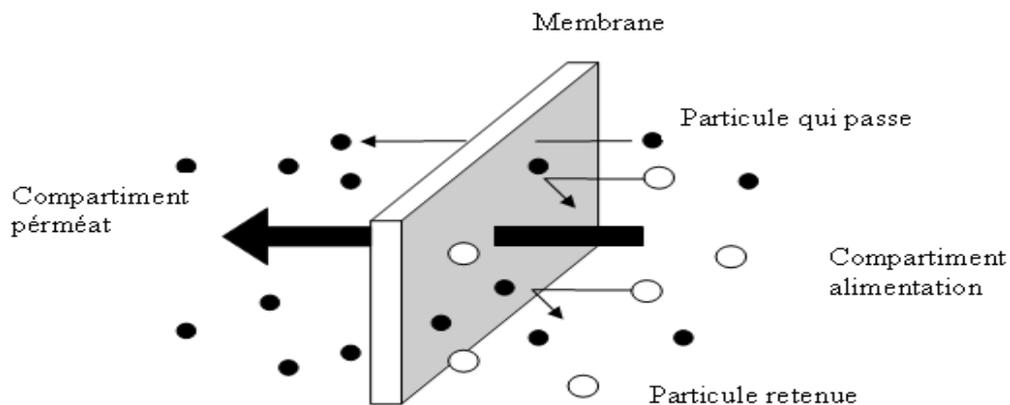


Figure II-2 : Les membranes Planes. [27]

4.3. Les membranes fibres creuses :

Les membranes fibres creuses sont des membranes avec un diamètre inférieur à $0.1 \mu\text{m}$. Par conséquent les risques d'obstruction sont très élevés. Les membranes ne peuvent être utilisées que pour le traitement d'eau avec peu de solide en suspension. La densité de

conditionnement est très élevée. Les fibres creuses sont presque toujours utilisées simplement pour la nano-filtration et l'osmose inverse. [26]

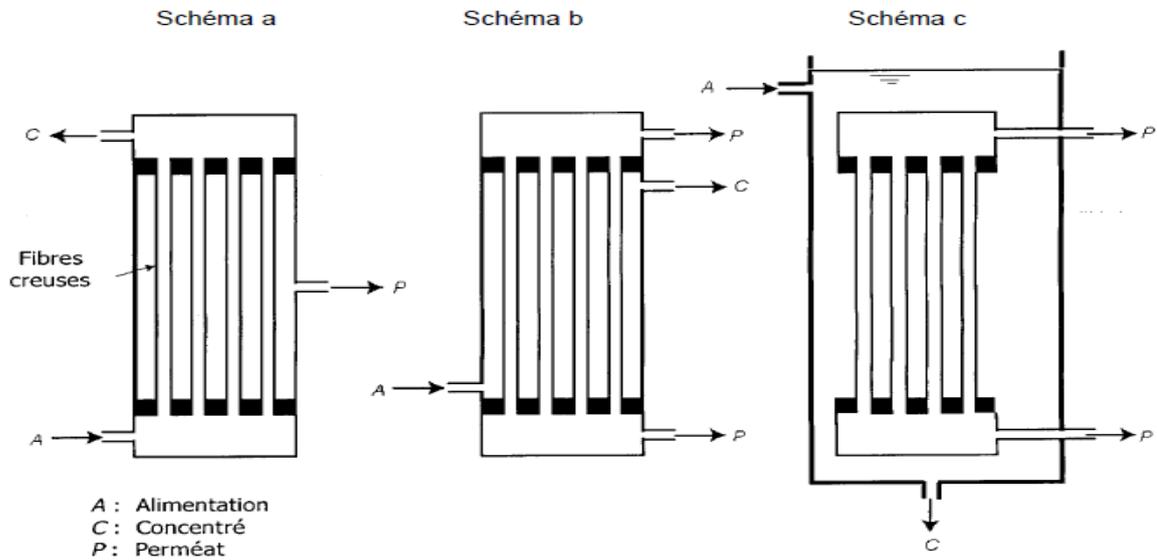


Figure II-3 : Les membranes fibres creuses. [26]

4.3. Les membranes en spirale :

Les membranes en spirale sont constituées de deux couches de membranes. Ces membranes sont enroulées autour d'un drain central permettant de récupérer le perméat. De ce fait la densité de l'ensemble est plus élevée.

Les membranes spiralées sont uniquement utilisées pour les applications de nano filtration et d'osmose inverse. [28]

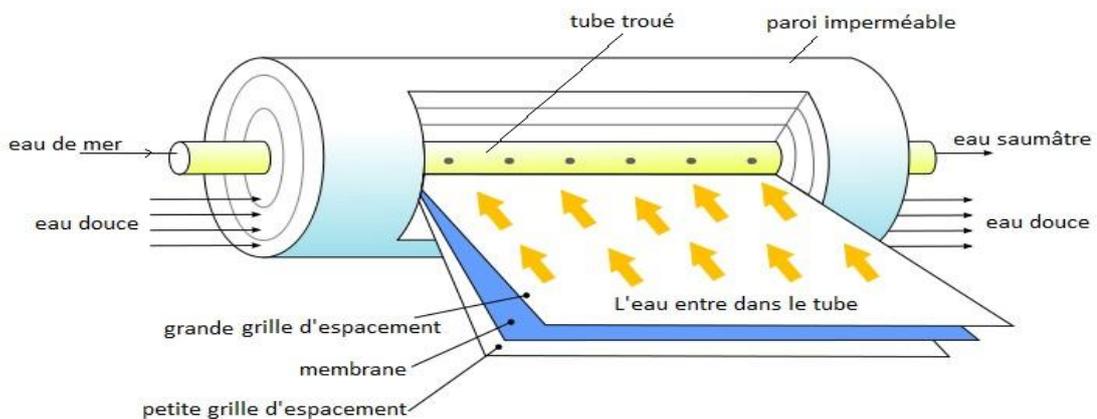


Figure II-4 : Les membranes fibres creuses. [28]

5. Structures des membranes :

5.1. Membranes poreuses et membranes denses :

Une membrane poreuse présente une structure semblable à une éponge avec des pores continus pouvant être interconnectés entre eux. Un pore est défini comme un interstice entre les constituants solides de la membrane. Dans le cas des membranes organiques, la structure poreuse résulte des espaces entre les chaînes de polymère tandis que dans le cas des membranes inorganiques les pores sont constitués par les espaces inter-granulaires. Même s'il existe quelques types de membranes ayant des pores droits et de géométrie bien définie, la plupart des matériaux commercialisés sont caractérisés par un réseau de pores tortueux et interconnectés.

La porosité d'une membrane est définie comme le rapport du volume des espaces vides sur le volume total de la matrice. Cette grandeur dépend de la taille des constituants élémentaires de la matrice mais également du procédé d'élaboration de la membrane.

Avec :

- porosité de la membrane.
- Volume total des pores de la membrane (m^3).
- Volume apparent de la membrane (m^3).

Lorsque les interstices entre les constituants de la matrice membranaire ont une taille voisine de celle d'un ion solvate, on ne parle plus de pores et on qualifie la membrane de dense. [25]

5.2. Membranes symétriques et membranes asymétriques :

Les membranes peuvent également être classées en fonction de la structure des différents matériaux qui la composent. On distingue :

- Les membranes symétriques (ou isotropes) composées d'un même matériau ayant une porosité sensiblement uniforme sur toute l'épaisseur. Elles peuvent être denses ou poreuses. Dans ce cas la membrane, dans toute son épaisseur, forme la couche sélective.
- Les membranes asymétriques (ou anisotropes) dont la structure varie d'une couche à l'autre. Celles-ci présentent une structure hétérogène. Il peut s'agir de membranes constituées d'un même matériau mais de porosité variant de façon graduelle suivant

leur épaisseur ou de membranes composées de plusieurs couches de différents matériaux (on parle alors de membranes composites). [25]

La peau est la partie sélective de la membrane. Elle possède la porosité la plus faible et les pores les plus petits. Son épaisseur est très faible devant celle de la membrane : de l'ordre de 1 μm ou moins. Cette faible épaisseur permet d'associer une haute sélectivité à une haute perméabilité. Les performances en filtration de la membrane ne dépendent donc que des performances de la peau.

La sous-couche poreuse forme la plus grande partie de la membrane. Elle possède une porosité souvent très importante (60 à 80 %), associée à des pores de grandes dimensions (à l'échelle du micromètre). Elle n'offre pas de sélectivité et n'influe pas sur la perméabilité. Son rôle est d'assurer la résistance mécanique de la membrane. [25]

6. Comparaison entre les différents modèles de membranes :

Le tableau suivant nous permet de faire une comparaison entre les différents modèles de membranes :

module	Tubulaire	Plane	Spirale	Fibre creuse
Débit (L/h/m^2)	30	30	30	3
Capacité de production (m^3/an)	9	9	30	45
Prétraitement	Simple	Simple	moyen	Elevé
colmatage	faible	faible	moyen	Elevé

Tableau II-1: Comparaison des modules d'osmose inverse selon la membrane utilisée. [27]

D'après les données mentionnées dans le tableau précédant, on peut choisir le type de membrane à utiliser et en général le modèle spirale est le plus favorable vue qu'il plus rentable question de capacité de production et le taux de colmatage est faible ce qui augmente la durée de vie des membranes. [27]

7. Performances des membranes :

7.1. Perméabilité :

Elle représente le flux volumique ou massique traversant la membrane par unité de surface membranaire. [29]

7.2. Resistance :

Vis à vis la pression, la température et les agents chimiques.

Nous notons que la sélectivité et la perméabilité dépendent directement de la pression et de la température. Une membrane, est utilisée toujours dans les limites bien définies de P, T et pH. [29]

7.3. Durée de vie :

Chaque membrane a une durée de vie, au delà de laquelle, la membrane ne sera pas performante (chute de rendement et de performances, dégradation de l'état, usures...). [29]

7.4. Taux de conversion :

Dans le cas des techniques à membrane, l'écoulement du fluide à filtrer peut être continu et tangentiel.

La fraction de débit du liquide qui traverse la membrane est appelée taux de conversion de l'opération de séparation : [29]

$$Y = \frac{Q_p}{Q_f} \quad (2)$$

Q_p : Débit de permeat.

Q_f : La solution à traiter.

7.5. Sélectivité :

La sélectivité d'une membrane est, en général, définie par le taux de rejet (appelé aussi taux de rétention) de l'espèce (sel, macromolécule, particule) que la membrane est censée retenir : [29]

$$R = \frac{c_f - c_p}{c_f} = 1 - \frac{c_p}{c_f} \quad (3)$$

R : Taux de rétention.

c_f : Concentration de l'espèce à retenir dans la solution.

c_p : Concentration de cette même espèce dans le permeat.

8. L'Osmose inverse :

8.1. Principe :

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par permutation à travers des membranes semi-sélectives sous l'effet d'un gradient de pression. L'écoulement

s'effectue en continu, une partie de la solution à traiter (débit Q_0) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes :

- une partie (débit Q_p) passe à travers la membrane (perméat).
- une partie qui ne passe pas à travers la membrane (concentrat). [8]

8.2. Schéma général d'une installation d'osmose inverse :

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

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

L'écoulement du fluide sur la membrane est continu et tangentiel. Cet écoulement tangentiel permet de limiter l'accumulation sur la membrane des diverses espèces (particules, molécules, ions) retenues par cette dernière. Le débit d'entrée (Q_0) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes. Une partie (débit Q_p) passe à travers la membrane (perméat) alors que l'autre partie est retenue par la membrane (concentrat ou rétentat). [8]

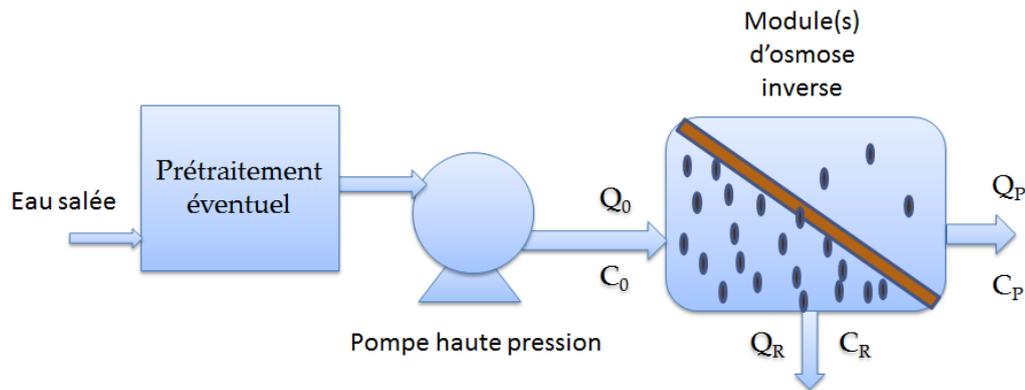


Figure II-5: Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse. [8]

8.3. Pression osmotique :

Loi de Van't Hoff :

Pour des solutions suffisamment diluées, la pression osmotique π peut être assimilée à pression d'un gaz parfait dont les "molécules" seraient précisément les espèces en solution (ions Na^+ et Cl^-) : [8]

$$\pi = i . C . R . T \quad (4)$$

i : nombre d'ions.

C : concentration (mol/L).

R : constante des gaz parfaits (0,081 L.atm/K/mol).

T : température en K.

1atm = 1,013 bar.

8.4. Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse : Deux paramètres sont pris en compte:

- le taux de conversion c'est-à-dire la fraction du débit de liquide qui traverse la membrane. [8]

$$Y = \frac{Q_p}{Q_0} \quad (5)$$

Q_p : Débit de permeat.

Q_0 : La solution à traiter.

- la sélectivité de la membrane définie par le taux de rejet R (ou taux de rétention) de l'espèce que la membrane peut retenir.

$$R = \frac{c_0 - c_p}{c_0} = 1 - \frac{c_p}{c_0} \quad (6)$$

R : Taux de rétention.

c_0 : Concentration de l'espèce à retenir dans la solution.

c_p : Concentration de cette même espèce dans le permeat.

9. Conclusion :

Chaque procédé de dessalement d'eau de mer est très intéressant et performant à mesure que les conditions de son utilisation soient favorables, mais l'amélioration de la qualité des membranes et la réduction de la consommation électrique font imposer de plus en plus l'osmose inverse dans plusieurs pays du monde.



CHAPITRE III

L'énergie solaire



CHAPITRE III : L'ENERGIE SOLAIRE

- 1. Introduction**
- 2. Energie renouvelable**
- 3. Energie solaire**
- 4. Conversion de l'énergie solaire**
- 5. Rayonnement solaire**
- 6. Le gisement solaire en Algérie**
- 7. Types des capteurs solaire**
- 8. Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire**
- 9. Conclusion**

1. Introduction :

Les sources d'énergie jouent un rôle très important dans le développement de l'humanité, avec l'évolution industrielle et technologique de notre siècle.

La demande énergétique est croissante chaque année, pour cette raison il faut chercher sur une autre source d'énergie nouvelle plus précisément les énergies renouvelables et notamment l'énergie solaire [30].

L'énergie solaire est présentée par deux systèmes :

- ♦ Système solaire thermique (chaleur) :
Les capteurs solaires thermiques.
- ♦ Système solaire photovoltaïque (électricité) :
Panneaux ou modules photovoltaïque.

Nous allons nous intéresser à l'exploitation de l'énergie solaire par voie thermique en utilisant un capteur solaire plan à air.

Un des problèmes essentiels de l'utilisation de l'énergie solaire est les faibles échanges thermiques réalisés avec l'air dans la veine dynamique du capteur solaire. Ces échanges ne permettent pas d'obtenir de meilleures performances ou une meilleure efficacité thermique de ces systèmes. Par contre, l'introduction de chicanes (obstacles) disposées en rangées dans les conduits de ces systèmes améliore nettement les transferts thermiques. [31]

2. Energie renouvelable :

Une énergie est dite renouvelable lorsqu'elle provient de sources que la nature renouvelle en permanence, par opposition à une énergie non renouvelable dont les stocks s'épuisent. Les énergies renouvelables proviennent de 2 grandes sources naturelles : le Soleil (à l'origine du cycle de l'eau, des marées, du vent et de la croissance des végétaux) et la Terre (qui dégage de la chaleur). Surnommées « énergies propres » ou « énergies vertes », leur exploitation engendre très peu de déchets et d'émissions polluantes mais leur pouvoir énergétique est beaucoup plus faible que celui des énergies non renouvelables. [32]

❖ Les différentes filières des Energies Renouvelables :

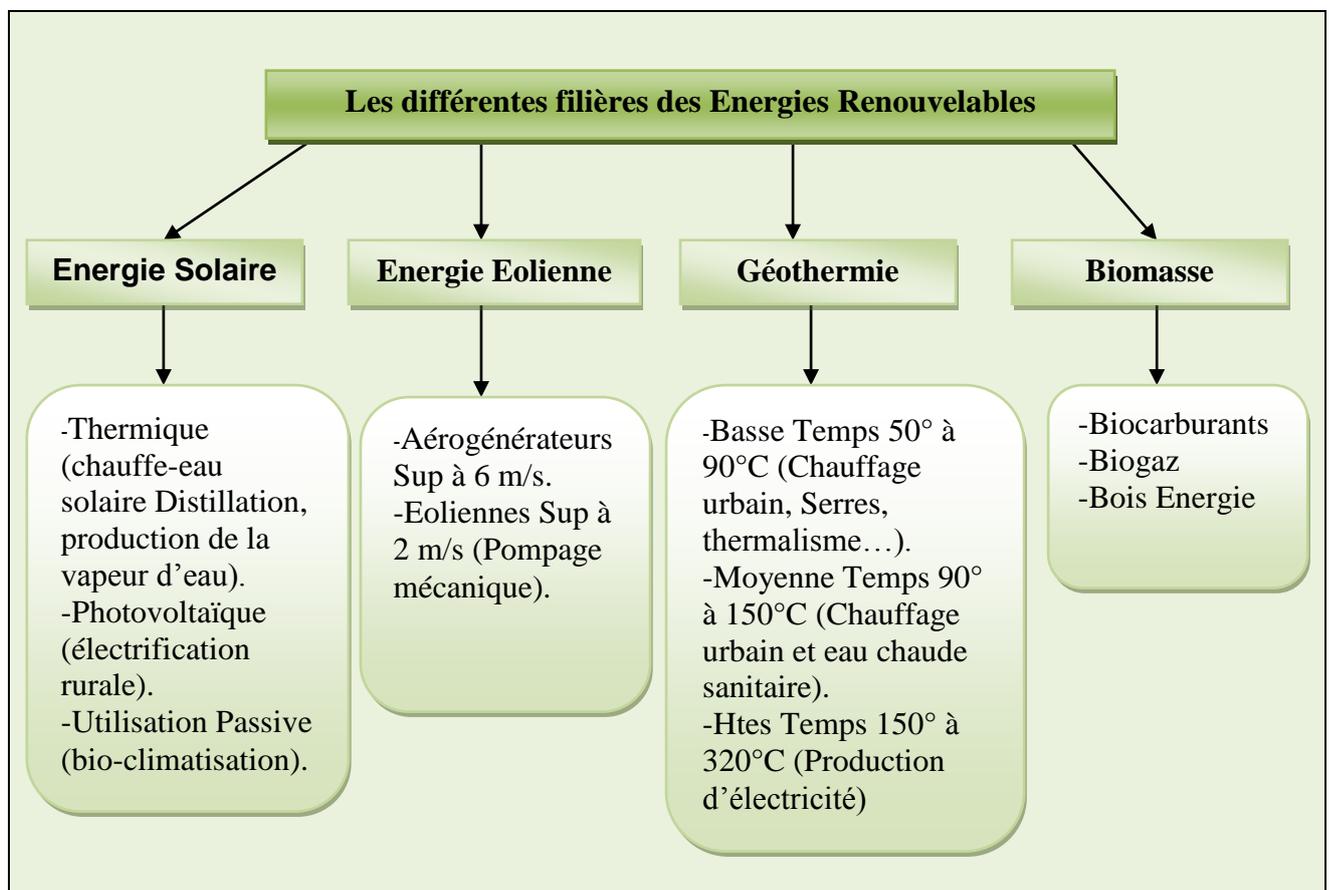


Figure III- 1: Représente les différentes filières des énergies renouvelables. [32]

Globalement, la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité reste encore faible 20% de l'électricité produite dans le monde est d'origine renouvelable. L'essentiel étant toujours issu des combustibles fossiles, tels que le pétrole ou le charbon (62,7%) et par l'énergie nucléaire (17,1 %).

Ces chiffres masquent les disparités entre les sources d'énergies renouvelables. À elle seule, l'hydroélectricité génère 92,5 % de l'électricité issue des énergies renouvelables. Les utilisations de la biomasse produisent 5,5 % du courant mondial « vert », la géothermie 1,5 %, l'éolien 0,5 % et les techniques solaires y contribuent seulement pour 0,05 %.

Toutefois, ces grandes masses sont extrêmement variables d'un pays à l'autre. Tout est, en effet, fonction des gisements d'énergies renouvelables. Ainsi, 99,2 % de l'électricité de Norvège (pays pétrolier) est générée par les barrages. À l'inverse, les Pays-Bas, pays très sensible aux questions environnementales, utilisent très marginalement les énergies renouvelables pour produire leur électricité : moins de 5 %. [32]

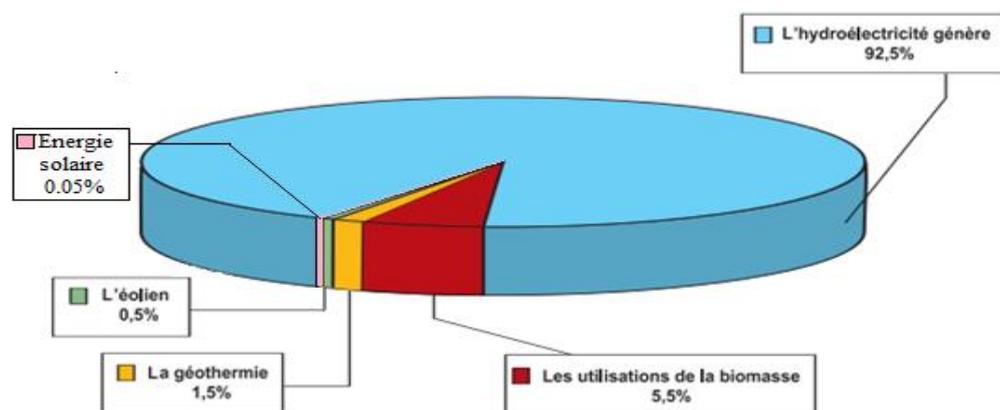


Figure III- 2: Les disparités entre les sources d'énergies renouvelables. [32]

3. Énergie solaire :

L'énergie solaire est l'énergie que dégage le soleil sous forme de rayonnement, direct ou diffus. Sur terre l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau et du vent, le règne végétal dont dépend le règne animal, l'utilise également en le transformant en énergie chimique par la photosynthèse. Grâce aux diverses exécutions, elle peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou l'énergie thermique obtenue à partir du rayonnement solaire. [33]

4. Conversion de l'énergie solaire :

L'énergie solaire est transmise à la terre à travers l'espace sous forme de photons et de rayonnement électromagnétique. Cette énergie peut être captée et transformée en chaleur ou en électricité grâce à des capteurs adaptés.

L'énergie du soleil peut être utilisée de différentes façons en employant trois grandes technologies soient, l'énergie solaire passive, l'énergie solaire active et l'énergie photovoltaïque. [34]

4.1. L'énergie solaire passive :

Elle remplace avantageusement les énergies conventionnelles utilisées pour chauffer ou refroidir les bâtiments. L'énergie solaire passive, capable de fonctionner seule sans apport d'énergie extérieure, elle utilise l'architecture des bâtiments, l'orientation des murs, toits et fenêtres pour capter les rayons du soleil. [34]

4.2. L'énergie photovoltaïque :

Par l'utilisation de panneaux photovoltaïques, une partie du rayonnement solaire est directement transformée en électricité. Ces panneaux solaires sont composés de cellules photovoltaïques constitués principalement de silicium. Le principe de l'obtention du courant par les cellules photovoltaïques se nomme effet photoélectrique, qui consiste à l'émission d'électrons par un matériau soumis à l'impact de la lumière. Cette production d'énergie électrique peut alors être stockée dans des batteries ou converties à l'aide d'un onduleur pour être distribuée dans le réseau électrique. [34]

4.3. L'énergie solaire active :

A l'aide de capteurs solaires, le capteur solaire actif transforme les rayons solaires en énergie thermique. Il emploie une source d'électricité supplémentaire pour actionner des pompes ou des ventilateurs qui distribuent l'énergie solaire à l'intérieur du bâtiment. Celle-ci est acheminée vers un autre endroit, ou elle sera utilisée immédiatement ou stockée en vue d'un usage ultérieur. Le transfert de chaleur s'effectue au moyen d'un fluide caloporteur, qui peut-être de l'eau, de l'antigel ou de l'air.

On utilise les systèmes solaires actifs principalement pour le chauffage de l'air et de l'eau. Il existe d'autres applications telles que la climatisation, le séchage de produit, la détoxification d'eau contaminée et la production d'énergie électrique d'origine thermique. Les systèmes solaires actifs ont plusieurs applications. Essentiellement, on distingue deux grandes catégories. Le système de chauffage solaire de l'eau, et le système de chauffage solaire de l'air [34].

