

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université -Ain-Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
Filière : Génie Mécanique
Spécialité : énergétique
Thème

**Etude et faisabilité du dessalement membranaire et solaire des eaux saumâtre dans le sud
Algerien**

Présenté Par :

- 1) REGHAOUAT abdelillah
- 2) RAHMANI tayeb

Devant le jury composé de :

Dr.Amirat	Dr UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr.Beloufa	Dr UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Dr. NEHARI Driss	Pr UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant

Année universitaire 2020/2021

Remerciement

Tout d'abord, merci pour le grand DIEU qui m'a donné la volonté et le courage pour avoir accompli ce travail.

J'exprime nos sincères remerciements à M. NHERI, Professeur à l'Université de Belhadj Bouchaib à Ain Temouchent, pour le sujet de recherche qu'il a proposé, et lui a exprimé notre profonde gratitude pour toute son assistance scientifique, sa disponibilité, ses conseils, sa gentillesse et surtout l'intérêt qu'il a manifesté pour nos travaux et intérêt à lire et corriger cette thèse

Nous tenons également à exprimer notre plus profonde gratitude à nos familles pour leur soutien moral et leurs encouragements durant toutes ces années d'études.

Nous remercions également les membres du jury qui ont fait l'honneur de bien vouloir examiner ce travail Nos vifs remerciements vont également du fond du cœur à tous nos enseignants durant notre formation universitaire,

A tous nos chers amis

DEDICACE

A mes chers parents pour leur bonne éducation, leurs conseils et surtout leur soutien dans les moments difficiles.

A mon frère mohamed et mes chers sœurs Pour les efforts et l'attachement qu'ils m'ont fourni pour me supporter.

A mes petite chères nièces djamila et rayhana

A Les enfants de ma sœur loay et iyed

A ma chère grande père ,mes oncles et mes tantes. A tous mes cousins et Toute la famille rahmani

A mes amis proches et particulièrement les amis d'enfance et ceux que j'ai rencontrés à l'université

A tous les gens que j'aime dont je n'ai pas cite les noms.

RAHMANI TAYEB

DEDICACE

Je dédie ce travail

A mes chers parents, et mes grandes mères.

À ma chère frère ET ma chère sœur

A Les enfants de MON FRERE SERINE et YAHYA

A tous mes oncles et mes tantes. A tous mes cousines, et mes cousins. et Toute la famille
REGHAOUAT

A mes amis proches et particulièrement les amis d'enfance et ceux que j'ai rencontrés à
l'université

A tous les gens que j'aime dont je n'ai pas cite les noms.

REGHAOUAT ABDELILLAH

Résumé :

Le problème du manque d'eau potable pose au fil du temps un problème difficile dans le désert algérien, où la demande en eau augmente, tandis que les ressources naturelles diminuent ou tendent à disparaître. Il fallait donc trouver un moyen d'obtenir de l'eau potable en dessalant l'eau saumâtre en la reliant à l'énergie solaire.

L'objectif de ce travail est de savoir comment exploiter les eaux saumâtres du désert algérien en reliant les processus de dessalement aux sources d'énergie solaire et en étudiant l'amélioration des performances du système et la consommation d'énergie spécifique en utilisant les dernières technologies en matière de configuration du système, système de pompage, assemblage de membranes, dispositifs et énergie récupération

Pour vérifier l'efficacité du système de dessalement d'eau saumâtre dans le désert algérien, exactement dans la région de Biskra, nous avons utilisé un programme ROSA , Nous avons également étudié la consommation d'énergie à travers un programme SAM (System Advisor Model).

Abstract:

The problem of the lack of drinking water is a difficult problem in the Algerian desert; where the demand for water is increasing, while natural resources are decreasing or tending to disappear. It was therefore necessary to find a way to obtain drinking water by desalinating brackish water by connecting it to solar energy.

The objective of this work is to know how to exploit the brackish water of the Algerian desert by linking the desalination processes to the solar energy sources and by studying the improvement of the system performances and the specific energy consumption by using the last technologies in terms of system configuration, pumping system, membranes assembly, devices and energy recovery

To verify the efficiency of the brackish water desalination system in the Algerian desert, exactly in the region of Biskra, we used a ROSA program; we also studied the energy consumption through a SAM program (System Advisor Model).