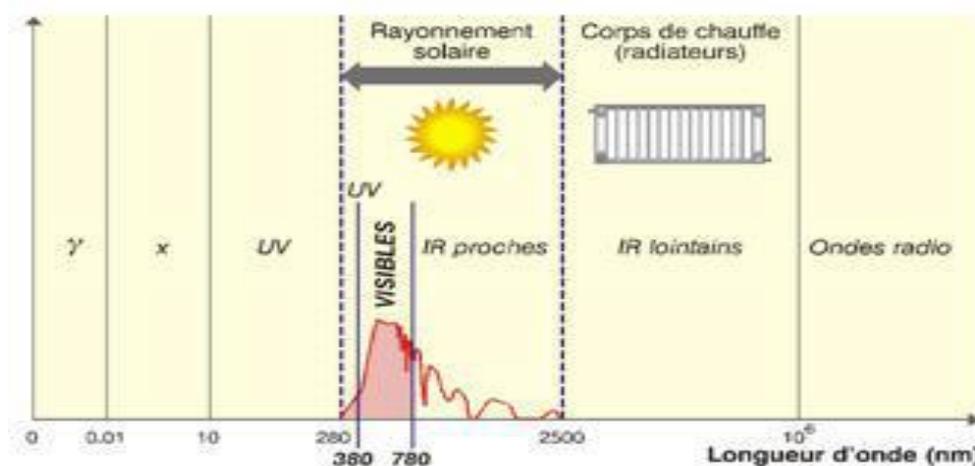


Figure III- 3:Classification des divers rayonnements électromagnétiques. [34]

5. Rayonnement solaire :

L'énergie reçue au niveau du sol est plus faible que 1354 w/m^2 (la constante solaire) car l'atmosphère absorbe une partie du rayonnement solaire (environ 15%) et la réémet dans toutes les directions sous forme de rayonnement diffus. L'atmosphère réfléchit une autre partie du rayonnement solaire vers l'espace (environ 6%). Le rayonnement global au niveau du sol se définit donc comme la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus figure (III.4) L'énergie reçue par une surface dépend en outre de la saison, de la latitude, des conditions météorologiques, du relief, de la pollution, de l'orientation de la surface considérée, etc. [34]

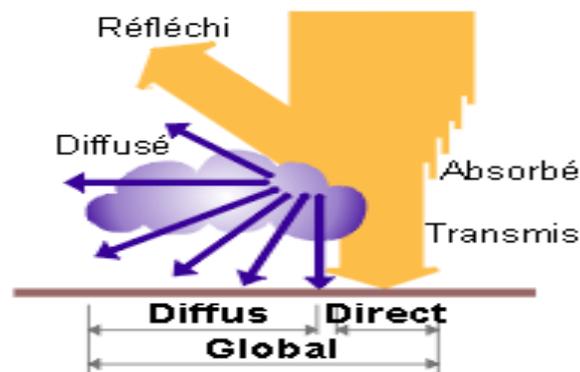


Figure III- 4:Les composants du rayonnement solaire. [34]

- ♦ *Le rayonnement direct* est la lumière parvenant directement du soleil par ciel clair.
- ♦ *Le rayonnement diffus* est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. La part du rayonnement diffus n'est pas négligeable et peut atteindre 50% du rayonnement global (selon la situation géographique du lieu). Le rayonnement global sur la terre et sa part de rayonnement diffus varie au cours de l'année.
- ♦ *Le rayonnement global* qui est la somme du rayonnement direct et diffus.

6. Le gisement solaire en Algérie:

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire. [36]

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure III.5 :

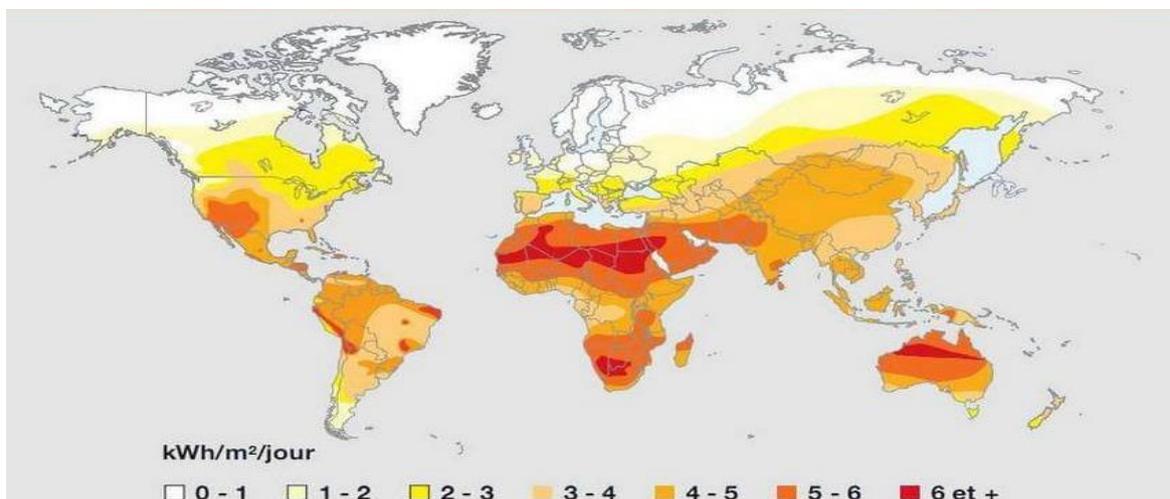


Figure III- 5:Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel. [36]

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à HassiR'Mel. [37].

❖ Potentiel solaire en Algérie :

L'Algérie possède un gisement solaire parmi les plus élevés dans le monde, la durée moyenne d'ensoleillement dans le Sahara algérien est de 3500 heures, ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable dans cette région, s'il est exploité de manière économique, le tableau suivant indique le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie. [35]

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (Kwh/m ² /an)	1700	1900	2650

Tableau III- 1: Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques. [35]

7. Types des capteurs solaires :

Il existe deux grands types de capteurs solaires. [38]

♦ Capteurs solaires thermiques :

Les capteurs de chaleur solaire sont des appareils transformant l'énergie du rayonnement solaire en énergie thermique en se basant sur l'effet de serre.

♦ Capteurs solaires photovoltaïques :

Il s'agit des appareils transformant l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique.

7.1. L'énergie solaire thermique :

Le solaire thermique consiste à transformer les rayonnements solaires en chaleur, et à la récupérer principalement par chauffage de l'eau. Cette source d'énergie renouvelable commence à se développer sous nos latitudes dans les maisons individuelles. Son utilisation se fait principalement pour produire l'eau chaude sanitaire, mais elle peut être utilisée comme complément pour le chauffage de la maison. Différents types de capteurs solaires thermiques existent. Les panneaux solaires plus performants reprennent ce principe, mais la surface qui reçoit l'énergie solaire, appelée absorbeur, est enfermée dans une enceinte transparente et

hermétique, provoquant un effet de serre et augmentant le rendement de l'ensemble. Ceci permet notamment un fonctionnement en hiver.

L'extraction de la chaleur se fait grâce à la circulation du fluide caloporteur dans un conduit recevant l'énergie calorifique. [39]

7.1.1. Types des capteurs solaires thermiques :

1. Selon le fluide de travail :

Il existe non seulement plusieurs manières pour fournir l'énergie solaire, mais également différentes méthodes pour capter l'énergie solaire. La liste ci-dessous présente quelques types de capteurs solaires les plus répandus qui sont : les capteurs solaires à eau, les capteurs solaires à air et les capteurs solaires sous vide, ect... [38]

a- Les capteurs solaires à eau :

Dans ce type de capteurs, on distingue deux formes de systèmes, systèmes de circulation à basse pression et systèmes de circulation à haute pression.

b- Les capteurs solaires à air :

Ils peuvent être utilisés pour le chauffage de l'air utilisé par la ventilation, le chauffage des locaux, et le séchage des récoltes. [38]

2. Selon la Forme :

Il existe non seulement plusieurs manières de fournir de l'énergie solaire mais également différentes méthodes pour capter l'énergie solaire provenant d'un rayonnement incident. La liste ci-dessous présente quelques-uns des types les plus répandus des capteurs solaires. [38]

Les capteurs solaires plans :

❖ Le capteur plan, vitré :

C'est le modèle le plus répandu. [40]

Il est constitué d'une caisse isolée couverte par un vitrage.

A l'intérieur est placé l'absorbeur, un serpentin contenant le fluide à réchauffer.

Pour que le serpentin absorbe mieux la chaleur, il est bordé par des ailettes noires, la couleur noire transformant mieux la chaleur absorbée.

Dans ce genre de modèle, l'absorbeur est protégé contre les déperditions thermiques par un matériau isolant (la plupart du temps, de la laine de roche).

La vitre est quant à elle faite de verre trempé très résistant (intempéries, grêle), très transparente (faible teneur en fer) et spécialement conçue pour présenter un faible niveau de réflexion afin d'emmagasiner un maximum de chaleur.

Si ces capteurs sont les modèles les plus choisis, c'est qu'ils sont :

- ◆ Robustes et d'une structure simple.
- ◆ Techniquement perfectionnés (qualité de la vitre, isolation).
- ◆ D'un rapport prix/performances sans égal.
- ◆ Faciles à intégrer grâce à leur surface plane.
- ◆ Discrets en montage sur le toit.

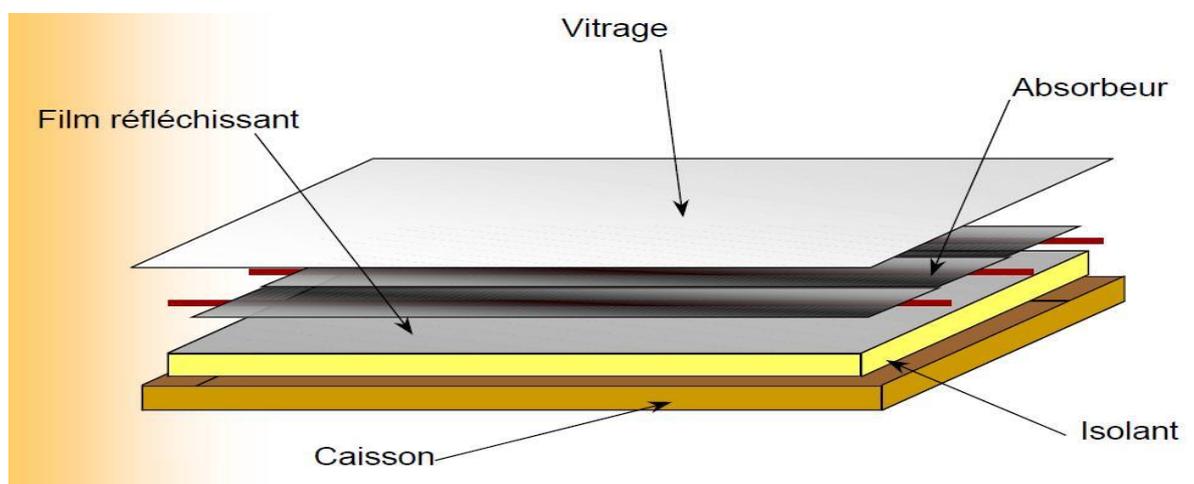


Figure III- 6:Capteurs solaire plan vitré. [40]

❖ Le capteur plan, non vitré :

Nettement moins répandu que le capteur vitré, il est constitué d'un absorbeur sans caisse ni vitrage, ce qui simplifie la fabrication et le coût de fabrication.

C'est un capteur qui par contre, est très dépendant de la température de l'air.

Performant l'été, il présente une grande sensibilité au vent froid l'hiver par son absence de vitrage.

Il faut prévoir en général, une fois et demi plus de surface de capteurs pour égaler la production de capteurs plans vitrés. On arrive finalement à un prix unitaire de l'installation équivalent avec le capteur vitré. [40]



Figure III- 7: Capteur solaire plan non vitré. [40]

❖ **Capteurs solaires à tubes sous vide :**

Il est constitué d'une série de tubes transparents sous vide qui isolent l'absorbeur. On fait le vide dans ces tubes, comme dans les bouteilles isothermes afin de réduire les déperditions de chaleur par convection et par conduction thermique.

L'intensité du vide est d'une importance décisive pour l'interruption du mécanisme de transfert de chaleur.

Il peut être rempli de gaz inerte, et certains de xénon, afin de réaliser une réduction significative du coefficient de déperdition.

Ce type de capteurs réagit avec moins d'inertie que les capteurs conventionnels. Ils s'échauffent plus rapidement, ils permettent de mieux tirer parti des petites périodes d'ensoleillement, ils permettent de mieux profiter de l'éclairement du soleil du matin et du soir. Comme les capteurs à tubes sous vide peuvent atteindre des températures extrêmes de plus de 150° C, le fluide caloporteur est spécialement développé pour ce genre d'installation. La tuyauterie du circuit voyant passer le fluide à plus de 150° C, les tubes en cuivre ne doivent pas être soudés à l'étain.

Les capteurs sous vide sont bien adaptés aux applications requérant la fourniture d'énergie à des températures moyennes ou hautes (eau chaude domestique, chauffage de locaux et applications de chauffage industriel dans des gammes de températures de 60 °C à 80 °C, selon la température extérieure), en particulier dans les climats froids .

Les déperditions étant réduites par rapport à celles d'un capteur plan vitré, le rendement est nettement supérieur. [40]

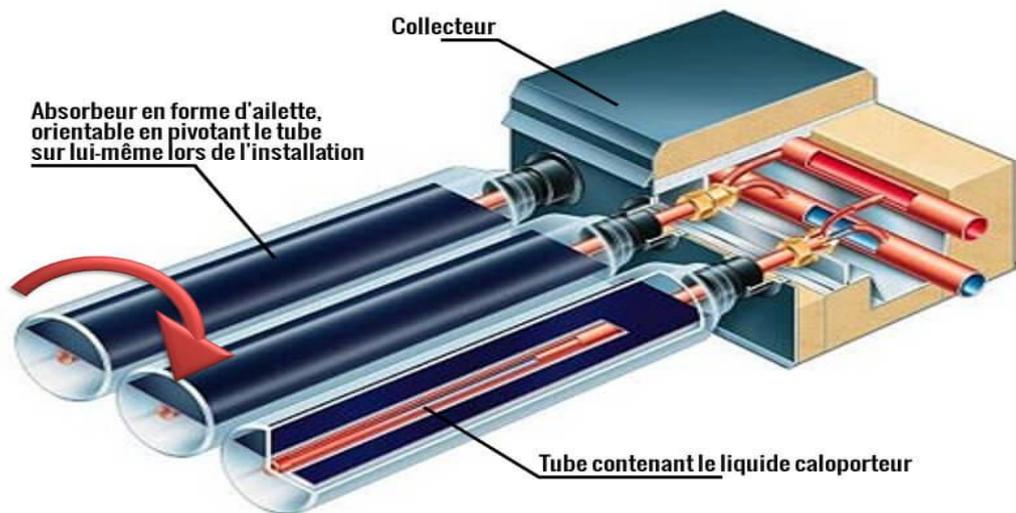


Figure III- 8:Capteur solaire a tube sous vide. [40]

7.1.2. Paramètres et caractéristiques de fonctionnement des capteurs solaires :

a - Paramètres externes:

Le rayonnement solaire global dépend de la position du soleil et de la durée de l'ensoleillement qui est fonction de : [38]

- ♦ La température ambiante.
- ♦ La vitesse du vent sur le capteur.

b - Paramètres internes :

- ♦ Paramètres de position: l'inclinaison et l'orientation.
- ♦ Dimensions du capteur: épaisseur, longueur, largeur et la surface réceptrice.
- ♦ La section de passage du fluide caloporteur.

c- Paramètres de fonctionnement :

- ♦ Le débit du fluide caloporteur.
- ♦ Les températures des différentes parties du capteur.
- ♦ Le facteur de concentration (cas des concentrateurs).

7.2. L'énergie solaire a concentration (thermodynamique) :

✓ Les différents types de centrales thermodynamiques :

7.2.1. Les centrales solaires cylindro-paraboliques :

Un collecteur cylindro-parabolique est un capteur solaire à foyer linéaire, fondamentalement composé d'un concentrateur en forme de cuvette parabolique qui reflète le rayonnement solaire direct sur un tube récepteur situé dans la ligne focale de la parabole (voir la fig.III.9). L'ouverture du capteur reflète le rayonnement solaire sur une surface plus petite du tube du récepteur, chauffant le fluide qui y circule.

Le rayonnement solaire est ainsi transformé en énergie thermique sous forme de chaleur qui peut atteindre la chaleur latente du fluide. Cette énergie thermique peut alors être employée pour alimenter des processus industriels en énergie thermique indispensable (par exemple, l'industrie alimentaire, industrie pétrochimique, etc.) ou par des cycles de Rankine pour produire l'électricité avec une turbine à vapeur dans une centrale thermique solaire.

Les capteurs cylindro-paraboliques peuvent fournir aujourd'hui l'énergie thermique utile jusqu'à 398°C. La limitation principale de la température maximale est imposée par l'huile thermique actuellement utilisée comme fluide de fonctionnement, parce qu'elle se dégrade rapidement au-dessus de 398°C. Cependant, la recherche en nouveaux fluides promet les températures plus élevées près de 500°C au moyen terme. [41]



Figure III- 9: Capteur cylindro-parabolique. [41]

7.2.2. Les centrales solaires de linéaire de Fresnel :

Le concentrateur à Réflecteur Linéaire de Fresnel (concentrateur LFR) est généralement composé:

- ♦ Du réflecteur ou miroir de Fresnel : plusieurs bandes de miroirs réfléchissent et concentrent le rayonnement sur le récepteur.
- ♦ Du récepteur : positionné au-dessus du miroir de Fresnel pour intercepter le rayonnement concentré. La conception du récepteur peut varier. Il est souvent composé d'un réflecteur secondaire, qui concentre encore avec un facteur de 1 à 3 le rayonnement. Il permet de réduire la surface de l'absorbeur, ce qui limite les pertes, par rapport aux performances à concentration avec miroir de Fresnel. Il peut aussi contribuer à l'homogénéité du flux de puissance collecté sur l'élément absorbeur.
- ♦ D'un élément absorbeur souvent un tube, mais parfois, plusieurs tubes, voire une surface plane. Cet élément joue le rôle d'échangeur : le fluide caloporteur collecte l'énergie du rayonnement sous forme d'énergie thermique. (fig.III.10). [42]

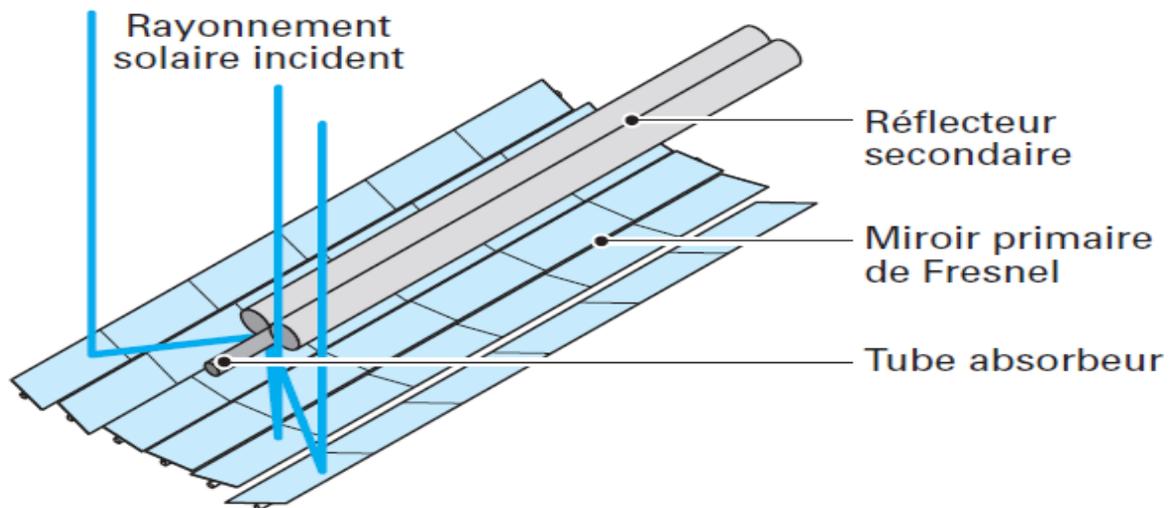


Figure III- 10: Schéma de principe d'un capteur linéaire de Fresnel. [42]

Leur concept est simple et facile par rapport aux autres capteurs solaires à concentration de la même famille, sont formée à effet de concentration. Ce système met en œuvre des miroirs plans, des fois ils sont très légèrement incurvés, disposés en lamelles parallèles qui s'inclinent par rotation de manière à éclairer un récepteur fixe. Avec une performance optique diminuée de 30 ou 40% par rapport aux capteurs solaires cylindro-paraboliques. [43]

7.2.3. Centrales solaires parabolique :

La filière parabolique est un peu la filière de référence car elle met en œuvre la meilleure surface de réflexion possible : une parabole de révolution (tous les rayons solaires incidents convergent après réflexion en un seul point (foyer)).

Les Dish Stirling sont des systèmes paraboles Stirling. La production d'électricité a lieu directement au foyer de la parabole par un moteur Stirling. Ce sont des concentrateurs en exploitation depuis plusieurs décennies (on peut considérer qu'un concentrateur de 10 m de diamètre peut fournir jusqu'à 25 KW d'électricité sous une insolation de 1000 W/m²).

En raison de leur caractère modulaire, ces paraboles peuvent répondre à des besoins isolés de production électrique, mais également à des projets de grande échelle pour la distribution d'électricité via le réseau lorsque des milliers de paraboles sont regroupées sur un même terrain. Plusieurs installations de petite taille sont déjà opérationnelles. Ces systèmes sont flexibles en termes de capacité et de déploiement.

Depuis 30 ans de nombreux prototypes ont vu le jour, l'objet principal a été d'augmenter les performances et de diminuer les coûts.

Des capteurs parabolique "Euro-dish" développé sur la Plate-forme solaire d'Almeria en Espagne sont en cours d'essais sur plusieurs sites en Europe.

Un capteur parabolique "Dish-Stirling" est développé par Stirling Energy Systems (SES) à Phoenix, Arizona. Six protos Dish Stirling de SES sont testés (25 000 heures) au SNLab d'Albuquerque : 29,4 % d'efficacité nominale, 95 % de disponibilité.

Cette unité solaire avec une puissance de 25 kW est l'aboutissement d'une vingtaine années de recherche et développement, modèle commercialisé en 2004.

A l'échelle industrielle deux centrales solaires regroupant 32000 paraboles Stirling, pour un total de 1,4 GW sont actuellement fonctionnelle aux Etats-Unis (Californie, réalisation Stirling Energy System). Cette puissance est comparable à celles des centrales nucléaires. [44]



Figure III- 11: Capteurs solaires paraboliques. [44]

7.2.4. Centrale solaire à tour (la tour solaire ou le four solaire) :

Un système central à tour se compose d'héliostats, qui sont espacés dans un domaine pour éviter l'interférence mécanique ou optique entre eux pendant qu'ils pivotent pour refléter la lumière du soleil directe sur un récepteur élevé ou un réflecteur secondaire. Le récepteur est conçu pour arrêter effectivement la lumière du soleil entrante concentrée et l'absorber comme chaleur à une température élevée. Cette énergie est reçue par un fluide caloporteur et stockée en tant qu'énergie thermique, employée pour conduire un générateur électrique, ou utilisée en tant que chaleur de processus. La collection à forte concentration et la haute température qui résulte de la chaleur accumulée sont d'intérêt pour beaucoup d'applications. [45]

La tour solaire a l'avantage que toute la conversion de l'énergie solaire a lieu dans une région fixe simple, c.-à-d., le récepteur (le four). Ceci permet au récepteur d'être fixé, en grande partie évitant le besoin de réseaux de transport d'énergie, et permet un investissement plus rentable conçu pour améliorer l'efficacité et la sophistication du processus de conversion d'énergie. Elles ont été construites le plus souvent comme de grands systèmes simples pour actionner un cycle à vapeur. Un inconvénient universel est que la position fixe du récepteur signifie que les héliostats ne se dirigent pas généralement directement au soleil, de sorte que la quantité de rayonnement solaire rassemblée par unité de superficie de miroir soit réduite en comparaison avec un concentrateur plat (l'effet de cosinus). [45]

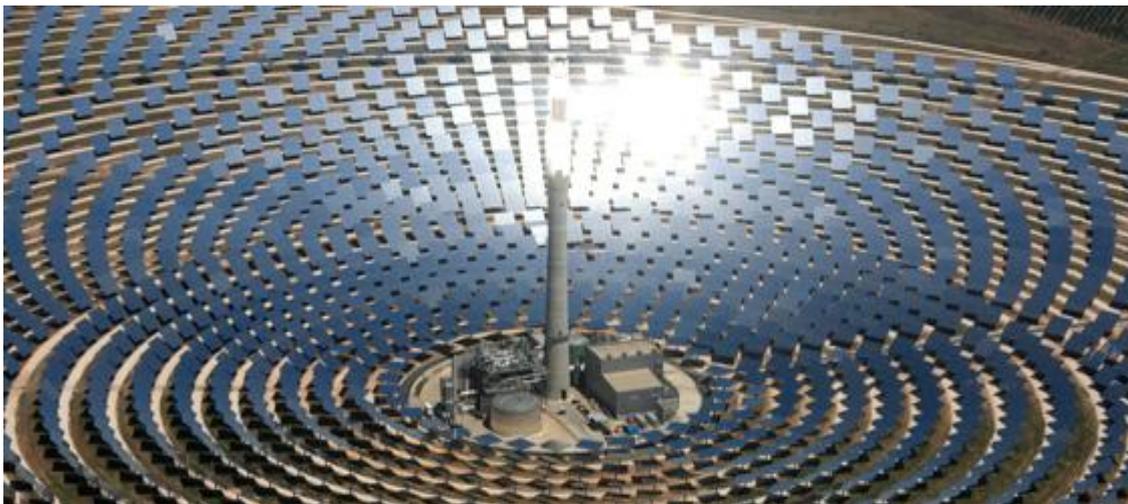


Figure III- 12: Schéma de principe de principe d'une centrale à tour. [45]

8. Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire :

❖ Les avantages :

- L'énergie solaire est inépuisable et non polluante.
- L'énergie est propre et ne dégage pas de gaz à effet de serre.
- L'énergie solaire thermique permet d'assurer une partie des besoins en eau chaude sanitaire et en chauffage.
- L'installation des panneaux solaires thermiques permet de réaliser des économies conséquentes.
- Les frais de maintenance et de fonctionnement d'une installation thermique sont relativement faibles. [46]

❖ Les inconvénients :

- le cout d'investissement d'une installation solaire thermique est relativement élevé.
- L'énergie solaire est une énergie intermittente .il faut donc un système de chauffage d'appoint.
- La production d'énergie solaire n'est possible que lorsqu'il y a du soleil.
- Il faut pouvoir stocker la chaleur dans des ballons des dalles chauffantes.
- Les panneaux solaires contiennent des déchets toxiques : cuivre et chrome. [46]

9. Conclusion :

Les centrales solaires thermodynamiques recouvrent l'ensemble des techniques qui visent à transformer l'énergie rayonnée par le soleil en chaleur à température élevée, puis à convertir cette chaleur en énergie électrique. Selon le mode de concentration du rayonnement solaire.



CHAPITRE IV

Description

de la station de

Dessalement

de Béni Saf



CHAPITRE IV : DESCRIPTION DE LA STATION DESSALEMENT DE BENI SAF

- 1. Introduction**
- 2. Présentation de l'usine de dessalement**
- 3. Description du fonctionnement de la station de dessalement d'eau de mer**
- 4. Equipement de nettoyage**
- 5. Le laboratoire**
- 6. Salle de contrôle**
- 7. Autres composants de la station**
- 8. Conclusion**

1. Introduction :

A l'ouest du pays, les incertitudes de la météo s'ajoutent à la pression démographique et aux perturbations prévisibles liées au réchauffement climatique pour peser sur la disponibilité de l'eau. Devant cette situation de fait, la volonté de l'état s'est appuyée sur les ressources de la science en faisant appel à la technologie du dessalement de l'eau de mer, qui se profile aujourd'hui comme une alternative crédible.

Le gouvernement a lancé un chapelet de projets de dessalement d'eau de mer intégrant des usines de différentes capacités tout au long des côtes algériennes, au Nord-Ouest.

La Wilaya d'Ain-Temouchent a fait l'objet de l'installation d'une station de dessalement d'eau de mer d'une capacité de production de 200.000.m³/j, assurant l'approvisionnement en eau potable des Wilayas d'Ain-Temouchent et d'Oran. [47]

2. Présentation de l'usine de dessalement :

2.1. Situation géographique :



Figure IV- 1: Site géographique de la SDEM de Béni Saf. [48]

Le site de la SDEM de Béni Saf (figure. IV.1) est localisé sur la côte méditerranéenne d'Algérie dans la Wilaya d'Ain-Temouchent commune d'Ouled El Kihel au niveau de la plage de Chatt El Hillal, sur une superficie de 65 700 m². [48]

2.2. Principales données techniques de la station :

Le tableau suivant nous permet d'avoir une idée générale sur les principales caractéristiques de la station et ses différentes phases de traitement. [47]

Lieu d'implantation	Chatt El Hilal, Beni Saf, wilaya de AinTemouchent,Algerie
Maître d'ouvrage	Béni Saf Water Company (SPA).
Constructeur (EPC)	UTE Desaladora Beni Saf Construcccion (Cobra/TEDAGUA).
Operateur	UTE Desaladora Beni Saf O&M: Cobra/TEDAGUA.
Superficie du terrain	65700m ² (concession sur 25 ans).

Procédé de traitement	Osmose Inverse avec 18 200 Membranes.
Débit de captation	432 000 m ³ /jour.
Capacité de production	200 000 m ³ /j avec 10 modules de dessalement.
Emissaire de captation	DN 2400 mm, longueur 1 km, profondeur 18m.
Emissaire de rejet de saumure	DN 1800 mm, longueur 500m, profondeur 8m.
Taux de conversion	47%
Consommation électrique	≤4,15 kWh/ m ³ .
Prétraitements	Pré-filtration, Filtres à sable et anthracite, Filtres à cartouche.
Prétraitements chimiques	Hypochlorite sodique, Chlorure ferrique, Acide sulfurique, Méta Bisulfite Sodique, Dispersant.
Système de récupération d'énergie	Chambres isobariques (ERI) 95%.
Poste traitement du produit	Carbonate de calcium - Hypochlorite sodique .
Montant de l'investissement	240 M\$
Prix de l'eau	0,6994 USD/ m ³ (55.84 DA/ m ³).
Mise en service Partielle	Novembre 09/11/2009.
Mise en service Finale	Avril 04/04/2010.

Tableau IV-1 : Fiche technique de la SDEM de Béni Saf. [47]

2.3. Le but de la station:

La réalisation de la station fait partie de la méthode de développement de la ressource en eau en Algérie, la station de Béni Saf produit 200 000 m³/j d'eau dessalée pour subvenir aux besoins de la côté d'Ain Témouchent et d'Oran.

L'usine de dessalement applique la technologie d'osmose inverse en raison de son faible cout de production et sa qualité d'eau potable produite par rapport aux autres procédés de dessalement, de son efficacité et de sa fiabilité. [47]

L'élaboration de l'usine a été opérée conformément à la législation concernant l'hygiène et la sécurité.

La station de dessalement se trouve dans une place parfaite pour les différents raccordements et accès (réseau électrique, captage, rejets, réseau de distribution...). [47]

3. Description du fonctionnement de la station de dessalement d'eau de mer :

3.1. Captage d'eau de mer :

Le système de captage (figure IV.5) est ouvert, l'eau de mer est captée à partir d'un (1km) de la côte grâce à un émissaire en PEHD DN 2400 mm. A l'extrémité de l'émissaire, une tour de 10m de hauteur est érigée sur un fond à 18 m pour capter une eau plus ou moins propre.

L'eau est véhiculée à l'intérieur de la conduite par gravité avec une vitesse d'écoulement inférieure à 1m/s. [47]



Figure IV- 2: Préfabrication de la tour de Captage. [47]



Figure IV- 3: Préfabrication de l'émissaire DN 2400. [47]



Figure IV- 4: Lancement de l'émissaire de captage. [47]

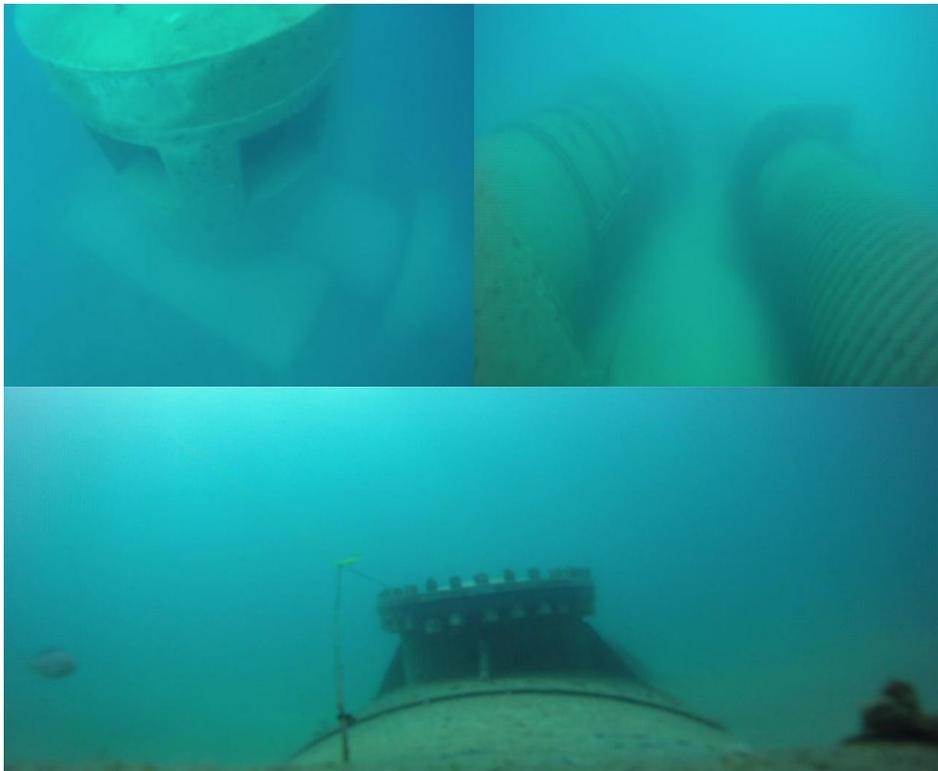


Figure IV- 5: La conduite du captage d'eau de mer. [47]

3.1.1. Bâtiment de captage:

D'un bâtiment de captage et de nettoyage préliminaire d'eau de mer constitué de deux filtres à tamis rotatif, bassin d'aspiration d'eau de mer, de 11 pompes de refoulement, de deux réservoirs anti-coup de bélier et une salle électrique.

La fonction de ce bâtiment est de capter l'eau venant de la tour de captage, la prétraiter et l'expédier vers le bâtiment de production d'osmose inverse. [47]

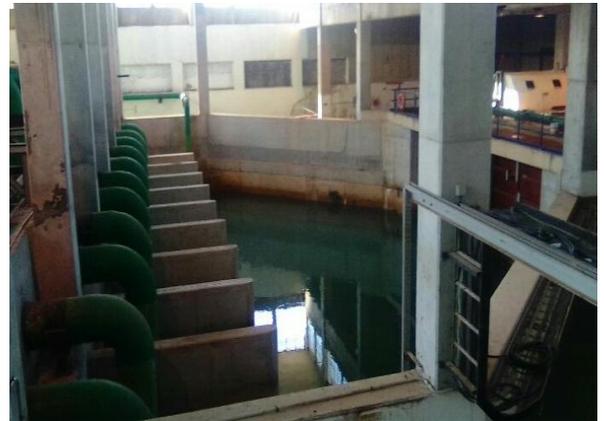


Figure IV-6 : Bâtiment de captage. [47]

Un réservoir de stockage d'hypochlorite de sodium doté de pompes doseuses afin d'injecter le produit jusqu'à la tour de captage ou bien dans le réservoir de stockage du bâtiment de captage. [47]



Figure IV-7: Réservoir de stockage d'Hypochlorite de sodium. [47]

3.1.1.1. Dégrillage :

Le dégrillage est destiné à piéger les matières plus ou moins volumineuses et les déchets de toutes sortes contenus dans le chenal d'admission d'un ouvrage hydraulique de prétraitement d'eaux usées domestiques, agricoles ou industrielles, pour permettre leur extraction puis stockage en benne et évacuation vers une voie de traitement.

Cet équipement évite l'entraînement des déchets vers les vannes, pales de turbine, membranes de filtration ou d'autres mécanismes vulnérables. Un retard dans le nettoyage des dégrilleurs compromet l'efficacité des ouvrages hydrauliques par dégradation du débit d'entrée.

L'équipement doit être correctement dimensionné pour obtenir une vitesse de passage du liquide suffisante pour plaquer les déchets contre la grille mais pas trop élevée afin d'éviter de les ré entraîner.

Un dégrilleur automatique vertical peut être utilisé par toute prise ou canal où l'on veut éliminer des éléments de moyenne et grande dimension (feuilles, planches, bidons, plastiques, algues, méduses ...). Il s'installe en travers d'un canal entre murs ou sur la face du mur de prise. [49]



Figure IV-8: Le dégrillage pour éliminer les plus gros déchets. [49]

3.1.1.2. Filtres rotatifs :

Après une première filtration brute, l'eau de mer est tamisée à l'aide de filtres rotatifs (figure. IV.9) avant d'être pompée à partir du bassin de captage vers le prétraitement, sur une distance de 900 mètres. [49]



Figure IV- 9: Filtres rotatifs de nettoyage. [49]

3.1.2. La station de pompage:

A l'arrivée au bassin de pompage, l'eau de mer brute passe à travers un système de filtrage composé de deux filtres rotatifs pour se débarrasser des petits objets non filtrés par la première filtration brute (le filtre à gros barreaux), avant d'être pompée à partir de ce bassin vers les installations de prétraitement sur une distance de 900 mètres.

La station de pompage d'eau de mer située dans la zone de captage représente l'épine dorsale de la SDEM. Elle est composée de :

- 11 pompes centrifuges horizontales (Sulzer), (figure. IV.10)
- 10 pompes en marche, 01 pompe en stand by.
- 01 système d'amorçage des pompes à vide composé de 02 compresseurs d'air.
- Le système d'amortisseurs de chocs hydrauliques (anti-bélier) composé de 2 réservoirs identiques. [30]



Figure IV- 10: Pompes d'eau de mer. [30]

3.2. Zone de production:

La zone de production d'osmose inverse est composée de différents bâtiments qui interviennent dans le procédé de production d'eau. [30]

Avant de faire passer l'eau de mer dans les modules d'osmose inverse, elle passe par des unités prétraitement :

3.2.1. Prétraitement chimique:

* Bâtiment de dosage chimique constitué de 2 réservoirs en PRFV de chlorure ferrique, 2 réservoirs en PRFV de metabisulfite de sodium et 2 réservoirs en PRFV de l'anti tartre.



Figure IV- 11: Bâtiment de dosage chimique. [30]



* Bâtiment d'acide sulfurique avec 2 réservoirs en acier de 100 m³ chacun.

Figure IV- 12: Bâtiment d'acide sulfurique. [30]

* Une zone de filtration avec 24 filtres (48 réservoirs) à sable et 14 filtre (28 réservoirs) à anthracite.



Figure IV- 13: Zone des filtres à sable et anthracite. [30]

3.2.2. La filtration sur sable:

Le filtrage à sable consiste à retenir les solides en suspension présents dans l'eau de mer et les floccs formés à l'étape de coagulation.

Le système de filtrage (figure. IV.14) est constitué de deux trains de filtrage identiques, ayant chacun la capacité de filtrer 50% de l'eau nécessaire. Chaque train de filtrage est constitué de 24 filtres regroupés en 12 modules ou paires de filtres.

Chaque module est constitué de 2 filtres identiques fonctionnant comme une unité filtrante, avec collecteurs et vannes communes.

Le filtrage est un processus suffisamment connu, au cours duquel l'eau traverse un milieu filtrant poreux, qui retient mécaniquement les solides en suspension. Dans ce cas, le milieu filtrant utilisé est le sable de silice de deux grosseurs (bicouche).

Une couche de sable grossier (couche support) est située en bas des filtres et une couche de sable plus fin (couche filtrante) la recouvre et retient les particules les plus fines. En amont des filtres à sable (système de captage et pompage), on trouve un mélangeur statique prévu pour faciliter le mélange de l'eau et des produits chimiques dosés au préalable et favoriser la floculation des MES.

Le pupitre de l'analyseur de turbidité de chaque train comprend un dispositif de prélèvement d'échantillon destiné à mesurer le taux de matières SDI. Cette mesure est importante pour le contrôle de la qualité de l'eau qui passe à l'étape suivante. Il s'agit d'un bon indicateur du fonctionnement du filtre.

A l'entrée et à la sortie de chaque train de filtrage, est monté un manomètre destiné à vérifier les variations de pression entre les collecteurs d'entrée et de sortie, appartenant au système de captage et de pompage. [30]

3.2.2.1. Caractéristiques des filtres :

48 filtres à pression horizontale et à fond bombé sont installés en parallèle, afin que le volume d'eau soit uniformément réparti entre tous ces filtres en fonctionnement normal.

Les filtres sont disposés en deux trains, constitué chacun de 12 modules de 2 filtres. Au niveau fonctionnel, un module constitue l'unité minimale de filtrage.

Le collecteur supérieur est celui d'entrée d'eau de mer et le collecteur inférieur, celui de sortie de l'eau filtrée. L'eau tombe sur le lit sableux, est filtrée puis passe à la cavité inférieure. [30]

3.2.3. Filtrage à anthracite:

Le système de filtrage à anthracite (figure. IV.14) a pour fonction de retenir les agents résiduels et cancérigènes, la matière organique et, en général, les composés causant des problèmes de mauvaises odeurs et de mauvais gout dans l'eau. L'eau est ainsi prête à passer par les filtres à cartouches, d'où elle est envoyée aux appareils d'OI. [30]



Figure IV- 14: Zone des filtres à sable et à anthracite de la SDEM de Béni Saf. [30]

3.2.4. Filtration par cartouches:

Le système de filtration par cartouches est conçu pour retenir les particules de plus petite taille (jusqu'à 5 microns absolus) qui n'ont pas été retenues par les filtres à sable et à anthracite et qui pourraient endommager les installations des modules d'OI. [47]

3.2.4.1. Description :

Le système de filtration par cartouches (figure. IV.15) se situe à l'intérieur du bâtiment de production, il est constitué de 2 lignes de filtration formées de 10 filtres chacune. Par conséquent, le système dispose en tout de 20 filtres. [47]



Figure IV- 15: Les filtres à cartouches de la SDEM de Béni Saf. [47]

La filtration est un procédé suffisamment connu. On fait passer l'eau à travers un milieu filtrant poreux où sont retenus les solides en suspension, par le biais d'une action mécanique.

Le milieu filtrant utilisé ici consiste en des cartouches logées à l'intérieur des corps des filtres. Leur seule mission est d'accueillir les cartouches filtrantes. Pour protéger aussi bien le groupe haute pression que les membranes d'OI, une filtration de sécurité est installée dans le but de retenir les particules de plus petite taille pouvant endommager les appareils du système. La filtration par cartouches est la technique de filtration la plus conseillée pour les applications dont les exigences quant à la qualité et à la sécurité sont très élevées.

En règle générale, les filtres doivent retenir des particules solides d'une taille microscopique et il est nécessaire pour l'installation d'OI qu'il n'existe pas de solides supérieurs à $5\mu\text{m}$ nominaux. Les cartouches ont une capacité limitée de rétention et, une fois que celle-ci a été atteinte, les cartouches doivent être remplacées. [30]

3.2.4.2. Caractéristiques des filtres :

20 filtres verticaux à cartouche sont installés en parallèle, de façon à ce que le débit d'eau soit réparti entre tous les filtres pendant le processus normal de fonctionnement. Les filtres sont disposés dans deux lignes, chacune comprenant 10 filtres. [47]

3.2.4.3. Caractéristiques des cartouches :

Une cartouche est un élément filtrant aux dimensions standards, habituellement fongible, avec une forme cylindrique. Les cartouches sont généralement composées d'un tube ou âme support intérieur recouvert de l'élément filtrant. [47]

3.2.4.4. Fonctionnement :

Dans des conditions normales, les filtres fonctionnent en opération normale de filtration. Au moment où les cartouches sont colmatées, ce qui est détecté par le faible débit d'entrée, le processus de filtration s'arrête et l'on procède au remplacement des cartouches à l'aide du palan. [30]



Figure IV- 16: Changement d'un filtre colmaté. [30]

3.2.5. Description du prétraitement chimique:

Les dosages chimiques ont pour fonctions :

- ◆ Conditionner l'eau de mer en vue du dessalement par osmose inverse ;
- ◆ Conditionner l'eau dessalée produite pour la rendre potable ;
- ◆ Neutraliser les effluents de lavage des membranes.

Le système de dosage chimique est constitué des sous-systèmes suivants :

Sous-système de dosage d'hypochlorite de Sodium dans l'eau de mer : installé dans le bâtiment de captage, il aide à éliminer les matières organiques.

Sous-système de dosage d'hypochlorite de Sodium dans l'eau produite : situé à côté du réservoir d'eau dessalée, il a pour principale fonction la stérilisation de l'eau produite. Sous-système de dosage d'acide sulfurique dans l'eau de mer : traitement effectué en amont des filtres à sable pour :

- ◆ Fixer le pH et éviter la précipitation de carbonates et de bicarbonates sur les membranes.
- ◆ Dégager suffisamment de CO_2 pour reminéraliser l'eau produite dans les tours de calcites.

Sous-système de dosage du chlorure ferrique dans l'eau de mer : traitement effectué avant les filtres à sable pour la coagulation des colloïdes et des matières en suspension, afin que ces substances soient retenues lors du filtrage.

Sous-système de dosage de bisulfite de sodium dans l'eau de mer : traitement effectué après les filtres à cartouche, afin d'éliminer le chlore résiduel et de prévenir l'oxydation des membranes.

Sous-système de dosage des anti-incrustants : Traitement effectué avant les filtres cartouches pour éviter les incrustations sur les membranes.

Sous-système de dosage d'acide sulfurique pour neutralisation : sa fonction principale est de neutraliser les effluents de lavage des membranes.

Sous-systèmes de dosage de Sodium pour neutralisation : Sa fonction principale est de neutraliser les effluents de lavage des membranes. [47]

3.3. Post d'osmose inverse :

Le système d'osmose inverse est composé de :

- 10 unités de production de 20 000 m³/j chacune.
- 256 tubes à pression par unité.
- 1792 membranes dans chaque unité, soit 7 membranes dans chaque tube à pression.
- 01 pompe centrifuge de haute pression par unité.
- 01 pompe de recirculation par unité.
- 22 récupérateurs d'énergie par unité.

Ce système a pour fonctions :

- Dessaler l'eau de mer pour produire de l'eau potable ;
- Evacuer la saumure de rejet à pression au système de récupération d'énergie

Le processus de dessalement s'effectue par le passage de l'eau de mer d'alimentation à travers des modules de membranes semi-perméables disposés en série à l'intérieur de chaque tuyau de pression et en parallèle dans chaque module. Pour que le courant d'entrée au châssis d'osmose inverse traverse la membrane, il est nécessaire que la pression exercée sur celle-ci soit supérieure à sa pression osmotique. [47]

De cette manière, à partir du courant d'eau de mer qui a une plus grande concentration saline, il se produit un courant d'eau produit ayant une concentration plus

faible, le perméat, et un autre courant de rejet, la saumure, avec une teneur en sels bien supérieure à celle que possédait initialement le courant d'eau d'alimentation. [47]



Figure IV- 17: Zone de production de SDEM de Béni Saf. [47]

Le système d'OI se trouve à l'intérieur du bâtiment de production et est organisé en trois sous-systèmes différenciés essentiellement par la nature du fluide qu'ils acheminent. Chaque sous-système dispose de ses propres collecteurs principaux, de ses instruments et de ses vannes associées. [47]

Il y a les sous-systèmes suivants :

Sous-système d'eau d'alimentation : le fluide circulant est l'eau de mer d'entrée au traitement d'OI. L'eau de mer d'alimentation aux membranes doit être préalablement conditionnée dans les conditions requises par celles-ci. Ce conditionnement est essentiellement basé sur un contrôle de la matière en suspension et sur un dosage chimique pour éviter la croissance biologique et la précipitation d'incrustations dans les membranes.

Sous-système d'eau dessalée : le fluide de circulation est l'eau qui a traversé les éléments de la membrane (7 membranes par tube de pression). Ce courant est caractérisé par le fait qu'il possède une plus faible concentration saline que celle de l'eau de mer. [47]

Sous-système d'eau de rejet : le courant de saumure circule dans ce sous-système. Il ne traverse pas les éléments de membrane et c'est le courant ayant la concentration saline la plus élevée. [47]

3.3.1. Membranes:

Les membranes utilisées dans la SDEM de Beni Saf sont de chez Hydranautics. Les membranes d'OI sont constituées de films de polyamide à enroulement en spirale avec une feuille de séparation entre deux membranes. Cette feuille se comporte comme un canal dans lequel circule l'eau d'alimentation/saumure qui alimente l'élément suivant de membrane à l'intérieur du tube de pression.

Le modèle des membranes sélectionné est le SWC5 qui est approprié lorsque le courant d'eau d'alimentation est de l'eau de mer. Son pourcentage de rejet des sels est supérieur à 99,7%. [25]

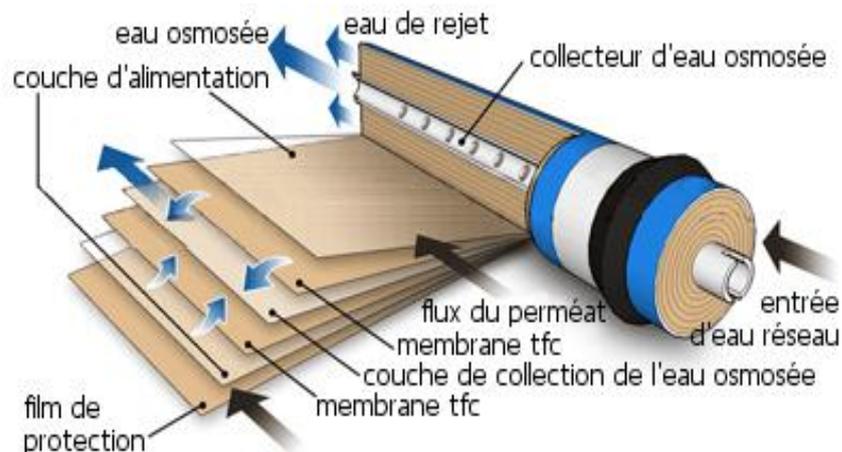


Figure IV- 18: Membrane d'osmose inverse. [25]

3.3.2. Description du récupérateur d'énergie:

Le rejet des membranes est dirigé vers le PX (the pressure Exchanger), qui transfère la pression du rejet à l'eau d'alimentation, et la renvoie vers les membranes. Le PX fournit donc en eau de mer prétraitée, la quantité de concentrât qu'il reçoit.

Le travail du rotor peut être vu comme deux longueurs de tuyaux en rotation. L'eau d'alimentation à basse pression entre dans un tuyau, puis est transférée sur le côté haute pression du PX, grâce à la rotation du rotor. En même temps, le rejet de la membrane à haute pression entre dans l'autre tuyau puis est transférée vers le côté basse pression.