الخلاصة:

إن مشكل نقص المياه الصالحة للشرب يطرح مع مرور الوقت مشكل عويص لدى الصحراء الجزائرية، حيث يتزايد الطلبية على المياه في حين أن الموارد الطبيعية تنقص أو تميل إلى الزوال لذلك كان من الضروري اكتشاف طريقة للحصول على ماء صالح للشرب عن طريق تحلية مياه قليلة الملوحة بربطها بالطاقة الشمسية

الهدف من هذا العمل هو كيفية استغلال المياه قليلة الملوحة الموجودة في الصحراء الجزائرية من خلال ربط عمليات التحلية بمصادر الطاقة الشمسية ودراسة تحسين أداء النظام و استهلاك الطاقة المحدد باستخدام أحدث التقنيات فيما يتعلق بتكوين النظام ونظام الضخ وتجميع الأغشية والأجهزة واستعادة الطاقة

و قد قمنا باستخدام برنامج ROSA للتحقق من كفاءة نظام تحلية مياه قليلة الملوحة في الصحراء الجزائرية بالضبط منطقة بسكرة

كما قمنا دراسة استهلاك الطاقة عن طريق برنامج SAM (System Advisor Model)

Liste des abréviations

OMS : Organisation mondiale de la Santé

MSF : Multi-Stage Flash distillation

MED : Distillation à multiples effets.

ED : Électrodialyse.

OI : Osmose Inverse

VC : Compression de Vapeur.

Π : Pression osmotique.(bar)

Y : Taux de conversion.

R : Sélectivité.

ΔP : La différence de pression de part et d'autre de la membrane

$\Delta \Pi$: la différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane.

PV : PHOTOVOLTAIQUE.

ROSA : Analyse du système d'osmose inverse

P : la puissance (watt)

P : la pression (bar)

SAM : système advisor model

Liste des figures

Chapitre I: généralité sur l'eau

Figure I. 1: Une molécule d'eau[1]	1
--	---

Chapitre II: les procédés de dessalement

Figure II. 1: Schéma général d'une installation de dessalement [19].....	9
Figure II. 2: présente les procédés de dessalement les plus utilisés [21].	10
Figure II. 3: Schéma De Principe d'une électrodialyse [22].	11
Figure II. 4: Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) à 3 étages [26].....	14
Figure II. 5: Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED) [26]	15
Figure II. 6: Procédé de dessalement par compression de vapeur (VC) [25]	15

Chapitre III: l'osmose inverse

Figure III. 1: Phénomène de l'osmose [9].....	18
Figure III. 2: Procédé de l'osmose inverse [9].	19
Figure III. 3: Pression osmotique[9].....	19
Figure III. 4: Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse. [27]	21
Figure III. 5: Module à membrane tubulaire [33].....	24
Figure III. 6: Modules à fibres creuses [35].	25
Figure III. 7: Exemple de module à plaques [9].	25
Figure III. 8: Description d'un module spiralé d'osmose inverse [36].	26

Chapitre IV: L'énergie solaire

Figure IV. 1: Représente les différents types des énergies renouvelables.[38]	29
Figure IV. 2: Composantes du rayonnement solaire [41].....	30
Figure IV. 3: Les systèmes de concentration de l'énergie solaire . [47].....	35
Figure IV. 4: capteurs cylindro-paraboliques. [27].....	36
Figure IV. 5: Schéma de principe d'un capteur linéaire de Fresnel. [50]	37
Figure IV. 6: Capteurs solaires paraboliques . [49]	38
Figure IV. 7: Schéma de principe de principe d'une centrale à tour. [52]	39
Figure IV. 8: Système PV autonome ou isolé [55]	41
Figure IV. 9: Systèmes photovoltaïque connectés au réseau [56]	42
Figure IV. 10: Système PV hybride[58]	42