Du fait que la totalité du rotor soit composé de ces tuyaux, il existe en permanence un débit entre les côtés basse pression et haute pression du PX. [30]

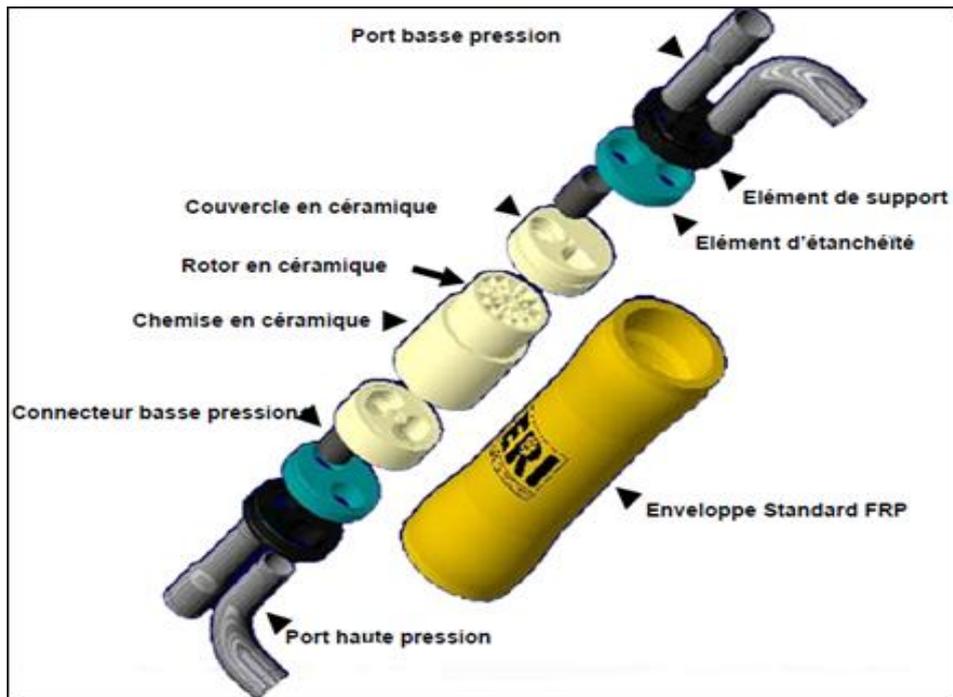
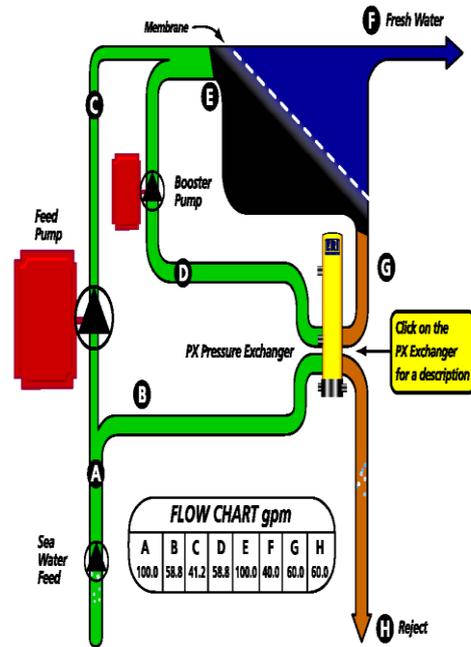


Figure IV- 19 : Récupérateurs d'énergie (ERI) d'un module d'OI de le SDEM. [30]

3.4. Le post traitement :

L'eau produite est conservée dans deux réservoir chacun d'une capacité de 2500 m³, cette eau indemne de tous les minéraux (non consommable), elle sera de nouveau traitée pour qu'elle soit potable. [47]

Le post- traitement est constitué de :

- une déminéralisation par calcite (carbonate de calcium).
- une injection d'hypochlorite sodique.



Figure IV- 20: Le post traitement. [47]

3.5. Le Stockage :

L'eau sera stockée dans un réservoir de 5000 m³, Ce réservoir est comme un réservoir d'attente pour :

- Réguler les variations de la demande de la compagnie des eaux.
- Gagner un temps de contact essentiel à la purification avant le pompage de l'eau vers le système de distribution. [47]



Figure IV- 21 : Bâtiment d'eau produit. [47]

3.6. Les rejets :

L'ensemble des eaux rejetées après le dessalement et les eaux usées résultant des nettoyages sont recueillies dans le bassin collecteur ou elles seront neutralisées, ces rejets sont rejeté à la mer via un canal souterrain de 1800 mm en PEHD à 500 m de la cote avec une salinité supérieure de celle de l'eau de mer ambiante et avec un débit de $225\ 532\text{m}^3/\text{j}$. [47]



Figure IV- 22: Bâtiment de saumure où l'eau de rejet de saumure. [47]

3.7. Le refoulement d'eau au le client :

Le système de refoulement d'eau est composé comme suit :

- 10 pompes en service.
- 01 pompe en stand-by.
- Débit de refoulement d'une pompe : $833\ \text{m}^3/\text{h}$ (23 L/S).
- Débit de refoulement total : $8334\ \text{m}^3/\text{h}$ (230 L/S).
- Température de l'eau : $18 < \text{°C} < 24$.
- Pression max de refoulement : 30 bar.
- Hauteur manométrique totale : 300 m.

Après le post traitement, l'eau sera conservée dans un réservoir d'une capacité de 5000m³ qui sert de réservoir d'attente pour prévoir un temps de contact nécessaire à la désinfection avant le pompage de l'eau vers le réseau de distribution. [47]

4. EQUIPEMENT DE NETTOYAGE :

4.1. Nettoyage des filtres :

Le lavage des filtres à sable et à anthracite s'effectue avec de l'eau de mer au moyen d'une pompe de lavage et d'une autre en réserve.

L'incorporation du groupe soufflant permet d'assurer un lavage effectif, ainsi qu'une économie appréciable des eaux de lavage, le groupe soufflant est pourvu de son filtre d'air. [30]



Figure IV- 23: Bâtiment de lavage des filtres. [30]

4.2 .Nettoyage des membranes:

Le nettoyage des membranes est un processus nécessaire dans le cas d'encrassement appréciable des membranes, détecté par le manomètre. Le nettoyage s'effectue par une solution de réactif avec de l'eau produite qui est préparée dans un réservoir. Cette solution aspirée par deux pompes à travers la ligne d'alimentation, traversera les filtres à cartouches à travers les tubes de pression puis sortira vers le réservoir de nettoyage pour la neutralisation par la soude avant son déversement dans la mer. Enfin, les modules sont rincés à l'eau dessalée. L'eau de rejet sortira par la tuyauterie de saumure vers le drainage générale de l'installation. [25]

5. Le laboratoire :

Le laboratoire est équipé des instruments nécessaires à la supervision et au contrôle corrects du procédé.



Figure IV- 24: Le laboratoire de la SDEM de Béni Saf. [30]

5.1. Rapport qualité :

5.1.1. Analyses de l'eau produite:

Des analyses journalières sont faites afin d'assurer la qualité de l'eau et répondre aux exigences du client (tableau IV.2).

RAPPORT HEBDOMADAIRE UTE O&M BENI SAF DE SEMAINE DU 18 au 24 MARS 2018. [47]

Désignation	Dim	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam
Alcalinité mgcaco ₃ /l	61.55	62.56	65.06	65.06	61.55	64.56	62.05
Carbonate mgco ₃ /l	00	00	00	0	0	00	00
Bicarbonate mg hco ₃ /l	75.05	76.27	79.32	79.32	75.05	78.71	75.66
Calcium mgca ⁺² /l	24.45	25.25	25.25	25.85	24.45	25.25	24.85
Dureté totalemg/l caco ₃	61.05	63.05	63.05	64.50	61.05	63.05	62.05
LSI	0.01	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02
Chlore libremg/l	0.49	0.46	0.46	0.45	0.47	0.49	0.47
PH	8.50	8.49	8.47	8.46	8.50	8.48	8.50
TDS	323	300	282	311	309	311	323
T° C	18.4	18.6	18.6	18.4	18.2	18.2	18.4

Tableau IV-2 : Analyse journalière de la qualité d'Eau commercialisée. [47]

5.1.2. Analyses Process:

Désignation	Dim	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam
SDI point 4	3.0	3.1	2.7	2.6	2.6	/	/
SDI point 5	2.7	2.6	2.4	2.2	2.3	/	/
Turbidité(NTU) point	2.1	3.8	4.70	3.18	1.45	/	/
Salinité Eau de mer	36060	36130	36130	35920	35990	/	/
Conductivité entrée	49400	49500	49500	49200	49300	/	/
Conductivité sortie	576	536	504	555	552	556	576

Tableau IV-3 : Analyse process de la qualité d'Eau commercialisée. [47]



Figure IV- 25: Appareil pour la détermination de SDI. [47]

6. Salle de contrôle :

Avec un système de contrôle digital (DCS) YOKOGAWA, tous les équipements de la station sont contrôlables à partir de la salle de commande. [47]



Figure IV-26: Salle de contrôle de la SDEM de Béni Saf. [47]

7. Autres composants de la station :

- ◆ Les salles électriques.
- ◆ Les salles des automates.
- ◆ SNCC: système numérique de contrôle et de commande.
- ◆ Station électrique conçue pour le fonctionnement de la totalité de la SDEM. (deux lignes électrique de 220000KV).
- ◆ Deux bâtiments administratifs de R+1.
- ◆ Un poste d'entrée à la station.
- ◆ Un poste de sécurité.
- ◆ Un post contre incendies ; Ateliers de maintenances et réparation mécanique, électriques et d'instrumentation. [47]



Figure IV- 27: Salle d'électricité de la SDEM de Béni Saf. [47]



Figure IV- 28: Station électrique conçue pour le fonctionnement de la totalité de la SDEM. [47]

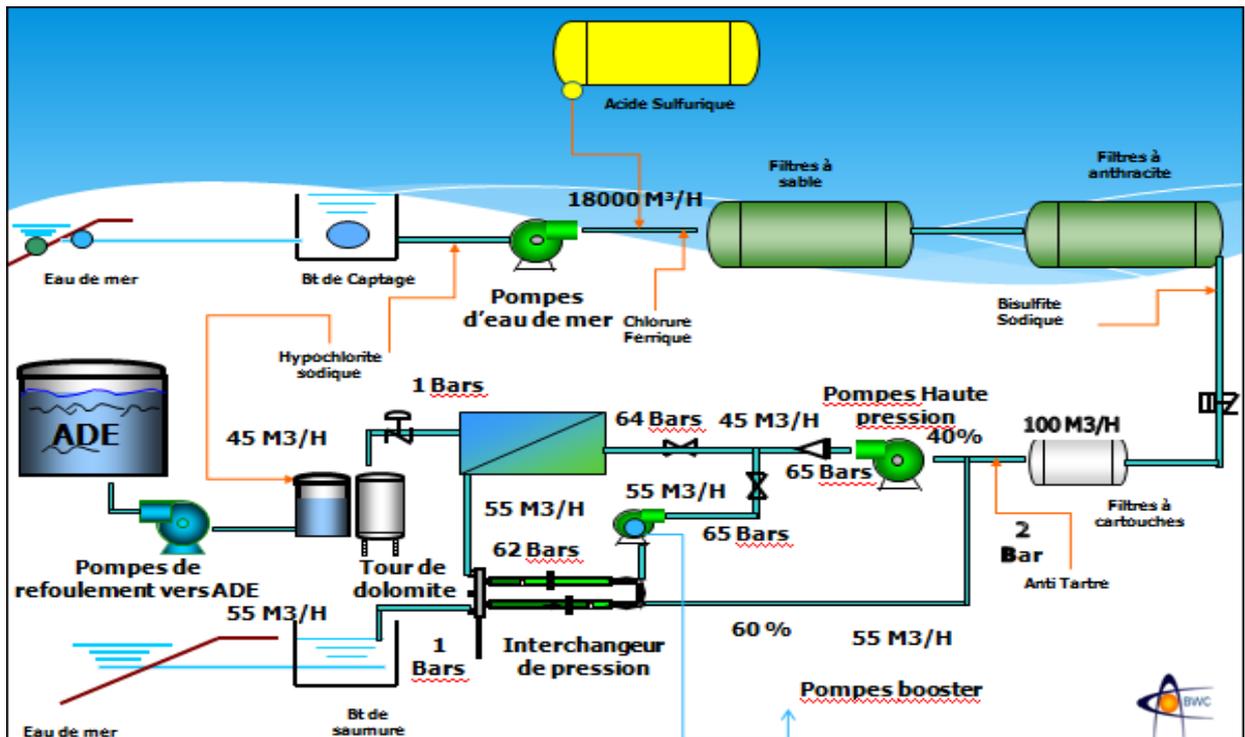


Figure IV- 29 : Process de dessalement de la SDEM de Beni Saf. [47]

8. Conclusion :

La station de dessalement de Beni Saf joue un rôle important dans l'alimentation en eau potable de la région Ouest du pays, elle aide puissamment à sécuriser l'AEP de la wilaya d'Ain Témouchent et la partie ouest d'Oran.

Le procédé utilisé pour le dessalement est l'osmose inverse, celui-ci est décomposé en quatre étapes essentielles :

- 1-captage d'eau de mer.
- 2-Prétraitement.
- 3-Osmose inverse.
- 4-Post-traitement.

L'eau de mer est filtrée sous pression à travers des membranes et les sels sont retenus par elles.



CHAPITRE V



*Modélisation
et Résultats*

CHAPITRE V : MODELISATION ET RESULTATS

1. Introduction

2. Partie I

2.1. Présentation du logiciel ROSA

2.2. Les données du problème

2.3. Résultats

3. Partie II

3.1. Introduction

3.2. Présentation de la centrale cylindro-parabolique utilisée

3.3. Présentation du logiciel SAM

3.4. Les paramètres d'entrée

3.5. Les paramètres d'entre concentrant les différents composants de l'installation

3.6. Discussions et interprétation des résultats de la simulation

3.7. Rendement de conversion solaire électricité

1. Introduction :

L'un des inconvénients majeurs de la technologie membranaire est le coût. Deux facteurs contribuent à rendre cette technologie coûteuse. Le premier est la quantité d'énergie consommée par les systèmes de pompes, en particulier pour l'osmose inverse à haute pression, le second est la détérioration des membranes.

La réunion entre les sources d'énergie renouvelables et la technologie membranaire (Osmose Inverse) pourrait offrir une source durable d'eau potable. Le potentiel économique et technique des ressources d'énergie renouvelables pour la production d'électricité varie énormément d'un pays à l'autre.

Ce chapitre constitue deux parties :

- ♦ La première pour l'étude de dix modules d'osmose inverse.
- ♦ La deuxième pour l'étude d'une centrale cylindro-parabolique.

2. Partie I :

La démarche utilisée pour d'obtenir la puissance électrique nécessaire pour faire marcher dix (10) modules d'osmose inverse se fait à l'aide du logiciel ROSA.

2.1. Présentation du logiciel ROSA :

2.1.1. Analyse du système d'osmose inverse (ROSA) :

Le modèle d'analyse du système d'osmose inverse (ROSA) est un programme sophistiqué de conception de RO qui prédit la performance des membranes dans les systèmes spécifiés par l'utilisateur.

2.1.2. Description du modèle :

Le logiciel ROSA 9.1 est la dernière version, utilisée dans l'analyse pour déterminer la performance d'une membrane et les besoins en énergie pour le dessalement. L'utilisation du modèle est influencée par la nécessité de concevoir un système d'OI techniquement réalisable. Le modèle ROSA a été utilisé pour concevoir des usines de dessalement dans différentes parties du monde.

2.1.3. Dow / Film Tec-ROSA:

Le logiciel de performance d'osmose inverse (ROSA) peut désormais être utilisé pour finaliser et optimiser la conception d'une installation, fournir les détails pour la sélection d'une pompe d'alimentation et fournir les informations pour les exigences post-traitement.

Le programme ROSA comporte quatre pages d'entrée, une page de rapport et une page d'analyse des coûts, chacune d'entre elles étant affichée en bas de l'écran. Les six onglets sont:

1. Project Information (Information sur le projet).
2. Feedwater Data (Données sur l'eau d'alimentation).
3. Scaling information (Mise à l'échelle des informations).
4. System Configuration (Configuration du système).
5. Report (Rapport).
6. Costanalysis (Analyse des couts).

2.2. Les données du problème :

2.2.1. Analyse de l'eau produite :

Désignation	Dim	Lun	Mar	Mer	Jeu	Ven	Sam	Moyenne
Salinité eau de mer	36130	36130	36210	36060	36130	/	/	36132
PH	8.49	8.45	8.49	8.50	8.48	8.46	8.48	8.48
T °C	18.9	18.6	18.6	18.8	18.9	18.8	18.7	18.76

Tableau V- 1: Analyse de l'eau produite, semaine du 11 au 17 Mars 2018.

2.2.2. Les principales données sont les paramètres d'alimentation :

Nombre de module=10	
La salinité Eau de Mer	36132 mg/l
Température	18.8
PH	8.5

Tableau V- 2: Paramètres d'eau d'alimentation.

2.2.3. Les caractéristiques de dix modules de dessalement :

Les figures ci-dessous montrent la configuration du système, dans le cas de dix modules ou il y a 2560 tubes de pression, chaque tube équipé 7 membranes (17920 membranes en total). Le type de la membrane est SW 30 HR-380.

a. Information sur le projet (Project information):

La première étape consiste à renseigner les informations du projet dans le programme ROSA, comme le nom du projet, les unités de température, la pression, etc., comme indiqué sur la figure (V.1) :

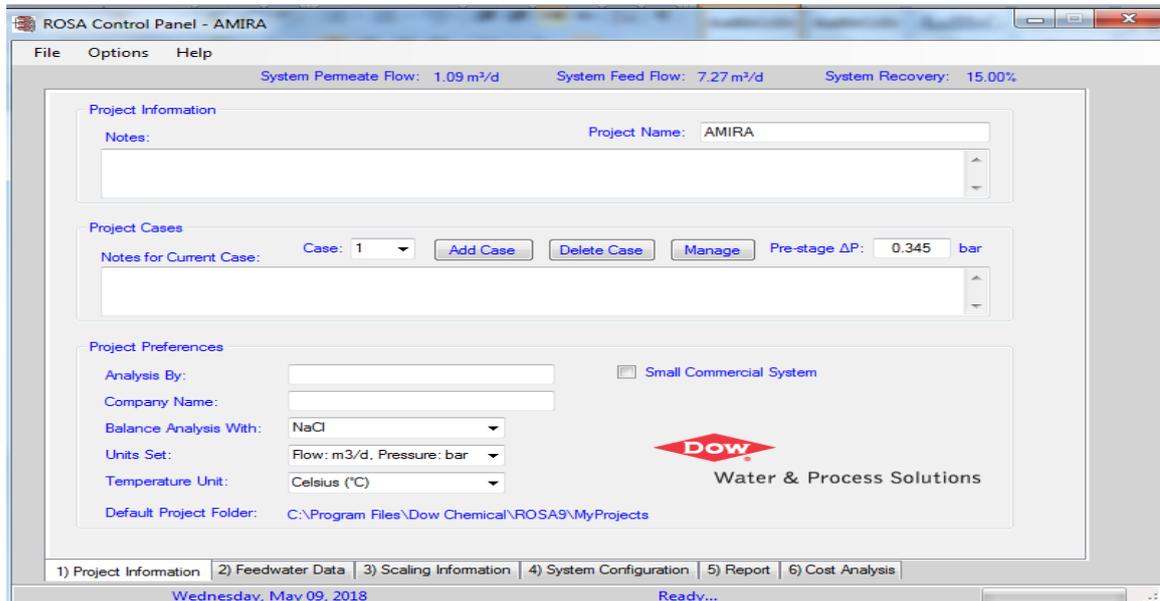


Figure V- 1: Informations sur le projet au programme ROSA.

b. Données sur l'eau d'alimentation (Feed water Data):

La deuxième étape consiste à remplir le type d'eau d'alimentation et la composition comme dans le tableau (V.2), comme le montre la figure (V.2).

Le type d'eau d'alimentation est « Seawater with Conventional pretreatment, SDI < 5 ».



Figure V- 2: Les données sur l'eau d'alimentation au programme ROSA.

c. Mise à l'échelle des informations (Scaling information):

La troisième étape consiste à remplir le produit chimique de dosage s'il est utilisé dans ce système, comme indiqué à la figure (V.3).

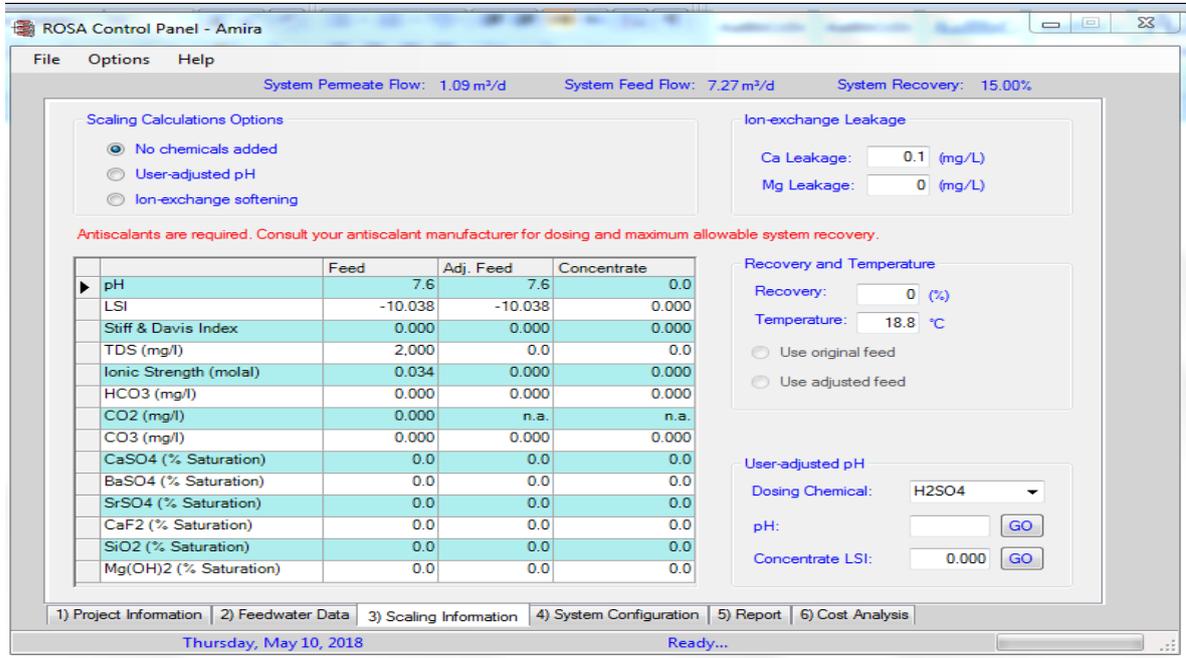


Figure V- 3: Mise à l'échelle des informations au programme ROSA.

d. Configuration du système (System configuration):

Dans cette étape, on calcule le débit d'alimentation, la récupération, le débit du perméat et on indique le type de la membrane, le nombre de membranes, le nombre de tubes sous pression, le nombre d'éléments dans chaque tube, pour notre cas le type de membrane utilisé est SW 30 HR-380, comme il est indiqué dans la figure (V.4).

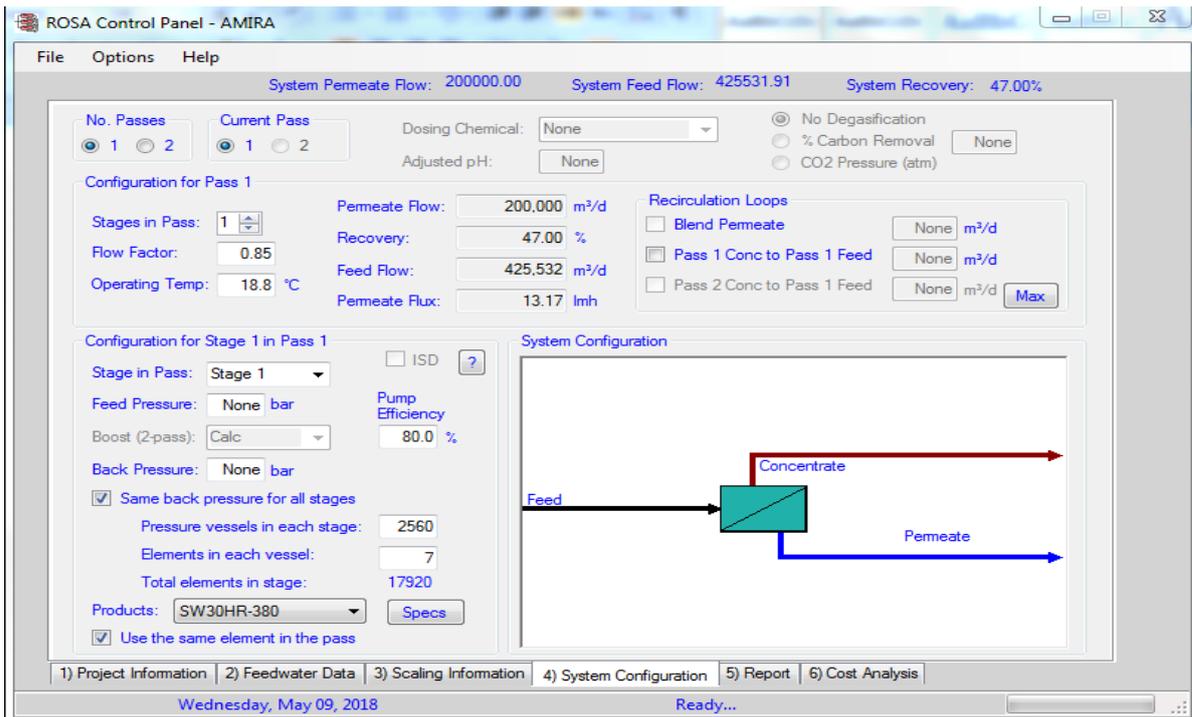


Figure V- 4: Configuration du système au programme ROSA.

- ❖ Le débit de perméat est de 20 000m³/jour et le taux de conversion est de 47%.

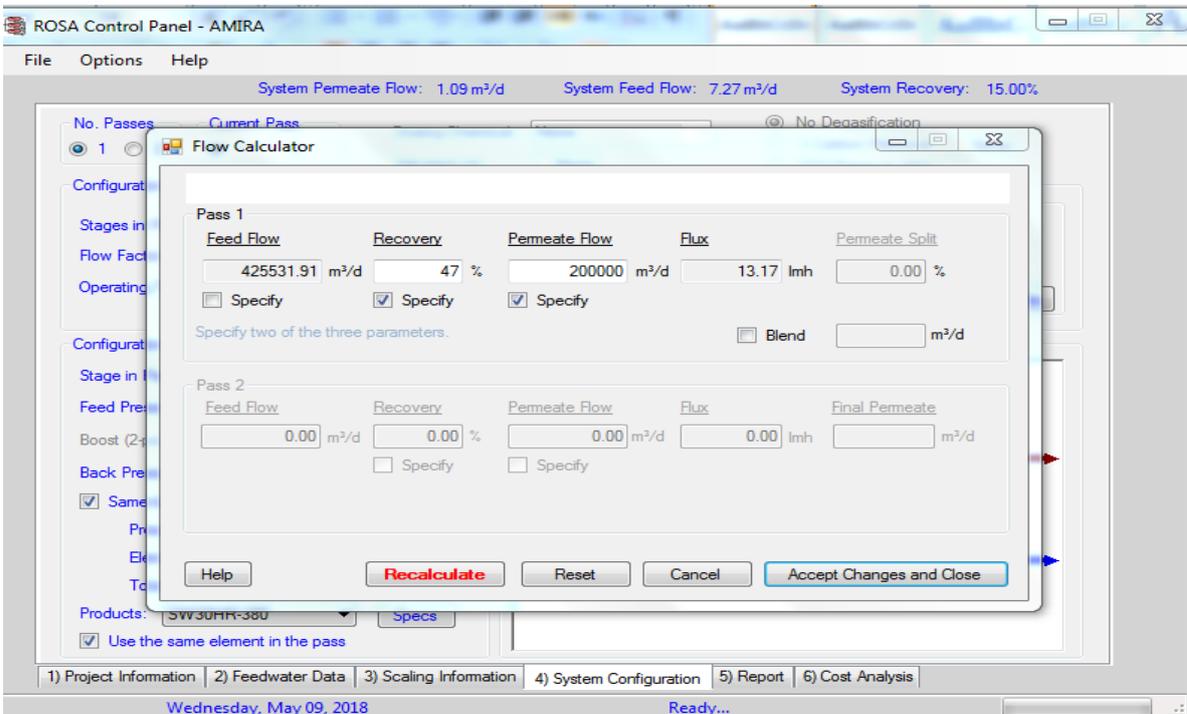


Figure V- 5: Configuration du système au programme ROSA.

e. Rapport (Report):

Lorsque vous appuyez sur le rapport, le programme est en cours et donne le rapport suivant:

Project Information:													
Case-specific:													
System Details													
Feed Flow to Stage 1		425531.91 m ³ /d		Pass 1 Permeate Flow		199998.86 m ³ /d		Osmotic Pressure:					
Raw Water Flow to System		425531.91 m ³ /d		Pass 1 Recovery		47.00 %		Feed		27.82 bar			
Feed Pressure		66.23 bar		Feed Temperature		18.8 C		Concentrate		54.10 bar			
Flow Factor		0.85		Feed TDS		36132.05 mg/l		Average		40.96 bar			
Chem. Dose (100% H2SO4)		0.00 mg/l		Number of Elements		17920		Average NDP		24.55 bar			
Total Active Area		632611.84 M ²		Average Pass 1 Flux		13.17 lmh		Power		40784.46 kW			
Water Classification: Seawater with Conventional pretreatment, SDI < 5										Specific Energy		4.89 kWh/m ³	
Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m ³ /d)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m ³ /d)	Conc Flow (m ³ /d)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m ³ /d)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	SW30HR-380	2560	7	425531.91	65.89	0.00	225533.05	64.79	199998.86	13.17	0.00	0.00	209.56

Figure V- 6: Le rapport de ROSA Software.

2.3. Résultats :

Les résultats obtenus après la simulation sont notées dans le tableau suivant :

Nombre de module=10		
Débit d'alimentation	425531.91	m³/jour
Pression d'alimentation	65.89	bar
Débit de rejet	225533.05	m³/jour
Pression de rejet	64.79	bar
Débit de permeat	199998.86	m³/j
La salinité de permeat	209.56	mg/l
La puissance	40784.46	kw
Energie spécifique	4.89	kwh/m³

Tableau V- 3: Les résultats obtenus par ROSA.

D'après les résultats trouvés, on remarque que la puissance électrique de dix modules est de 40784.46 kw, ceci est conforme avec les données du constructeur que cette puissance doit être comprise entre 39000kW et 43000kW. Ainsi la consommation d'énergie spécifique du système est de 4.89Kwh/m³.

3. Partie II :

3.1. Introduction :

Après avoir terminé la première démarche concernant le module d'osmose inverse et la définition de la puissance nécessaire pour faire fonctionner l'unité de dessalement par osmose inverse, on va passer à l'étape suivante qui concerne le dimensionnement de la centrale solaire cylindro-parabolique afin d'assurer une alimentation en électricité pour l'unité osmose inverse. Nous avons utilisé un autre logiciel technico-économique pour déterminer les caractéristiques techniques et les coûts de système CSP, ainsi que l'analyse des performances de la centrale CSP de type cylindro-parabolique.

Dans cette partie, nous allons faire une simulation d'une centrale solaire à concentration type cylindro-parabolique, dont le fluide caloporteur est l'huile thermique (Therminol VP1), cette centrale est testée pour le site d'Ain Témouchent (les conditions climatologique et radiométrique), la puissance nominale de cette centrale est 40.7MWe.

On a utilisé le code SAM (Système Advisor Model) afin de simuler le comportement annuel de la centrale cylindro-parabolique à l'échelle horaire. SAM permet de prédire le comportement dynamique de la centrale cylindro-parabolique.

3.2. Présentation de la centrale cylindro-parabolique utilisée :

Comme indique **la figure V.7**. Au-dessous, la centrale solaire cylindro-parabolique est composée d'un réflecteur (miroir) sous forme d'une courbure, une structure métallique munie d'un mécanisme de poursuite, et un tube récepteur dont le fluide caloporteur écoule.

La technologie des capteurs cylindro-paraboliques est actuellement la plus éprouvée, cette technologie des centrale est la plus utilisée, des centrale cylindro-parabolique a des grandes puissances installées dans de monde (exemple : centrale hassi rmeil Algérie, SEGS 1 :10 en californie, Andasol grenade en Espagne, NOOR 1 en ouarzazat Maroc, ext).

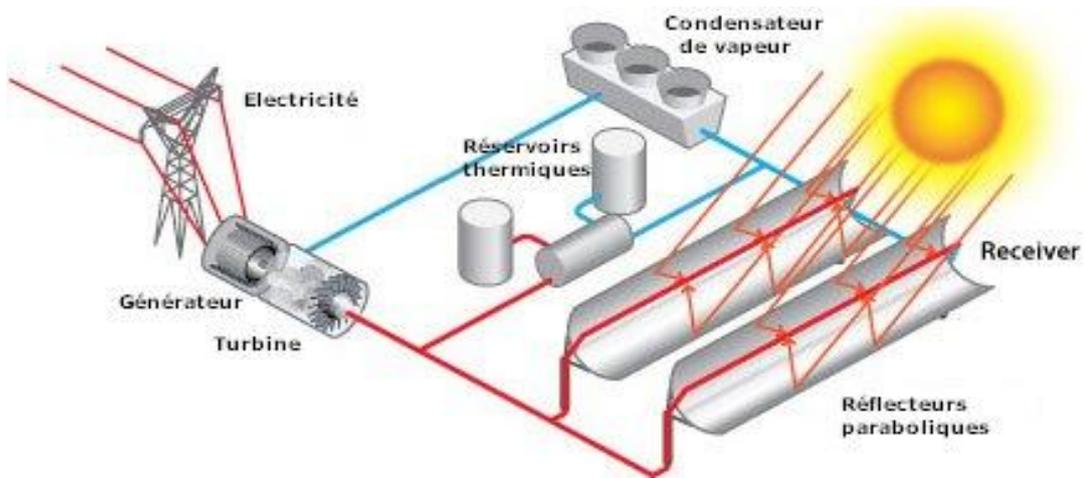


Figure V-7: Schéma d'une centrale solaire cylindro-parabolique.

Le fluide de transfert a été choisi selon ses propriétés physico-chimiques (viscosité, capacité thermique volumique, conductivité thermique, la chaleur latente de vaporisation, propriétés anticorrosives). Dans la présente étude on a utilisé le Therminol VP- 1, en raison de sa stabilité thermique jusqu'à des températures de 400°C. Le Therminol VP- 1 est un fluide synthétique à base d'hydrocarbure, il se compose d'un mélange 75% d'oxyde diphényle ($C_{12}H_{10}OH$) et de 25% de diphényle ($C_{12}H_{10}$).

D'autre part, il est souhaitable d'utiliser les sels fondus dans le cas où le stockage thermique est considéré, comme les sels fondus à base de nitrates de sodium et de potassium ont un bon coefficient d'échange et une bonne inertie thermique qui permet de stocker la chaleur. Dans notre cas d'étude le stockage thermique n'est pas pris en charge.

3.3. Présentation du logiciel SAM :

Le logiciel **SAM** (System Advisor Model) est un logiciel qui réalise l'analyse du coût et des performances des installations solaires. Ce logiciel a été développé par le National Renewable Energy Laboratory (NREL), les laboratoires nationaux de Sandia en partenariat avec le département d'énergie des États-Unis (DOE), et du programme et technologie de l'énergie solaire (SETP). Il a été conçu pour faciliter la prise de décisions pour les personnes impliquées dans l'industrie des énergies renouvelables.

Le logiciel SAM calcule le coût de production d'électricité en se basant sur les données relatives au site d'implantation et aux cout d'exploitation ,ainsi que le type de financement , le crédit d'impôt applicable , et les spécificités du système .Le logiciel est basé sur un moteur de simulation horaire qui interagit avec la performance , le coût et les modèles de financement pour calculer la production et le coût de l'énergie , ainsi que les flux de trésoreries .

L'interface du tableur de SAM permet d'échanger les données avec des modèles externes développés dans Microsoft Excel. Le model fournit des options pour des études paramétriques, pour l'optimisation et pour la simulation. Il peut déterminer les performances et faire l'analyse économique des centrales à concentrations solaires (tels que les centrales solaires à tour ou les concentrateurs cylindro-paraboliques), des system photovoltaïques, des capteurs plans, du chauffage solaire ainsi que d'autre applications solaires. Le modèle des centrales solaires à tour a été développé par l'université de Wisconsin, avec une combinaison entre les logiciels DELSOL et TRNSYS.



3.4. Les paramètres d'entrée :

Lorsque vous démarrez SAM, il affiche la page d'accueil avec des options pour démarrer votre session de travail et des messages sur SAM de l'équipe de développement de NREL SAM.

Les étapes à suivre pour créer un nouveau projet :

1. Cliquez sur l'onglet : start new project.

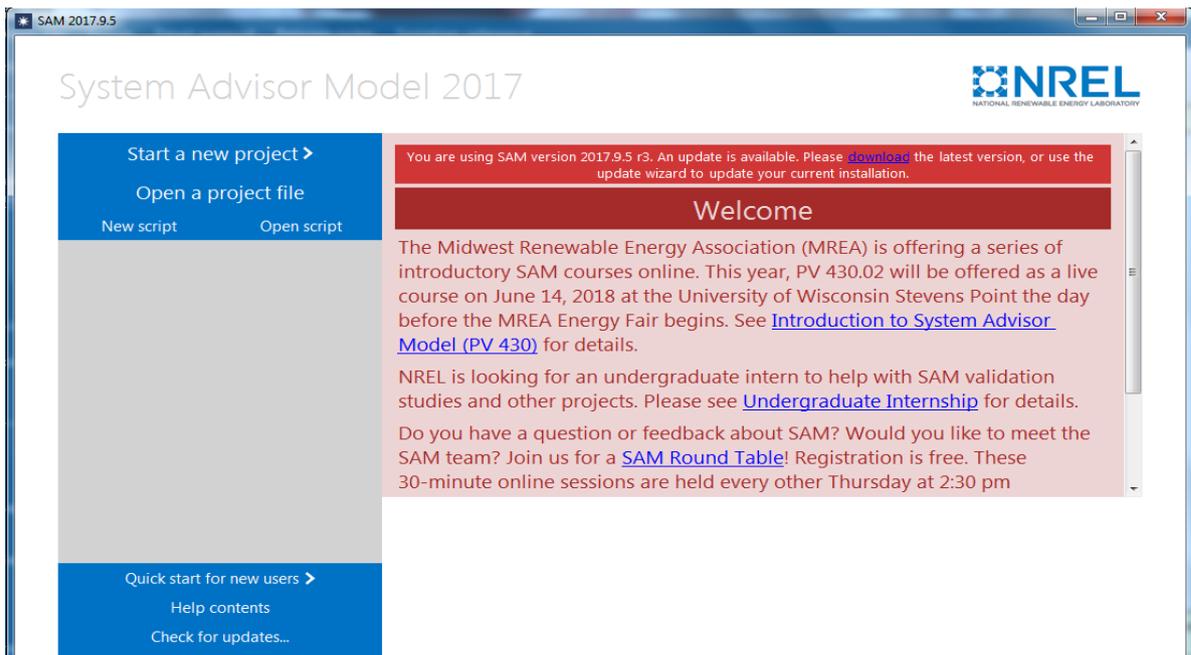


Figure V-8: Page d'accueil du logiciel System Advisor Model 2017.

2. Choisissez les modèles ou bien le type de la centrale à simulée.
3. Choisissez une option selon le modèle financière disponible dans la colonne à gauche
4. Cliquez sur OK pour créer le projet.

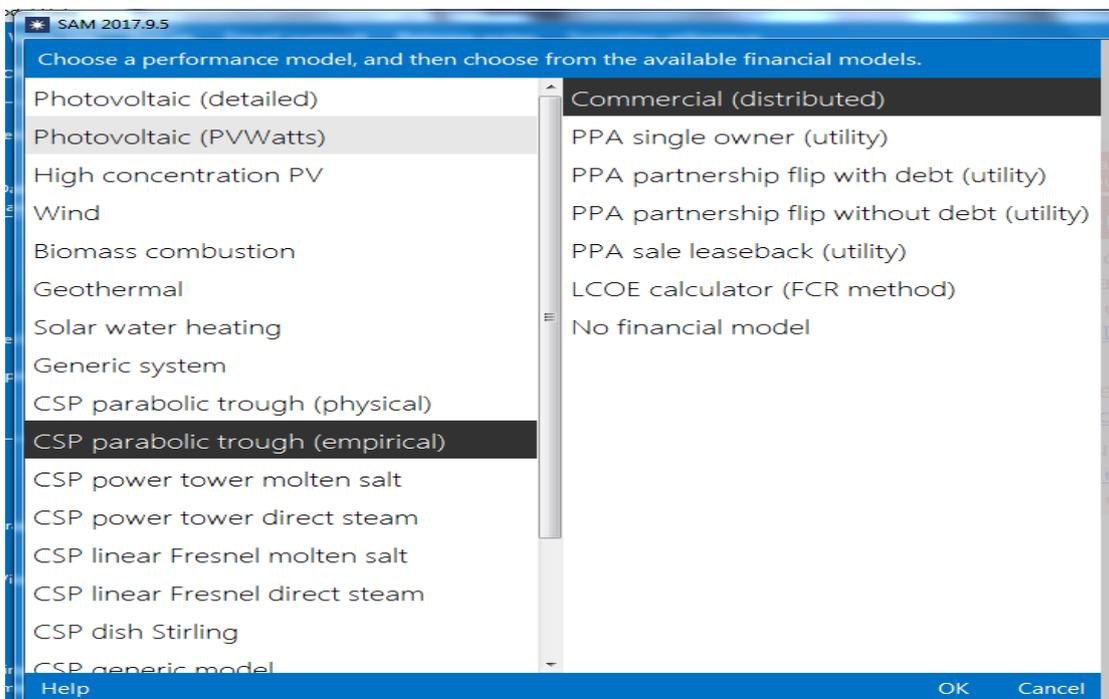


Figure V-9: Modèle de performance et financier.

❖ Performance Models:

Les modèles de performance de SAM exécutent des simulations horaires ou sub-horaires pour calculer la puissance électrique du système d'alimentation. La somme de ces valeurs est la production annuelle totale que le modèle financier utilise pour calculer les flux de trésorerie annuels et les paramètres financiers du projet.

◆ ParabolicTrough (Empirical Model):

Le modèle empirique d'une centrale cylindro-parabolique modélise est identique au modèle physique, seulement il utilise un ensemble d'équations d'ajustement de courbe dérivées de l'analyse de régression des données mesurées à partir des projets SEGS (Solar Energy Generating Systems) dans le sud-ouest des États-Unis. Le modèle est basé sur un modèle nommé Excelergy, qui est développé à l'origine par Laboratoire National des Energies Renouvelables pour un usage interne.

3.4.1. Location and Resource:

La page Location and Resource propose plusieurs méthodes pour choisir un fichier météo pour votre analyse:

a. Téléchargez un fichier ou des fichiers météo à partir de la base de données NREL National Solar Radiation (NSRDB):

Utilisez cette option pour obtenir les données les plus à jour pour l'analyse des flux de trésorerie à long terme, l'analyse d'une année et l'analyse P50 / P90.

b. Choisissez un fichier météo dans la bibliothèque de ressources solaires:

Une fois que vous avez téléchargé les fichiers météo pour votre emplacement, vous pouvez les trouver dans la bibliothèque de ressources solaires. La bibliothèque par défaut contient les fichiers hérités des anciennes bases de données NSRDB. Cliquez sur Paramètres du dossier pour ajouter des fichiers météo sur votre ordinateur à la bibliothèque de ressources solaires.

c. Utilisez un fichier météo sur votre ordinateur:

Dans certains cas, il peut être plus simple de choisir un fichier à partir d'un dossier sur votre ordinateur. Cette option n'affiche pas les données récapitulatives sur la page Emplacement et ressource.

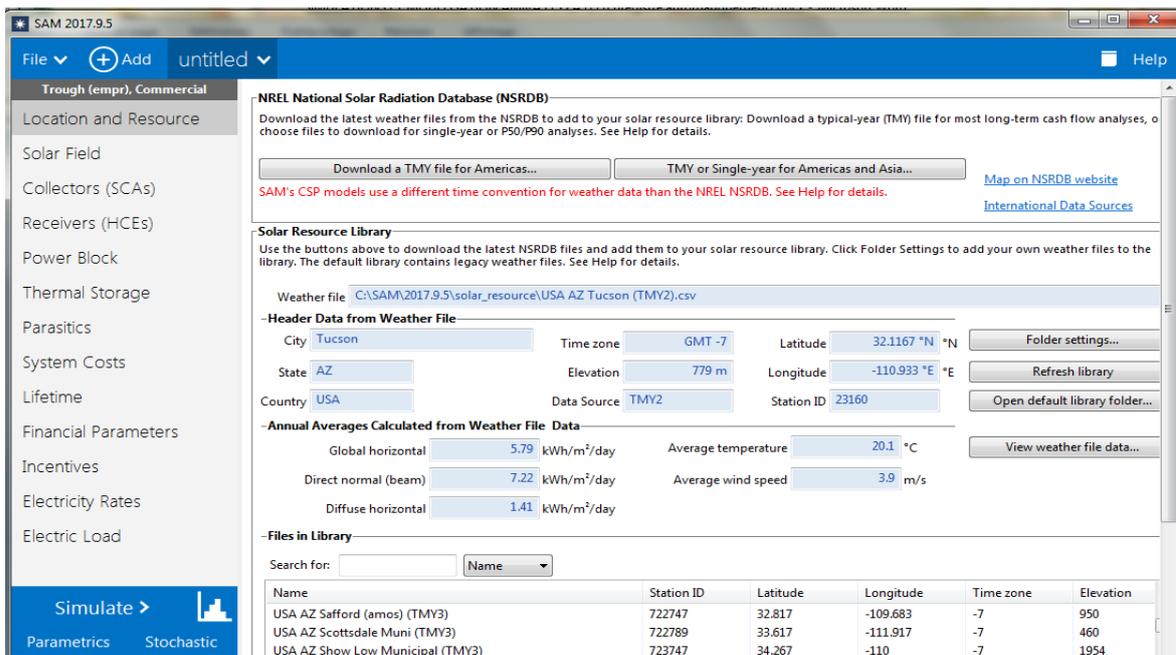


Figure V-10 : Paramètres climatiques sur SAM.

◆ Pour utiliser un fichier météo sur le disque:

1. Cochez la case sous Utiliser un fichier météo spécifique sur le disque.
2. Cliquez sur Browse pour naviguer vers le fichier.

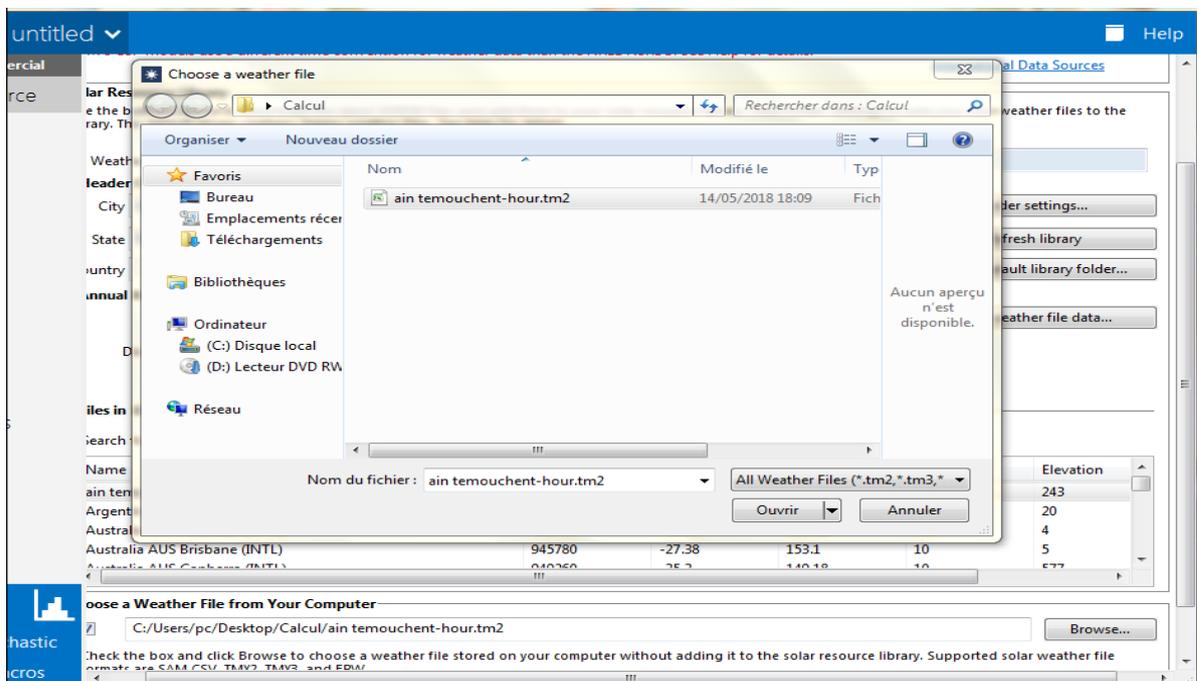


Figure V-11 : Paramètres climatiques sur SAM pour utiliser un fichier météo.

Climat :

SAM est conçu pour fonctionner avec les données météorologiques de l'année typiques qui décrivent les conditions météorologiques sur une longue période de temps. Le site choisi pour la simulation est celui de la région d'Ain Témouchent qui est caractérisé par ses coordonnées GPS à savoir une **latitude** (35.3°N) et une **longitude** (-1.15°E). Ces coordonnées sont introduites dans le code METEONORME pour avoir les conditions météorologiques du site voulu.

Par la suite, les conditions météorologiques du site voulu sont introduites dans le code SAM pour qu'il puisse les utiliser (voir **Tableau V.4**).

Ville	Ain Témouchent
Fuseau horaire	GMT1
Élévation	243m
Latitude	35.3°N
Longitude	-1.15°E
Irradiation normale directe	5.94kwh/m ² /jour
Rayonnement horizontal global	5.25kwh/m ² /jour
Irradiance horizontale diffuse	1.69 kwh/m ² /jour
Température moyenne	18.2 °C
Vitesse du vent	2.3m/s

Tableau V- 4: Caractéristiques climatiques de la ville Ain Témouchent.

Solar Resource Library
Use the buttons above to download the latest NSRDB files and add them to your solar resource library. Click Folder Settings to add your own weather files to the library. The default library contains legacy weather files. See Help for details.

Weather file: C:\SAM\2017.9.5\solar_resource\ain temouchent-hour.tm2

Header Data from Weather File

City: ain Time zone: GMT 1 Latitude: 35.3 °N °N
 State: temouchent Elevation: 243 m Longitude: -1.15 °E °E
 Country: Data Source: Station ID: 999

Annual Averages Calculated from Weather File Data

Global horizontal: 5.25 kWh/m²/day Average temperature: 18.2 °C
 Direct normal (beam): 5.94 kWh/m²/day Average wind speed: 2.3 m/s
 Diffuse horizontal: 1.69 kWh/m²/day

Files in Library

Search for: Name

Name	Station ID	Latitude	Longitude	Time zone	Elevation
ain temouchent-hour	999	35.3	-1.15	1	243

Figure V-12 : Paramètres climatiques sur SAM de la région d'Ain Témouchent.