Chapitre V:Modelisation et résultats

Figure V. 1:Informations sur le projet au programme ROSA.....	45
Figure V. 2:Les données sur l'eau d'alimentation au programme ROSA	46
Figure V. 3:Configuration du système au programme ROSA.....	47
Figure V. 4:Configuration du système au programme ROSA.(flow calculator).....	47
Figure V. 5:rapport au programme ROSA	48
Figure V. 6:Page d'accueil du logiciel System Advisor Model 2018.....	51
Figure V. 7:Modèle de performance et financier	51
Figure V. 8:Paramètres climatiques sur SAM.....	52
Figure V. 9:Paramètres climatiques sur SAM pour utiliser un fichier solaire	53
Figure V. 10:Paramètres climatiques sur SAM de ville biskra.....	54
Figure V. 11:Paramètres de system desing (1) sur SAM	54
Figure V. 12Paramètres de system desing (2) sur sam	55
Figure V. 13:système costs (1) sur SAM.....	56
Figure V. 14:système costs(2) sur SAM.....	56
Figure V. 15:rayonnement global pendent l'année sur SAM.....	57
Figure V. 16:l'irradiation solaire au cours de l'année sur SAM.....	57
Figure V. 17: rayonnement diffus au cour de l'année sur SAM	58
Figure V. 18:Vitesse du vent au cours de l'année.....	59
Figure V. 19:Puissance du système générée sur SAM	59
Figure V. 20:% de points de données Au cour de puissance du système générée sur SAM	60
Figure V. 21:Résultats pour chaque cas dans le fichier de projet	61

Liste des tableaux

Chapitre I:généralité sur l'eau

Tableau I. 1:Classification des eaux selon la salinité [4].....	2
Tableau I. 2:Consommation mondiale d'eau par habitant[15].....	7

ChapitreIV:L'energie solaire

Tableau IV. 1: Potontiel solaire en l'algerie [43].....	32
Tableau IV. 2:classification des capteurs solaires [44]	34

Chapitre V:Modelisation et résultats

Tableau V. 1: Les résultats obtenus par ROSA.....	48
Tableau V. 2: Les résultats obtenus par ROSA pour plusieurs type de membrane et débit de permeat	49
Tableau V. 3:Paramètres climatiques de biskra	53

Remerciement

DEDICACE

Résumé

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction général

Sommaire

Chapitre I: généralité sur l'eau

1. Introduction :	1
2. L'eau :	1
3. Répartition de l'eau sur la planète :	1
4. Classification des eaux :	2
5. Différents états de l'eau :	2
5.1. L'état de vapeur (état gazeux) :	2
5.2. L'état solide (glace) :	2
5.3. Liquide :	3
6. Catégories de l'eau	3
6.1. Eau de source :	3
6.2. Eau minérale :	3
6.3. L'eau potable :	3
7. Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation :	3
7.1. Les paramètres physico-chimiques :	3
7.2. Les paramètres organoleptiques :	4
7.3. Les paramètres microbiologiques :	4
7.4. Les paramètres liés aux substances indésirables :	4
7.5. Les paramètres liés aux substances toxiques :	5
8. Caractéristiques des eaux :	5
8.1. Les eaux marines :	5
8.2. Les eaux saumâtres :	5

9. L'EAU EN ALGERIE :	6
9.1. L'eau dans le sud Algérien	6
10. Le problème de consommation de l'eau dans le monde :	6
11. Le problème de consommation de l'eau en Algérie :	7
12. Conclusion :	8

ChapitreII:les procédés de dessalement

1. introduction:	9
2.Schéma général d'une installation de dessalement :	9
3.Les différents procédés de dessalement :	9
3.1. Les procédés membranaires :	10
3.1.1.Electrodialyse (ED) à membrane sélectiev:	10
3.1.2.L'osmose inverse (OI) :	12
3.2. Distillation :	12
3.2.1. Le procédé de distillation à détente étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF) :..	12
3.2.2. Le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED) :.....	14
3.2.3.Distillation par compression de vapeur (VC) :	15
4.Conclusion :	16

Chapitre III:l'osmose inverse

1.Introduction :	17
2.Définition sur les membrane :	17
3. Principe L'Osmose inverse (OI) :	18
2.1.l'osmose:	18
3.2. l'osmose inverse :	18
4. Pression osmotique :	19
5.Mécanisme de transfert :	20
6. Schéma général d'une installation d'osmose inverse :	21
7.Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse :	21
8.Type de membranes d'osmose inverse :	22
8.1.Membranes organiques :	22
8.2.Membranes minérales ou inorganiques :	22
8.3.Membranes composites :	22
8.4.Membranes à charge électrique :	23
9. Durée de vie des membranes :	23
10. Les modules d'osmose inverse.....	23
10.1. Définition des modules:	23
10.2.Les types de modules :	23