3.5. Les paramètres d'entre concentrant les différents composants de l'installation :

3.5.1. Le bloc de puissance (Power Block):

Cliquez sur Power Block dans le menu de navigation de la fenêtre principale. Notez que pour que les pages de saisie empiriques soient disponibles.

- ♦ **Caractéristiques de la centrale (Plant Characteristics):**

- a. Puissance électrique au design (Design Gross Output (MWe)) :**

La sortie de conception du cycle de puissance, ne tenant pas compte des pertes parasites. SAM utilise cette valeur pour dimensionner les composants du système, tels que la zone de champ solaire lorsque vous utilisez le multiple solaire pour spécifier la taille du champ solaire.

- b. Estimated Gross to Net Conversion Factor:**

Une estimation du rapport entre l'énergie électrique fournie au réseau et la production brute du cycle énergétique. SAM utilise le facteur pour calculer la capacité nominale du système pour les calculs liés à la capacité, y compris le coût total estimé par valeur nette de capacité sur la page Coûts système, les incitations basées sur la capacité sur la page Incentives et le facteur de capacité indiqué dans les résultats.

- c. Estimated Net Output at Design (MWe):**

La capacité nominale du cycle de puissance, calculée comme le produit de la production brute de conception et du facteur de conversion brut à net estimé. SAM utilise cette valeur pour calculer la capacité nominale du système pour les calculs de capacité, y compris le coût total estimé par valeur nette de capacité sur la page Coûts du système, les incitations basées sur la capacité sur la page Incitations et le facteur de capacité indiqué dans les résultats.

Dans le cas présent, on a utilisé la valeur de Design Gross Output est 45.2 avec un facteur de correction égale à 0.9. Par la suite Estimed Net Output at Design est égale à 45.2 Mwe.

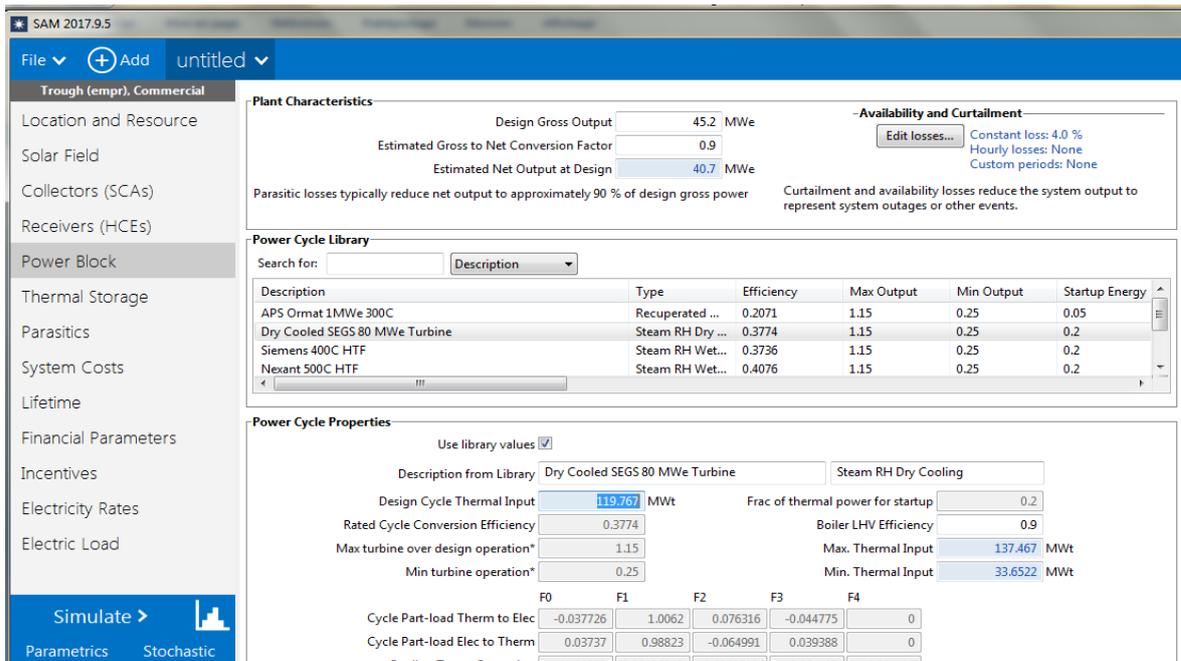


Figure V-13: Paramètres de cycle de puissance sur SAM.

3.5.2. Collecteur solaire (Collectors (SCAs)):

Un ensemble collecteur solaire (SCA) est un composant de suivi individuel du champ solaire qui comprend des miroirs, une structure de support et des éléments ou récepteurs de récupération de chaleur.

- ◆ **Choisir des éléments d'une bibliothèque:**

SAM affiche les éléments de la bibliothèque dans une liste. Pour choisir un élément de la bibliothèque, cliquez sur une ligne dans la liste. En fonction de la page d'entrée, SAM remplit les variables d'entrée associées avec des valeurs de la bibliothèque ou applique les valeurs après avoir cliqué sur le bouton Appliquer les valeurs de la bibliothèque.

Pour notre cas on a choisi le collecteur Euro Trough ET150.

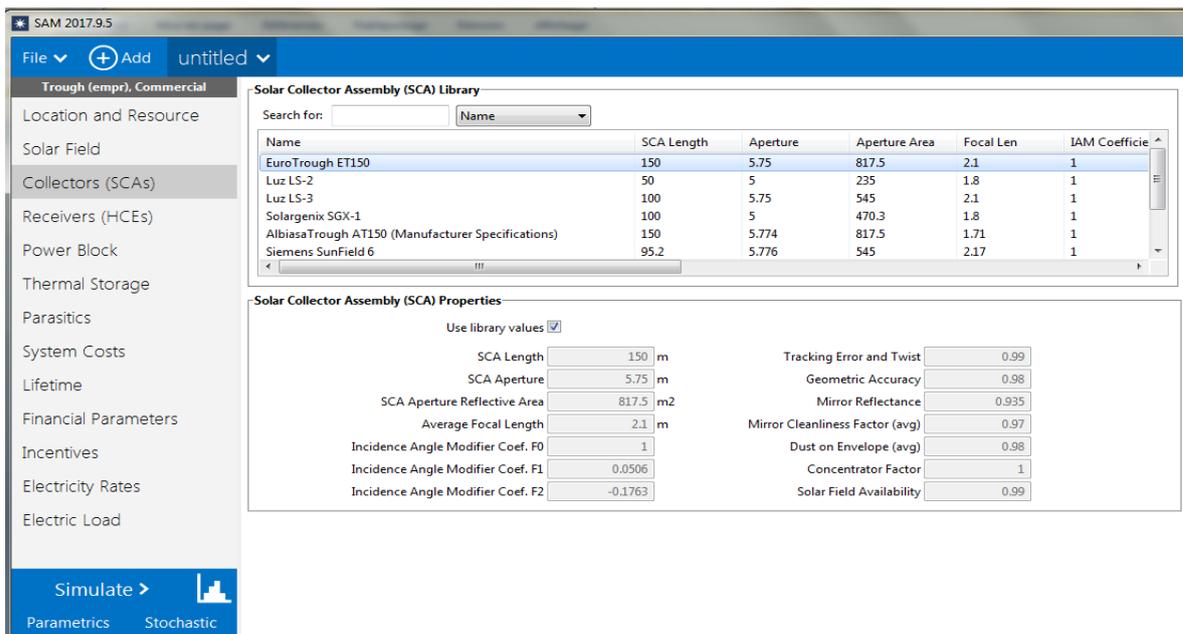


Figure V-14: Caractéristiques de collecteur sur SAM.

3.5.3. Le récepteur (Receivers (HCEs)):

Un élément de collecte de chaleur (HCE) est un tube métallique contenu dans un vide dans un tube de verre qui traverse la ligne focale du collecteur parabolique en forme de cuvette. Les joints et les soufflets assurent qu'un vide est maintenu dans chaque tube. Les revêtements antireflets sur le tube de verre maximisent la quantité de rayonnement solaire qui pénètre dans le tube. Les revêtements absorbant les rayonnements solaires sélectifs sur le tube métallique maximisent le transfert d'énergie du rayonnement solaire au tuyau.

Les variables Receivers (HCE) décrivent les propriétés de quatre types de HCE pouvant constituer le champ solaire. Cela permet de modéliser un champ solaire avec des HCE dans différents états. Chaque ensemble de propriétés s'applique à l'un des types HCE. La variable Fraction of Field détermine quelle partie du champ solaire est constituée d'un type HCE donné.

Sur la page «Receivers», nous définissons les caractéristiques de récepteurs. Pour notre cas on a utilisé le récepteur 2008 Schott PTR70 Vacunn.

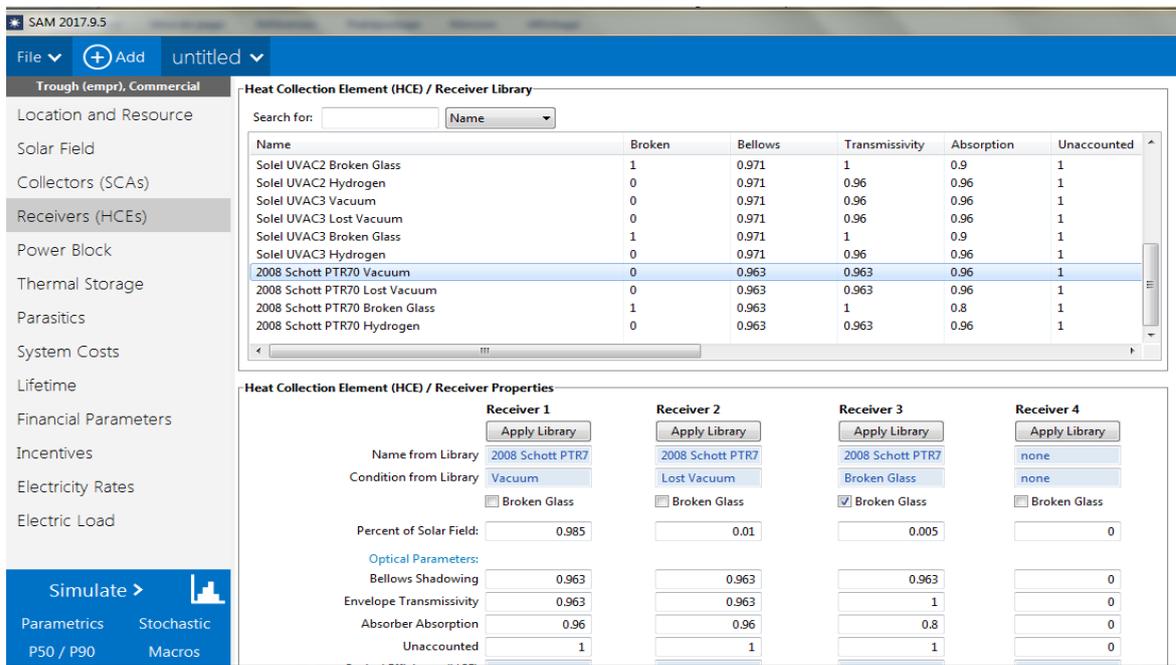


Figure V-15: Caractéristiques de récepteurs sur SAM.

3.5.4. Champ solaire (Solar Field):

Pour afficher la page Solar Field, cliquez sur Solar Field dans le menu de navigation de la fenêtre principale.

La page Solar Field affiche les variables et les options qui décrivent la taille et les propriétés du champ solaire, les propriétés du fluide caloporteur, les spécifications de conception de référence du champ solaire et l'orientation des capteurs.

♦ Les variables d'entrée dans cette page sont :

a. Disposition de champ (Field Layout):

Pour l'option 1 : (solar multiple mode), vous spécifiez une valeur pour Solar Multiple, et SAM calcule Solar field area et l'affiche sous Valeurs calculées comme Aperture Reflective Area. Dans ce mode, SAM ignore la valeur de Solar field area sous Mise en page des champs.

On a utilisé la valeur Solar multiple est égale 1.3 afin d'assurer la puissance thermique nécessaire au bloc de puissance pendant l'intermittence.

b. Rayonnement solaire direct (Direct Normal Radiation (W/m^2)):

Une valeur de rayonnement normal direct en Watts par mètre carré utilisé pour calculer la surface de champ solaire qui serait nécessaire à ce niveau d'insolation pour générer suffisamment d'énergie thermique pour entraîner le bloc de puissance.

SAM utilise également cette valeur pour calculer les pertes de chaleur HCE de conception affichées sur la page SCA / HCE. La valeur appropriée dépend de l'emplacement du système.

On a pris comme valeur de Direct Normal Radiation : 750 w/m^2 .

c. Vitesse du vent (Wind Velocity (m/s)):

Vitesse du vent de référence en mètres par seconde. SAM utilise cette valeur pour calculer les pertes de chaleur HCE de conception affichées sur la page SCA / HCE.

Wind Velocity = 3 m/s.

Figure V-16: Paramètres du champ solaire sur SAM.

3.5.5. Stockage thermique (Thermal Storage):

Pour afficher la page Stockage thermique, cliquez sur Stockage thermique dans le menu de navigation de la fenêtre principale.

♦ Equiv Full LoadHours of TES (hours):

La capacité de stockage thermique exprimée en nombre d'heures d'énergie thermique délivrée au niveau d'entrée thermique de conception du bloc de puissance. La capacité physique est le nombre d'heures de stockage multiplié par l'entrée thermique de conception du bloc d'alimentation. Utilisé pour calculer la capacité de stockage maximale de TES.

Pour notre cas le stockage thermique n'est pas pris en compte alors la valeur de Equiv Full Load Hours of TES est 0 hours.

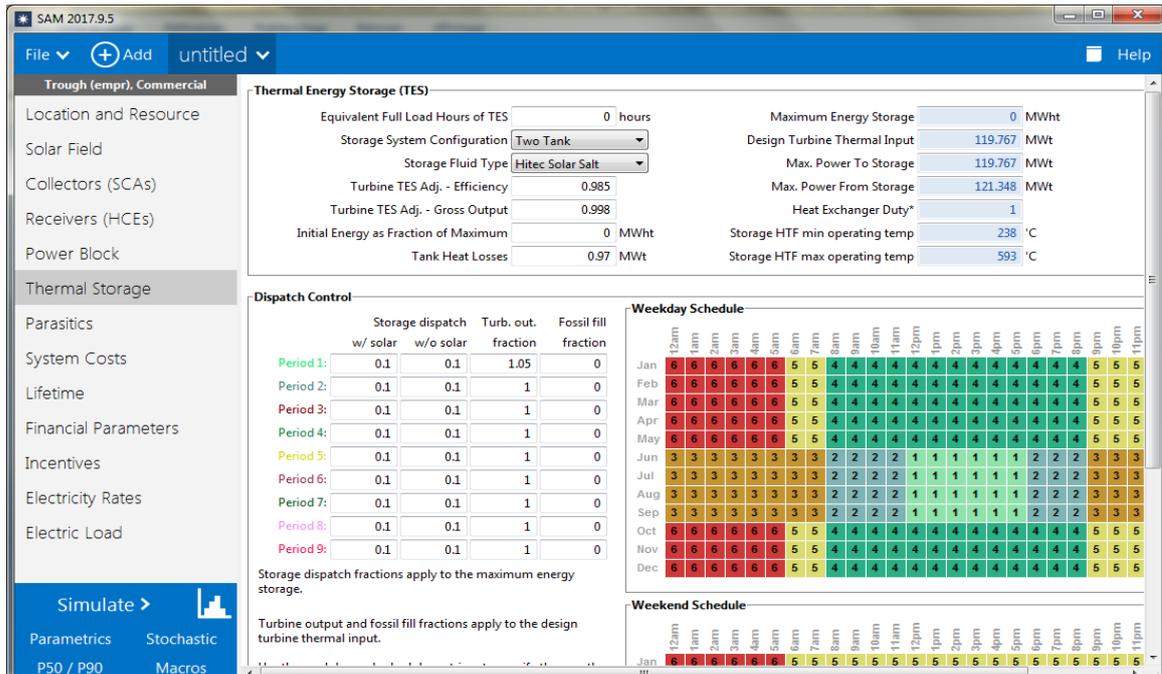


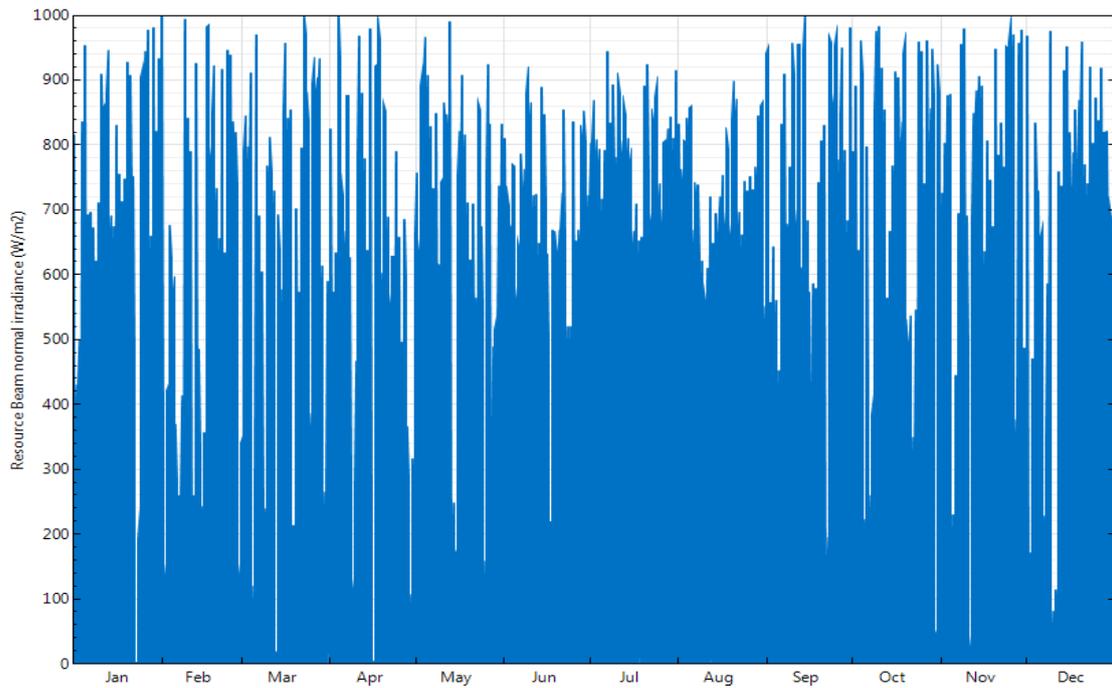
Figure V-17: Paramètres de stockage thermique sur SAM.

3.6. Discussions et interprétation des résultats de la simulation :

Le logiciel SAM affiche les résultats de la simulation sous forme des courbes ou sous forme d’histogrammes pour les différentes performances, ces résultats peuvent être moyennés sur un mois ou une année par une journée représentative (24h).

Nous allons dans un premier temps faire représentation des paramètres climatique (radiation solaire normale direct (DNI), vitesse du vent, et température ambiante).

Dans un second temps on a étudié les performances dynamiques de la centrale solaire, ou on a présenté l’évolution horaire pour toute l’année, pour une journée type de chaque mois, et pour une journée moyenne de l’année.



La figure V-18: Allure du rayonnement direct pendant l'année.

- La température et la vitesse du vent :

La figure V.19 : montre la variation de la température de l'air au cours de l'année pour site choisi. On remarque que la température maximale et minimale enregistrées est respectivement égale 37° C et 1°C.

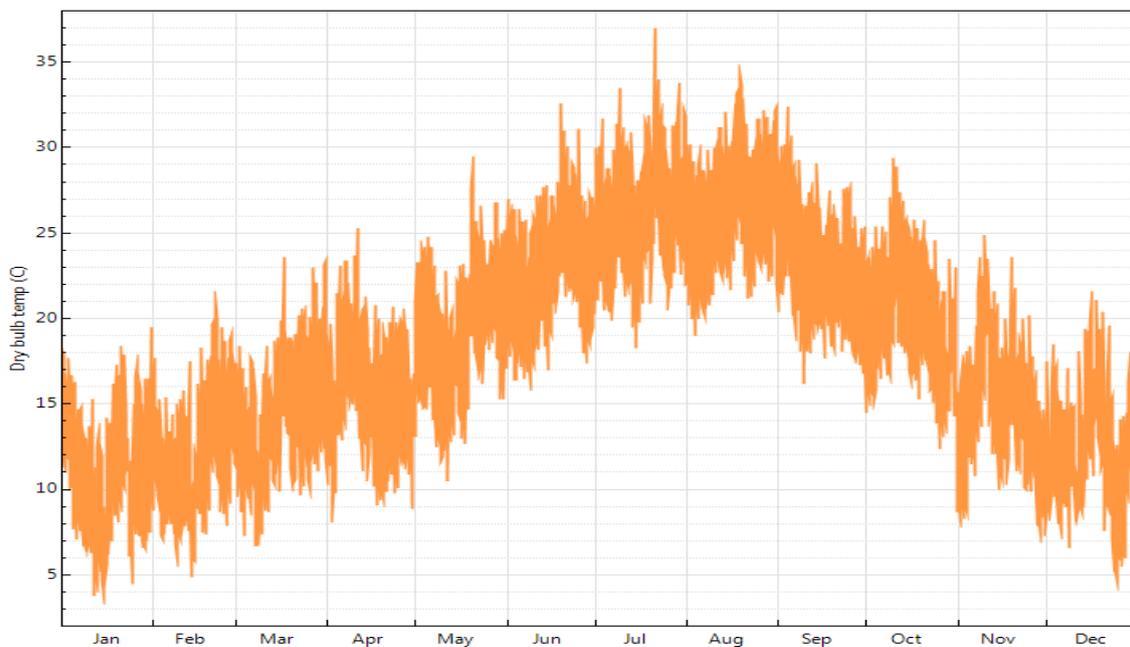


Figure V-19: Température au cours de l'année du site.

La figure V.20 montre la variation de la vitesse du vent au cours de l'année pour site choisi. On remarque que la vitesse maximale du vent est de 15 m/s.

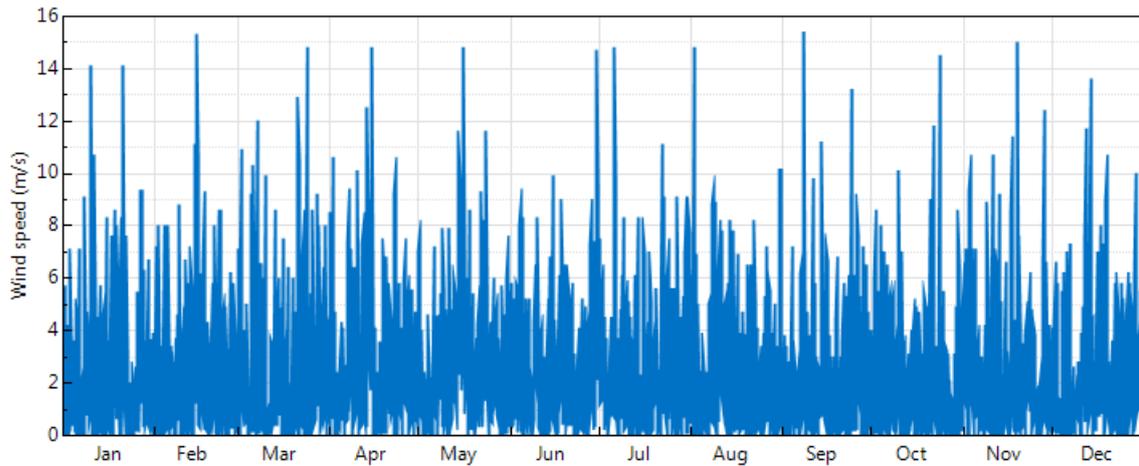


Figure V-20: Vitesse du vent au cours de l'année du site.

La figure V.21 montre le faisceau de ressources irradiation normale au cours de l'année. On remarque que le faisceau de ressources maximal au cours du mois de Septembre est 1000 (w/m^2), et le faisceau de ressources minimal au cours du mois de Septembre est 10 (w/m^2).

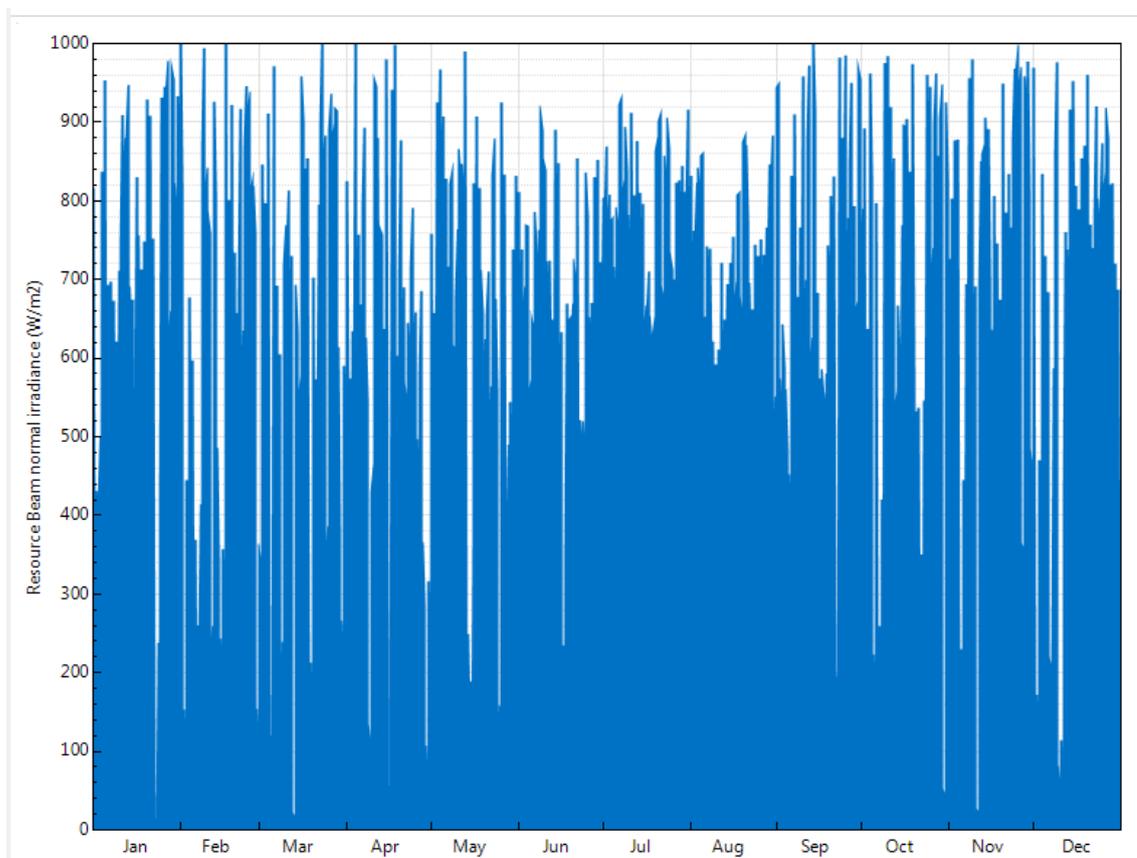


Figure V-21: Faisceau de ressources irradiation normale au cours de l'année (w/m^2).

La figure V.22 Présente la durée d'ensoleillement pour différente plage du rayonnement direct DNI (par gamme de 200W/m^2) pour nos site d'intérêt, la durée d'ensoleillement pour un DNI entre 200 et 400 W/m^2 (lorsque le soleil est bas avec une énergie supérieur au seuil de fonctionnement) est estimé à 704 heures/an, et pour une plage supérieur à 600W/m^2 une durée très importante enregistrée qui est égale 1904 heures/an, dont la centrale est pratiquement fonctionnée à charge nominale.

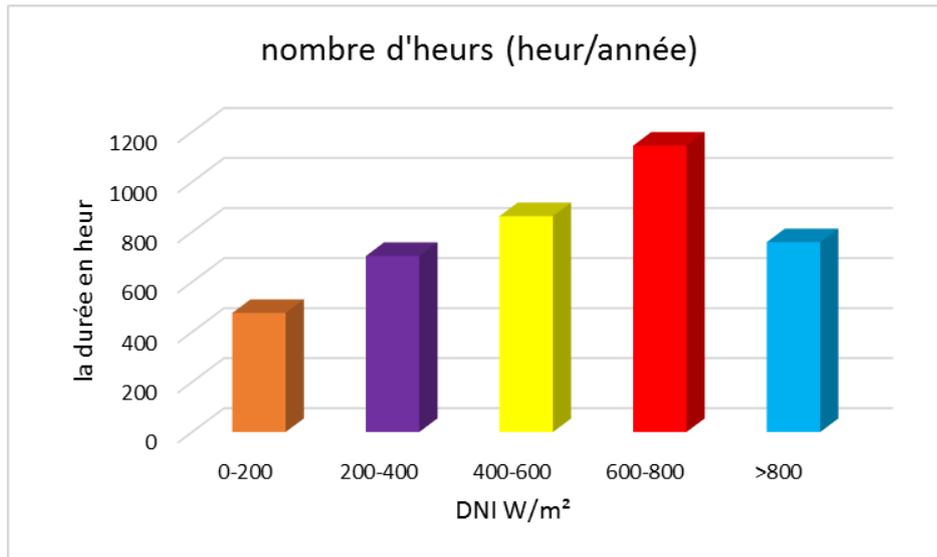


Figure V-22 : Durée d'ensoleillement pour des différentes plages de DNI.

Dans la figure V.23. Le profil du rayonnement direct pour une journée type à chaque mois est définir. On constate que le DNI est maximal au cours du mois de Juillet (en été) est 800 w/m^2 , et minimal au mois de Mars est 300 w/m^2 .

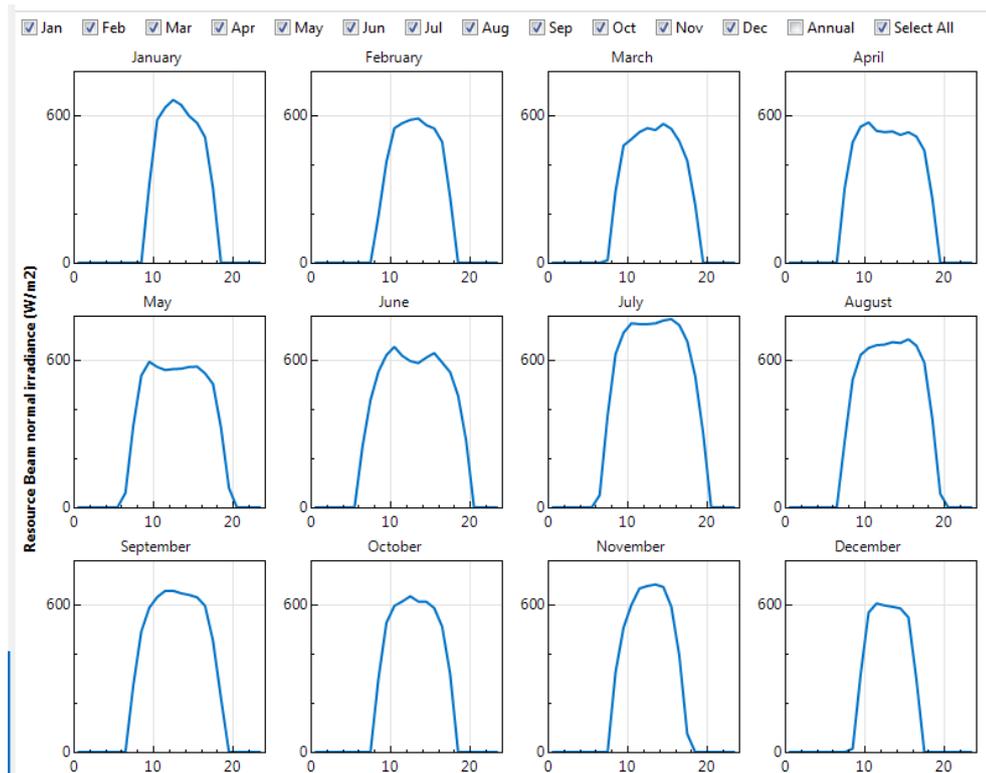


Figure V.23: Faisceau de ressources irradiation normale mensuel (w/m^2).

En peut ajouter aussi dans **La figure V.24** l'évolution du rayonnement direct pour une journée typique annuelle. Dont, à travers cette figure on peut tirer que la DNI allé jusqu'à $620 w/m^2$, cette information nous aidé de bien choisi la valeur du rayonnement pour le design du champ des concentrateur, dans notre travail on a choisi une valeur de $750W/m^2$ avec une multiple solaire de 1.3, mais si on choisir une valeur de DNI de 620 à 650 W/m^2 avec un multiple solaire qui égale à l'unité, on trouve presque le même dimensionnement du chams solaire (surface totale des collecteur).

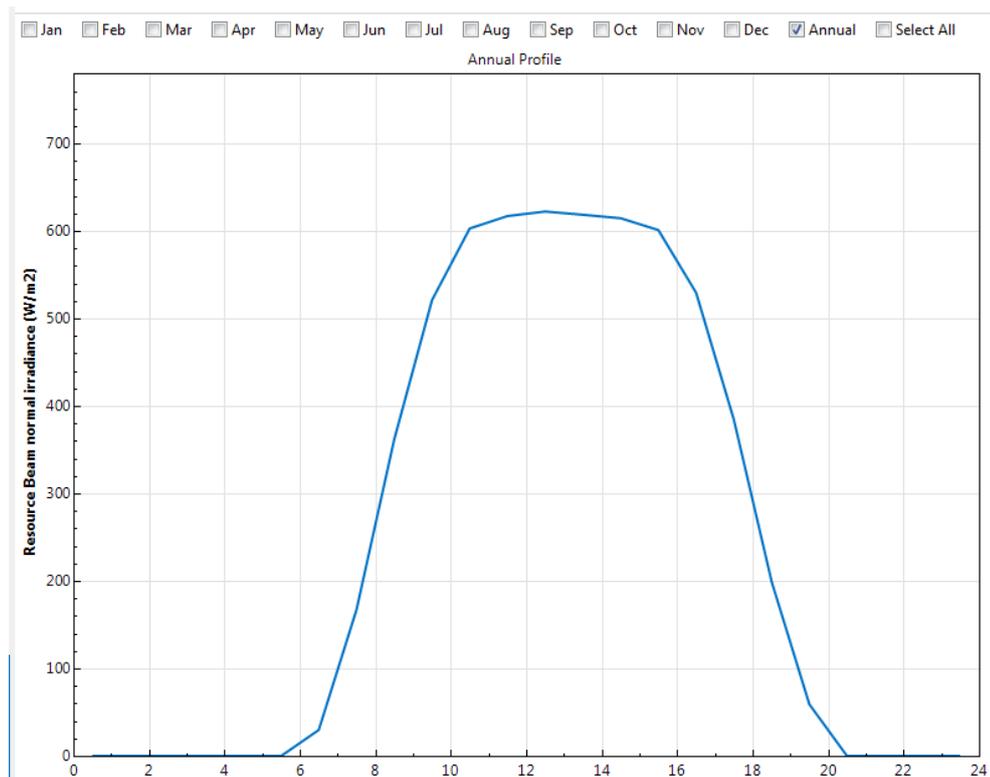


Figure V-24: Faisceau de ressources irradiation normale annuel (w/m^2).

3.6.1. Les paramètres de sortie :

L'onglet Summary affiche un tableau qui rassemble les résultats technico économique de la centrale solaire cylindro-parabolique, nous dans cette tableau on s'intéresse seulement par les résultats technique à savoir l'énergie annuelle produite le facteur de capacité.

Metric	Value
Annual energy (year 1)	84,712,600 kWh
Capacity factor (year 1)	23.8%
Levelized COE (nominal)	5.70 ¢/kWh
Levelized COE (real)	4.49 ¢/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$52,102
Electricity bill with system (year 1)	\$-2,207,009
Net savings with system (year 1)	\$2,259,112
Net present value	\$-31,188,266
Payback period	NaN
Discounted payback period	NaN
Net capital cost	\$157,465,120
Equity	\$0
Debt	\$157,465,120

Figure V-25: Résultats pour chaque cas dans le fichier de projet.

3.6.2. Les caractéristiques de l'installation étudiée :

La simulation est effectuée en utilisant le logiciel SAM, les caractéristiques techniques de la centrale CSP sont illustrées sur le **tableau V.5**.

	variable	La valeur
collecteur	Surface de l'ouverture module (m ²)	817.5
	ouverture (m)	5.75
	Longueur de l'assemblage du collecteur (m)	150
	distance focale (m)	2.1
	Facteur de concentration	1
	Disponibilité du champ solaire	0.99
Le champ solaire	Espacement des lignes (m)	15
	Irradiation au design (W / m ²)	750
	Zone de champ solaire (acres)	188
	Superficie totale (acres)	263
	Multiple solaire	1.3
	Surface réfléchissante d'ouverture (m ²)	291,194
	Facteur de Capacité (capacity factor) %	23.8

Tableau V- 5: Tableau récapitulatif des caractéristiques de la centrale analysée.

3.6.3. Les performances dynamiques de la centrale :

Afin de visualiser le comportement de la centrale nous avons présenté les performances pendant l'année, et pour des journées type pour chaque mois, ainsi que pour une journée représentatif de l'année

♦ Puissance thermique produite par le champ solaire cylindro-parabolique :

La **figure V.26** montre la puissance thermique totale produite au cours de l'année. On remarque que la puissance thermique au cours du mois de Mai atteint le maximale qui est 208MWth, et la valeur minimale (présence du soleil) de la puissance thermique enregistrée au cours du mois d'Avril qui égale 6 MWth.

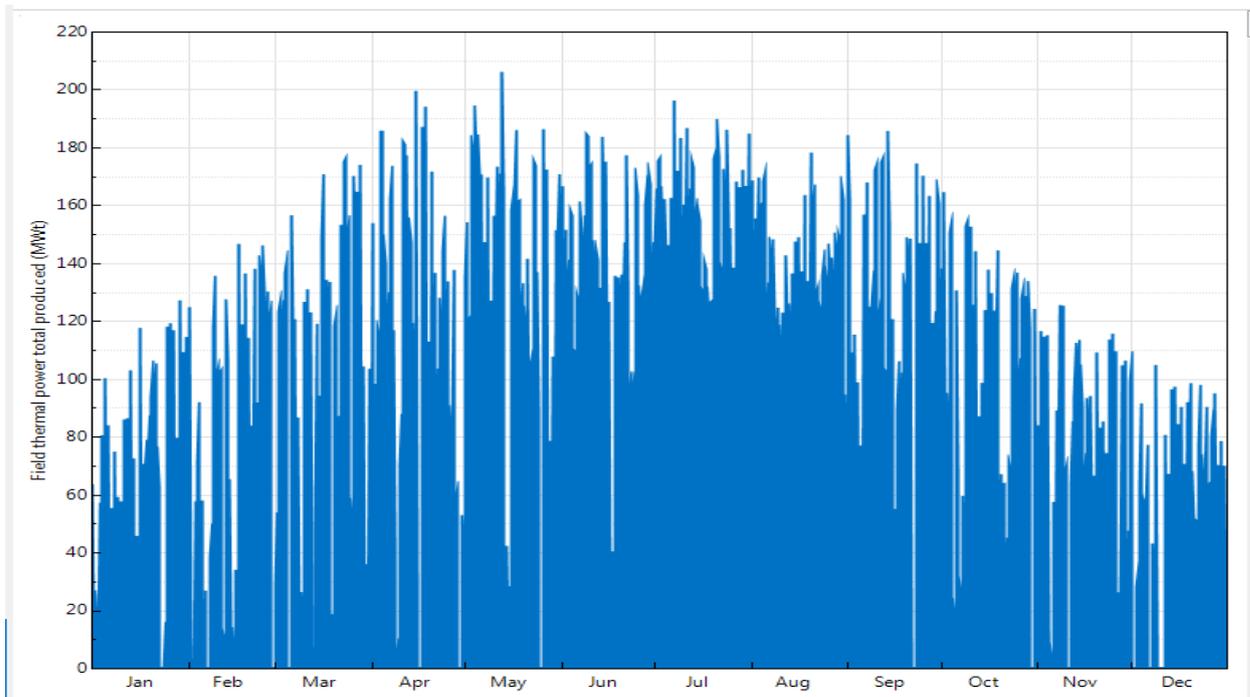


Figure V-26: Puissance thermique totale produite au cours de l'année (MWt).

La représentation de profil mensuel de la puissance thermique produite par le champ des concentrateurs cylindro-parabolique est illustrée sur **la figure V.27**. On constate que la puissance thermique totale maximale a été produite au cours du mois de juillet 160 MWt, et la puissance thermique totale minimale a été produite au cours du mois de décembre 50 MWt.

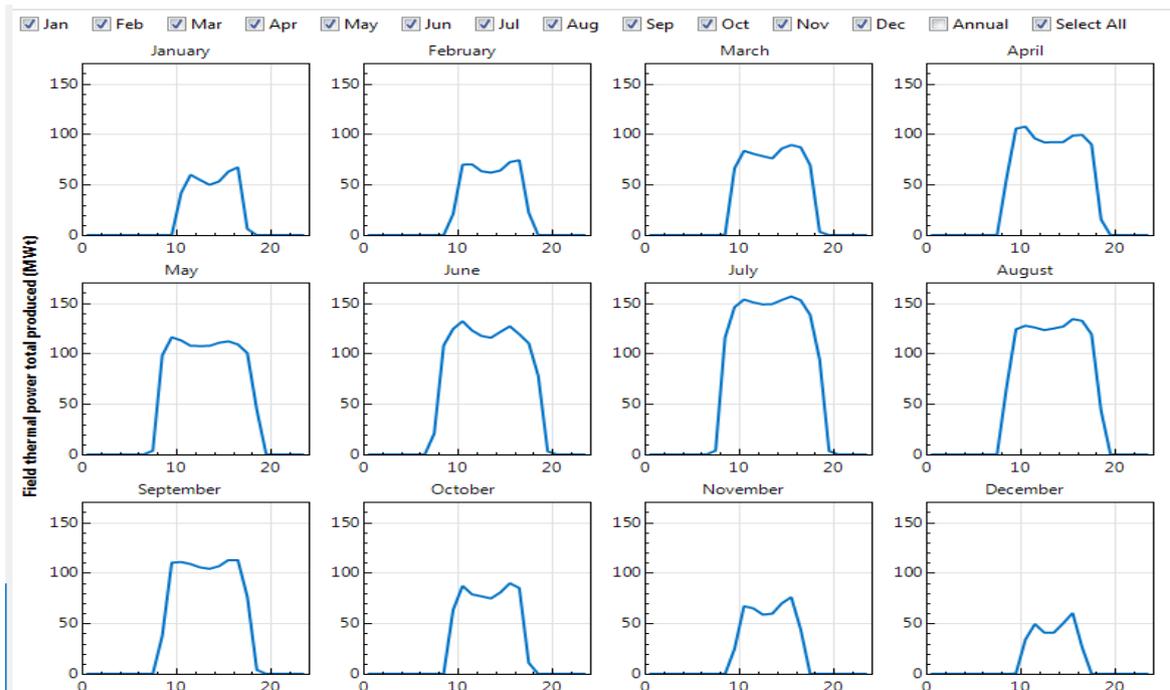


Figure V-27: Puissance thermique totale produite mensuelle (MWt).

La figure V.28 représente la puissance thermique produite pour une journée représentatif de l'année, il est bien claire dans la figure que la puissance thermique produite par le champ solaire varie entre 90 jusqu'à 100 MWth entre 10h de matin jusqu'à 17h après midi.

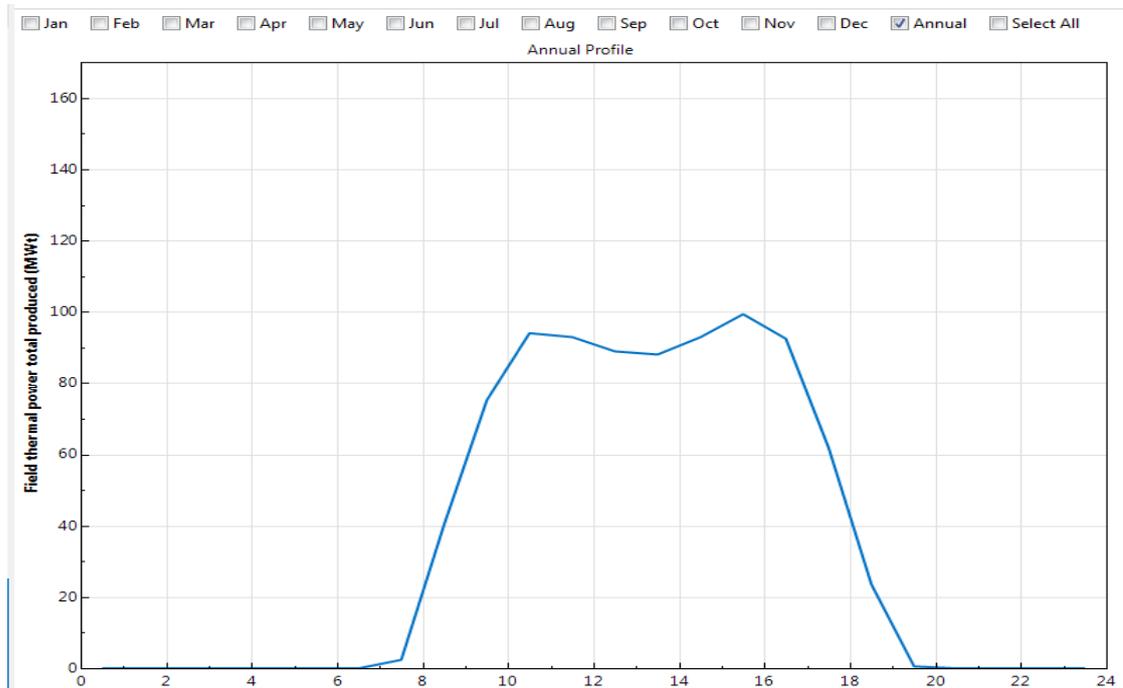


Figure V-28 : Puissance thermique journée représentatif de l'année (MWth).

♦ Rendement optique du champ solaire :

Le rendement optique d'un collecteur définir par le rapport de l'énergie réfléchi vers le récepteur et l'énergie incidente sur le concentrateur. La figure V.29 l'évolution horaire du rendement optique du champ des collecteurs cylindro-parabolique au cours de l'année (8760heurs). On constat que le rendement optique est supérieur à 70% dans la période de 15 mars jusqu'à 31 août ceci est due au le trajectoire du soleil pendant le jour ou le soleil est presque perpendiculaire sur l'ouverture des concentrateur, et les perte par effet cosinus est négligeable, en autre coté un valeur minimal est enregistré pendant la journée de 13 novembre dont le rendement optique égale 13.5%, et dans la saison de l'hiver, dont l'angle de l'élévation du soleil est petite, ce qui provoque les pertes par effet cosinus ainsi que les pertes par ombrage et blocage.

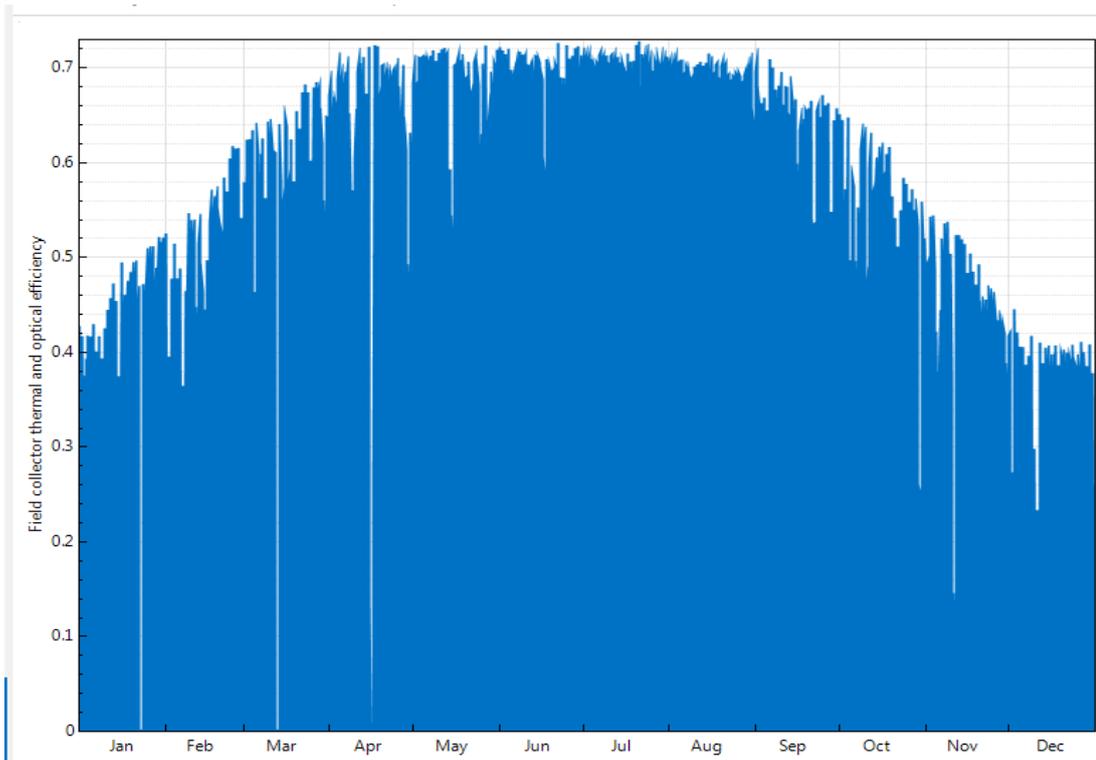


Figure V-29: Collecteur de champ thermique et optique au cours de l'année.

Le profil mensuel du rendement optique est illustrée sur la figure V.30. Il est clair d'après la figure que pendant le mois de juillet le rendement optique de champ atteint 80%, tandis que la valeur minimale enregistrée pour le mois de décembre qui est 20%.

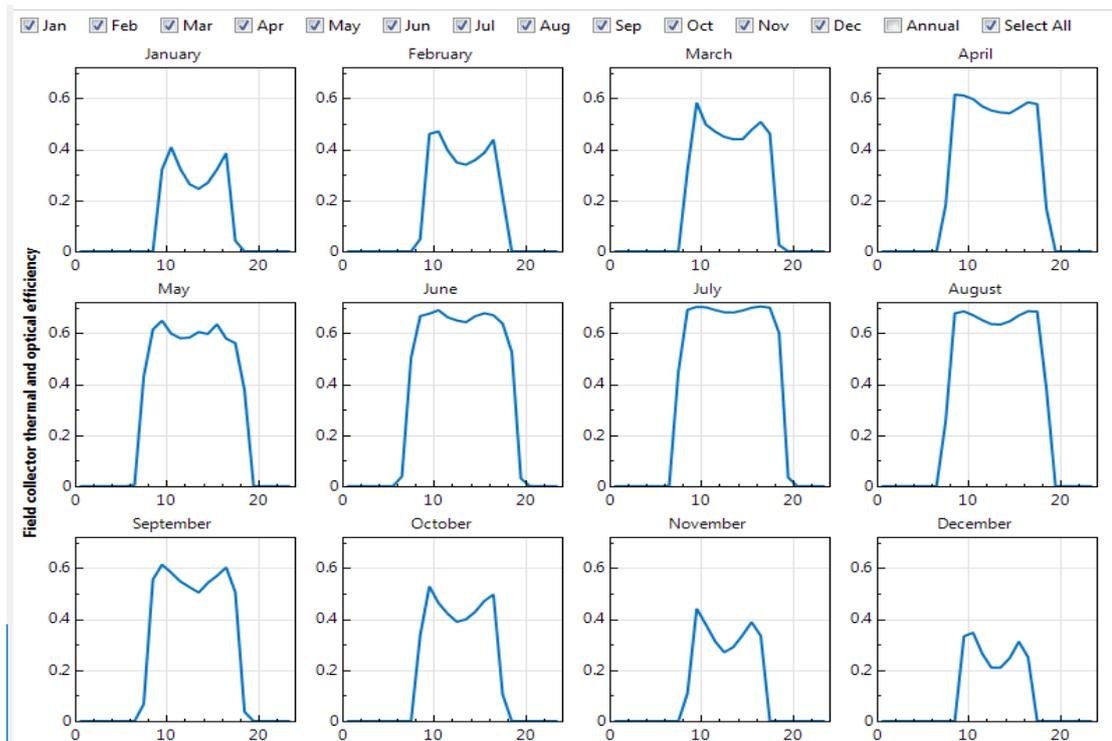


Figure V-30 : Collecteur de champ thermique et optique mensuel.

Pour la moyenne annuelle du rendement optique, **La figure V.31** nous a donné un aperçu sur l'allure du rendement optique du champ solaire pour une journée représentatif de l'année, on remarque que le rendement atteint une valeur maximale de 54%.

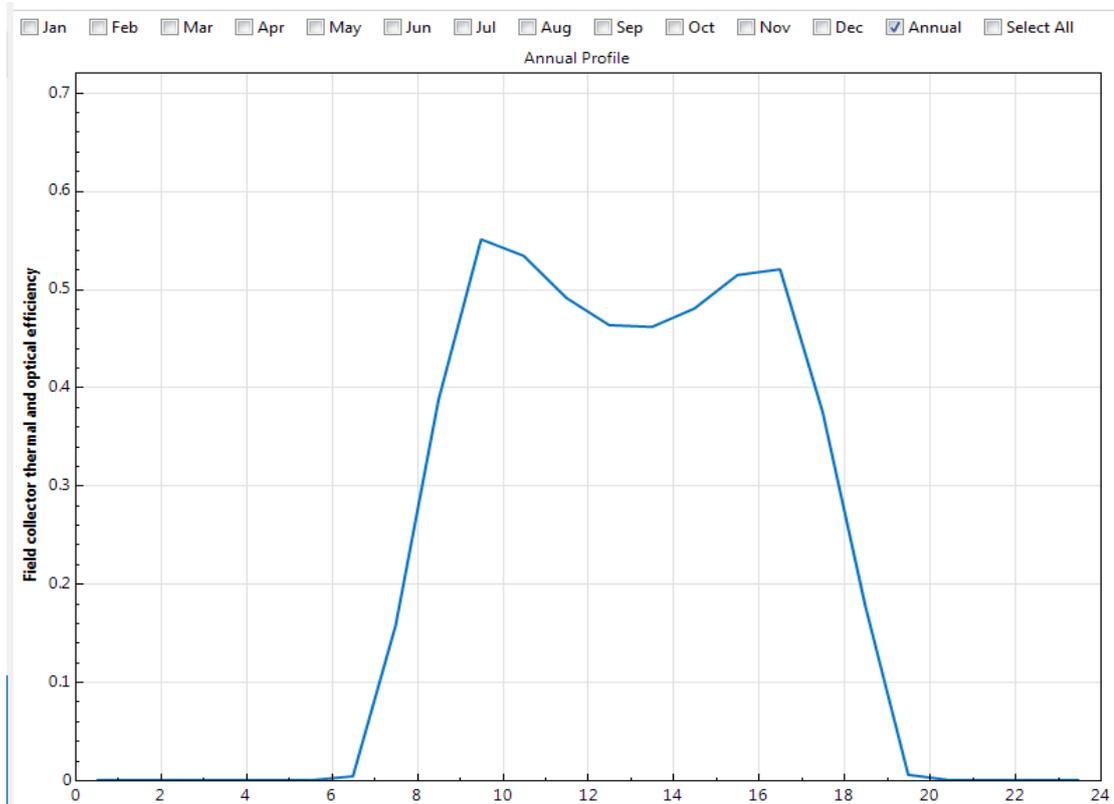


Figure V-31 : Collecteur de champ thermique et optique annuel.

♦ **Puissance électrique produite par la centrale :**

La figure V.32 montre la variation horaire de la puissance nette générée au cours de l'année. On remarque que la puissance est variée entre 47MWe, et 23.8MWe. Il est constatable que la puissance produite est proportionnelle au rayonnement direct incident sur les réflecteurs solaire. Pour les heurs ou la puissance nette produite est supérieure à la puissance nominale requise par l'unité de dessalement, le surplus d'énergie électrique peut utiliser pour d'autre bien (éclairage, climatisation, ou injection aux réseaux électrique). le surplus de production est liée aux valeur de rayonnement directe supérieur a seul la valeur de design (750W/m^2) et aussi au surdimensionnement du champs solaire par le sélection d'une valeur de multiple solaire égale à 1.3, mais en contrepartie, le surdimensionnement du champ nous a permet d'assuré la quantité de puissance thermique lorsque il y a des fluctuation du rayonnement solaire direct ($\text{DNI} < 750\text{W/m}^2$).

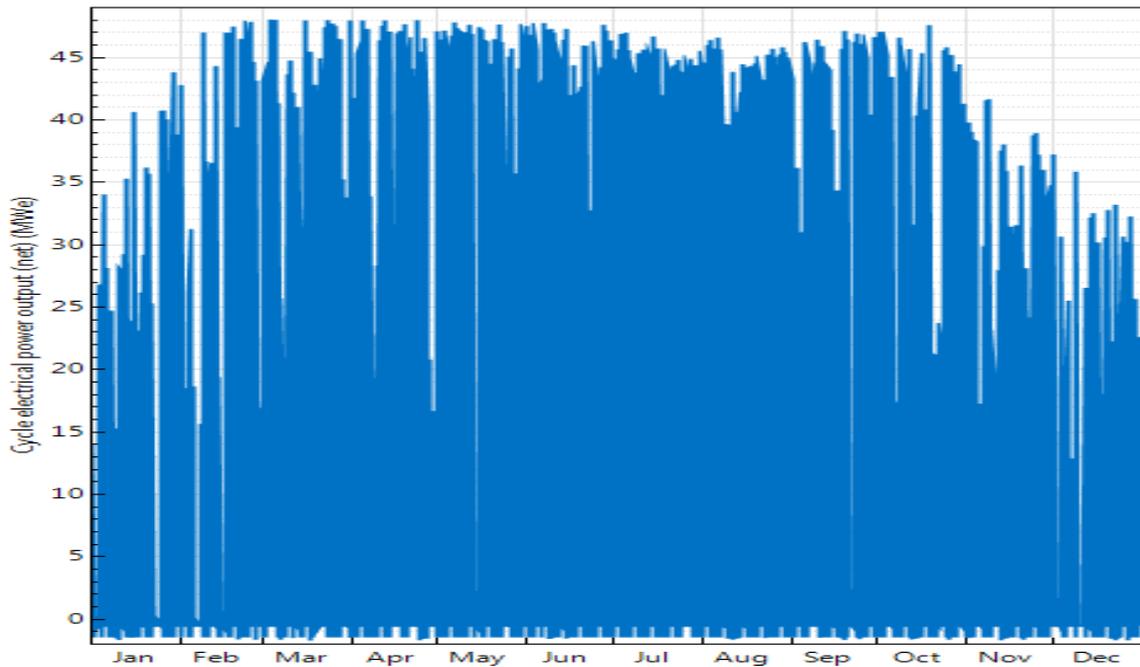


Figure V-32: Puissance du système générée au cours de l'année (kW).

La variation de la puissance générée par la centrale pour une journée représentative à chaque mois est illustrée sur **la figure V.33**. On remarque que la puissance maximale a été générée au cours du mois de juillet (40.1 MWe), et la puissance minimale a été générée au cours du mois de décembre (19 MW). Donc on peut conclure que l'unité de dessalement au mois de juillet fonctionnée aux conditions nominale tandis que au mois de mars l'unité de l'osmose inverse est fournie seulement 50% de ça capacités de production.

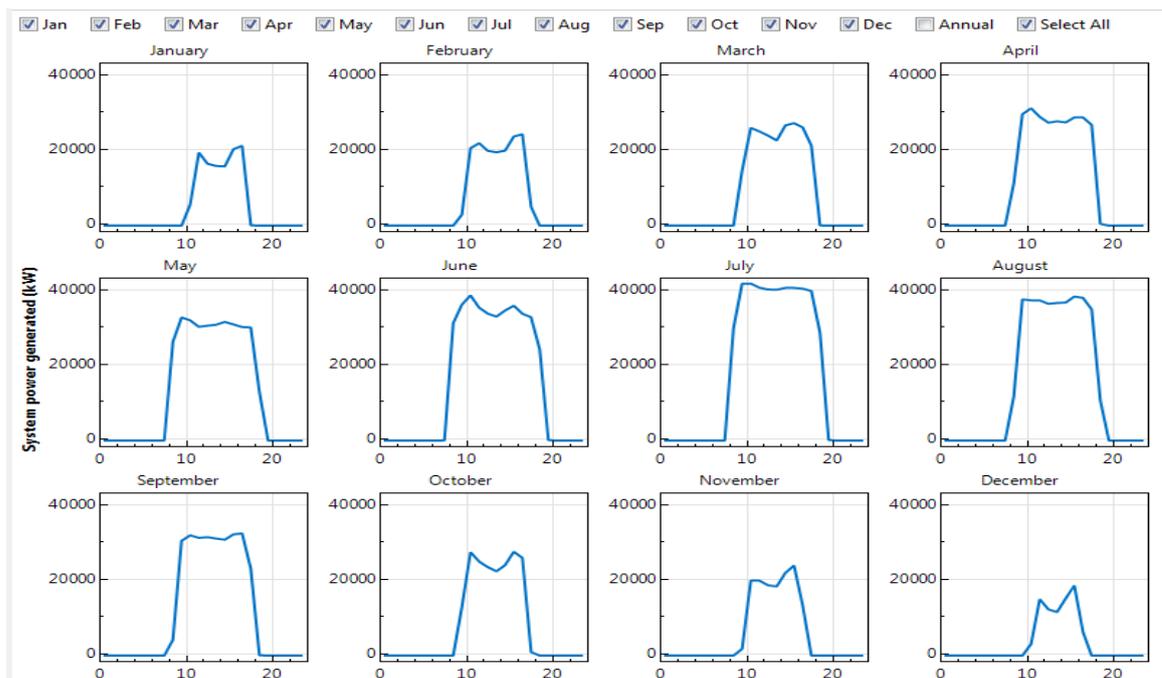


Figure V-33: Puissance du système générée mensuelle (kW).

Enfin. **La figure V.34** représente la puissance nette produite par l'installation pour une moyenne journalière annuelle, On remarque que la puissance varie sur une fourchette de 25.5 à 29 MWe. Donc on peut dire que sur une moyenne annuelle la centrale solaire cylindro-parabolique fournit pendant le jour (avec la présence du rayonnement solaire direct) de 63.7 % à 72.5 % de la capacité nominale attendue.

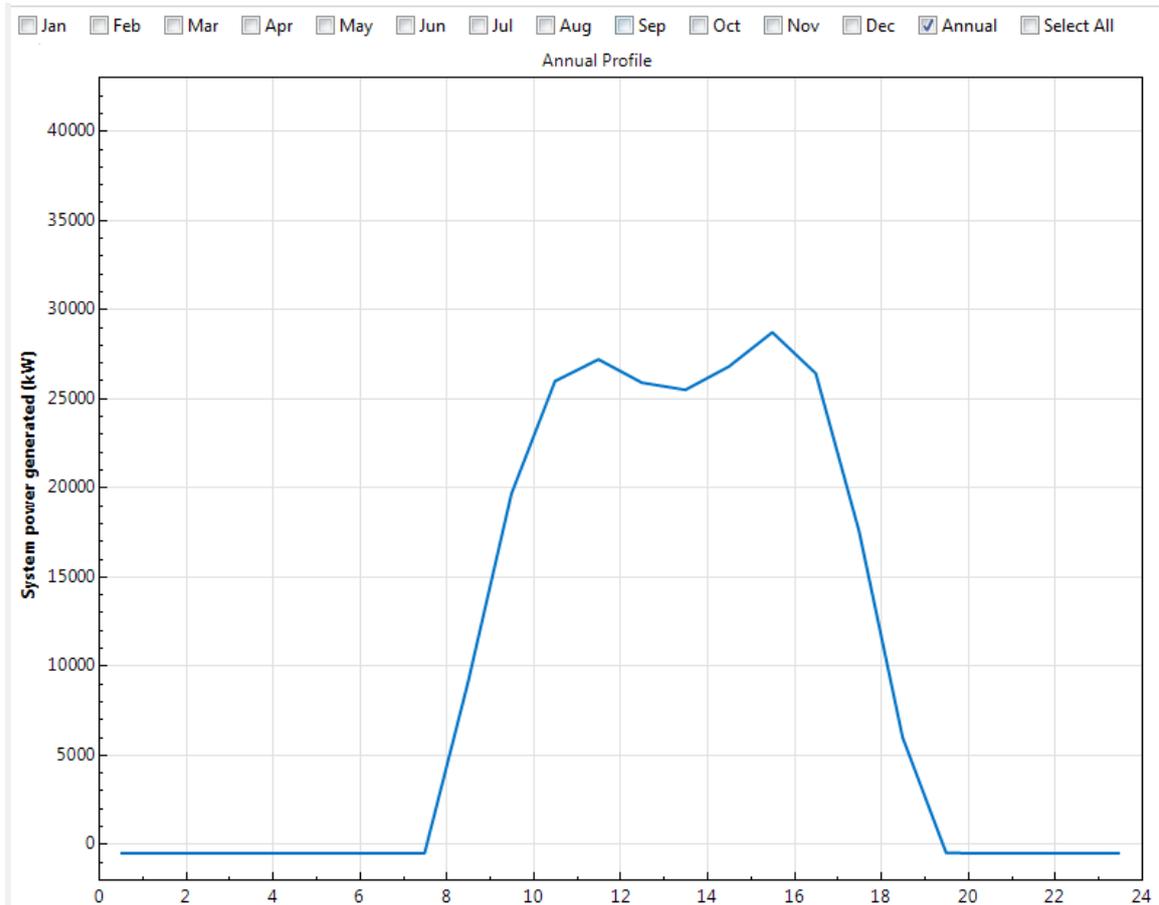


Figure V-34: Puissance du système générée annuelle (kw).

3.7. Rendement de conversion solaire électricité :

◆ Rendement global des centrales :

Nous allons à présent calculer le rendement global de nos six centrales en utilisant les résultats de la simulation, et cela pour le mois de juin, décembre, ainsi le rendement annuel. Nous utiliserons pour cela la relation suivante :

$$\eta_{\text{solaire-électricité}} = \frac{\text{Energie produite net}}{\text{Energie solaire reçue}} \quad (7)$$

Est calculé comme suite :

$$\text{Energie solaire reçue} = \text{DNI} \cdot \text{Surface des collecteurs} \quad (8)$$

On a tracé l'évolution du rendement globale de conversion solaire électrique pour la journée représentatif de l'année. Alors, il est bien clair d'après cette figure au-dessous que le rendement de cette installation varié entre 08% et 18%. L'intervention du stockage thermique ou l'hybridation par une autre source (biomasse) nous à permet d'amélioré les performances de cette centrale.

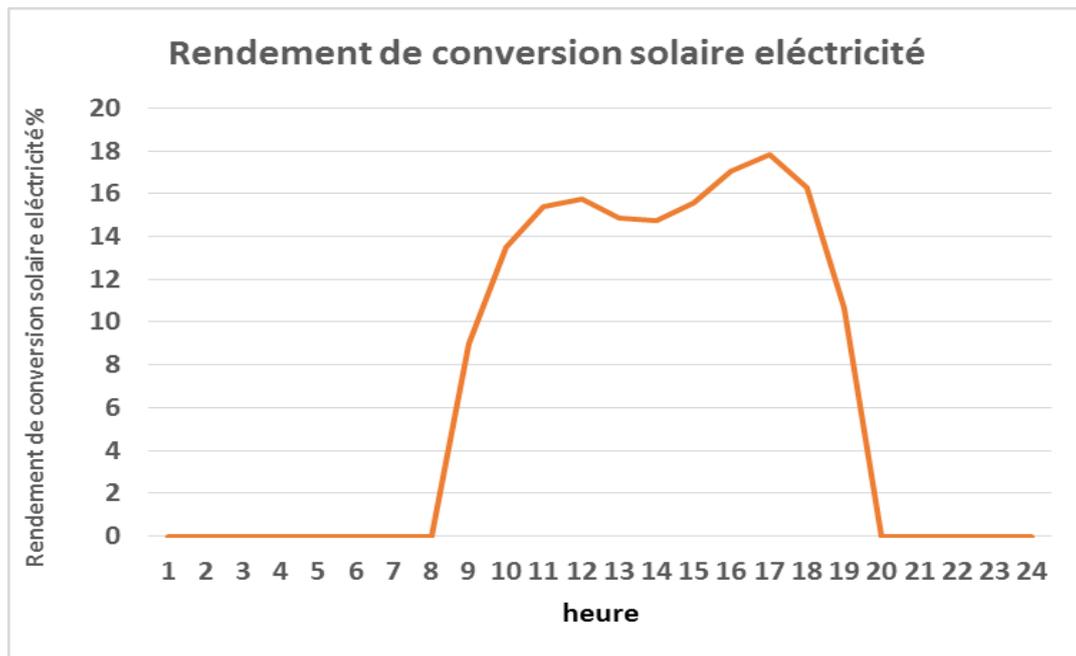


Figure V-35 : Rendement de conversion électricité.

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, on a étudié le dessalement solaire avec une présentation des connaissances générales sur les différentes techniques de dessalement utilisée dans cette technologie. Nous avons résumé toutes ces techniques de dessalement avec leurs avantages et inconvénients à partir de comparaison plus détaillée.

Après cette étude, nous concluons que l'osmose inverse est la méthode la plus rentable que la distillation, car elle est moins couteuse.

L'exemple que nous avons pris est la station de dessalement de Béni Saf, le procédé utilisé est l'osmose inverse, cette technique nécessite une énorme énergie électrique.

La première partie de la modélisation est une étude de dessalement par osmose inverse pour dix modules, elle nous permis de comprendre expérimentalement l'influence de la salinité de l'eau d'alimentation, la température, le nombre et le type de la membrane, le nombre de tube et le taux de conversion sur la puissance électrique de dix module d'osmose inverse et la consommation d'énergie du système.

Le but de cette étude est d'obtenir la puissance électrique de dix modules d'osmose inverse à l'aide de logiciel ROSA. Le logiciel utilisé dans l'analyse pour déterminer la performance d'une membrane et l'énergie requise pour le dessalement. L'utilisation du modèle est influencée par le besoin de concevoir un système RO techniquement faisable.

La deuxième partie est une étude énergétique d'un concentrateur cylindro-parabolique. Il s'intéresse particulièrement à l'intensité du rayonnement et aux différents paramètres thermo physiques du fluide caloporteur HTF, le régime d'écoulement tel que le débit, les paramètres environnementaux (la vitesse du vent), et le plus important c'est le cout de l'installation.

Nous avons utilisé un autre logiciel technico-économique pour déterminer les caractéristiques techniques et les couts de système CSP, et analysé la performance de ce système.

Le logiciel SAM (Solar Advisor Model) été conçu pour l'étude technico-économique des systèmes énergétiques d'origine solaire. Ce logiciel est utile pour l'évaluation des performances techniques et financières des modèles solaires disponible afin de faciliter la prise de décisions.

Référence bibliographie

- [1] : Société publiques de gestions de l'eau « l'eau nous différents forme »page consulté, le 1 février 2016.
- [2] : Le contre d'information sur l'eau « les ressources en eau dans le monde » page consulté 02 février 2016.
- [3] : Mekkediche .M « l'économie algérienne à la croisée des chemins » Alger, 2008,283 p.
- [4] : J.P.Riley, GSKIRRO W « chemical accanographie académique press », 1965.
- [5] : Mémento techniques de l'eau, dégrément 1995.
- [6] : Alain Maurel «dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres», edition tech et documentaire 2001.
- [7] : R.A. Horne « Marine chemistry the structure of water and the chemistry of the hydrosphère », wiley-Interscience, 1961.
- [8] : Maurel, 2006.
- [9] : Mericq, 2009.
- [10] : UNEP, MAP, 2003.
- [11] : Damis, 2003.
- [12] : Ravel, 2012.
- [13] : Jamaly et Al, 2014.
- [14] : PNUE, 2001.
- [15] : Vince et Debatz, 2007.
- [16] : Rashad, 2007.
- [17] : Hoepner, 2003.
- [18] : Rashad, 2007.
- [19] : Dawad et EL Mulla, 2012.
- [20] : Jenkins et All ,2003.
- [21] : Balasubra manian, 2013.
- [22] : Swift, 2002.
- [23] : NRC, 2008.
- [24] : Leila Mestfaoui « dessalement d'eau de mer par osmose inverse, fonctionnement et effets des paramètres sur le rendement » master en hydraulique, spécialité science de l'eau et l'environnement centre université belhadj Bouchaib, Ain Témouchent 2015/2016.

- [25] : Mell Belgaid Dalila «Etude comparative sur le vieillissement de membranes d'osmose inverse exploitées sur sites industrie », Mémoire de magister en science de l'eau et développement durable, Université HASSIBA BEN BOUALI, 2014/2015.
- [26] : Lentech, « les membranes » 20 mars 2016.
- [27] : « l'influence de la force sonique sur le dessalement des eaux faiblement saumâtres » département d'hydraulique, Tlemcen 2014, 171 p.
- [28] : Technologie des membranes « membranes planes et en spirale » 25 mars 2016.
- [29] : Alain Maurel, technique séparatives à membranes, considération théoriques techniques de l'ingénieur, J2.790, p1-23, 1988.
- [30] : Laouini S.E , Ben Houda et Ouahranim^{ed}. R « Etude expérimentale et développement d'un bassin d'eau utilise comme capteur solaire », Rev.Sci.Fon.App , Vol.2N°.1,159-173.2010.
- [31] : Abene A.Dubois V.Ouagued A.Si-Youcef M, « Etude expérimentale de capteur solaire a air, le séchage de la figue », Technologies Avancées, Numéro 17.Janvier 2005.
- [32] : <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/le-developpement-durable/qu-est-ce-qu-une-energie-renouvelable>.
- [33] : [www.raee.org/docs/FORMATION SOLAIRE.../RAEE gisement.pdf](http://www.raee.org/docs/FORMATION_SOLAIRE.../RAEE_gisement.pdf).
- [34] : HADJ BELKACEMI «Mohammed Modélisation et Etude Expérimentation d'un Capteur Solaire non Vitré et Perforé» mémoire de Master en Energétique et Matériaux Université Abou BekrBelkaid de Tlemcen 2011.
- [35] : SAID .BENTOUBA «Les énergies renouvelables dans le cadre d'un développement durable en Algérie willays du grand sud exemple » article Centre Universitaire de Béchar– Algérie, 11 et 12 Novembre 2006.
- [36] : M. Capderou, Atlas solaire de l'Algérie, Tome 1, Vol. 1 et 2 ; OPU, 1987.
- [37] : A. Mefti; M.Y Bouroubi; H. Mimouni, Evaluation du potentiel énergétique solaire,
- [38] : BEN GUEHZA MOHAMMED LAHKDAR« IMPACT DE L'ESPACE ENTRE LES DEUX VITRAGES SUR LE RENDEMENT D'UN CAPTEUR SOLAIRE »Mémoire de magister en Energetique et Physique UNIVERSITE DE KASDI Merbah OUARGLA, 24 Février 2009.
- [39] : YACINE Fouad «ETUDE DES NOUVELLES GENERATIONS DE CELLULES PHOTOVOLTAIQUES » Mémoire de Magister en Physique et Rayonnement et Matière Université Des Sciences et de le Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf(USTO.MB), 2010/2011.

- [40] : TOUR FETHI & GUENANECHÉ ABDEL ILLAH , « ETUDE DE L'EFFET DE LA MINI-CONCENTRATION SOLAIRE DANS UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN A AIR » Mémoire de Master en Génie Mécanique et Energétique Centre Universitaire BELHADH BOUCHAIB d'Ain Temouchent , 2016/2017.
- [41]: Fernandez-García A., Zarza E., Valenzuela L. and Pérez M. (2010), Parabolic-trough solar collectors and their applications". *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4(7), 1695–1721
- [42] : Bernhard R, Lalaing J, Kistner R, Eck M, Eickhoff M, Feldhoff JF, Heimsath A, Hülsey H, Morin G (2009), „Linear Fresnel collector demonstration at the PSA – Operation and investigation“, Proc. 15th International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies, 14–18 Sept., Berlin.
- [43] : <http://www.psa.es/webeng/index.php> PlataformaSolarde Almeria. [En ligne].
- [44] : Kadraoui Hicham, « Etude Comparative Et Rendement Energetique Des Differents Degres De Concentration Des Convertisseurs Thermodynamique De L'energie Solaire ». Memoire De Magister « Ecole Doctorale « Energies Renouvelables » 2010-2011.
- [45] : Hildebrand A F and L LVant-Hull (1977), Power withheliostats", *Science*, 198, 1139–1146.
- [46] : <http://devdurablemom.blogspot.com/2010/03/les-avantages-et-les-inconvénients-de.html>.
- [47] : BWC « Beni Saf Water Comapny », Station de dessalment d'Eau de mer de Beni Saf.
- [48] : Desarallo.benisafwater.com/index.html.
- [49] : www.veoliawatertechnologies.ca/.../degrillage-fin-stationnaire/.