10.2.1. Les modules tubulaires :	24
10.2.2. Les modules à fibres creuses:	24
10.2.3. Modules à plaques:	25
10.2.4. Les modules spiralés:	26
11. La consommation énergétique et le coût de l'osmose inverse :	26
12. Les avantages et inconvénients de l'osmose inverse:	27
12.1. Les avantages:	27
12.2. Les inconvénients :	27
13. Conclusion :	28

Chapitre IV: L'énergie solaire

1. Introduction :	29
2. Energies Renouvelables :	29
2.1. Les différents types des Energies Renouvelables :	29
3. Energie solaire :	30
4. Conversion de l'énergie solaire :	30
5. Rayonnement solaire :	30
5.1. Composantes du rayonnement solaire :	30
6. Le gisement solaire :	31
6.1. Potentiel solaire en Algérie :	31
7. Les capteurs solaires :	32
7.1. capteurs solaires thermiques :	32
7.1.1. Principe des capteurs solaires thermiques :	32
7.1.2. Classification des capteurs thermiques :	33
7.1.3 : Capteur à concentration :	35
7.1.4. Les différents types de centrales thermodynamiques :	35
7.2. SYSTEME SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE :	39
7.2.1. Définition :	39
7.2.2. types de systèmes photovoltaïques :	40
7.3. les avantages et les inconvénients de système photovoltaïque :	43

Chapitre V: Modélisation et résultats

Introduction :	44
I. Partie 01 : Calcul des besoins énergétiques pour le dessalement	44
1.1. Présentation du logiciel ROSA :	44
1.1.1. Description du modèle	44
1.1.2. Dow / Film Tec-ROSA:	44
1.2. Les données du problème :	44

1.2.1. Information sur le projet (Project information):.....	44
1.2.2. Données sur l'eau d'alimentation (Feed water Data):.....	45
2.2.3. Configuration du système (System configuration):	46
2.2.4. Rapport (Report):.....	48
2.3. Résultats	48
2.3.1. Etude paramétrique :	49
2. Partie II : Calcul et Dimensionnement de l'installation solaire photovoltaïque.....	50
2.1. Présentation du logiciel SAM :	50
2.2. Les paramètres d'entrée :	50
2.2.1. Location and Resource:	52
2.2.2. Système desing	54
2.2.3. System costs :	55
2.3. Discussions et interprétation des résultats de la simulation	56
2.3.1. Les paramètres de sortie	60

CONCLUSION GENERALE

Référence bibliographie

Introduction général :

L'eau est une substance essentielle à la survie et au développement de l'humanité, car elle couvre 73% de la surface de la Terre

La crise de l'eau potable dans le désert algérien ne cesse de s'aggraver, et pour résoudre cette crise, notre pays, qui possède des ressources en eaux saumâtres souterraines et une source d'énergie solaire, doit faire face à cette crise en utilisant des techniques de dessalement considérées comme une solution.

Attractif pour ce problème, le dessalement des eaux saumâtres est connu depuis l'Antiquité et constitue une solution fiable utilisée par de nombreux pays, les procédés de dessalement se divisent en deux grandes catégories, à savoir : (i) la distillation thermique, qui s'est fortement développée depuis la fin des années quarante ; (ii) et les procédés membranaires apparus à la fin des années 60 et l'un des principaux procédés membranaires est l'osmose inverse (OI).

Le dessalement de l'eau à l'aide d'énergies renouvelables comme le solaire fait l'objet de plus en plus de travaux dans le désert algérien. L'osmose inverse présente l'intérêt de pouvoir fonctionner à température ambiante et de produire une eau de qualité bonne et constante quelles que soient les variations de la qualité de l'eau brute. Le taux de rejet de sels peut être supérieur à 99 %

L'objectif de ce travail consiste à faire une étude sur dessalement membranaire et solaire de l'eau saumâtre pour les zones arides.

Le manuscrit se décompose en deux parties principales A et B, qui elles-mêmes sont divisées en plusieurs chapitres :

La première partie (partie A) de ce travail est relative à l'étude bibliographique, elle comporte quatre chapitres :

- Chapitre I : Une étude bibliographique sur généralités de l'eau

- Chapitre II : Il est consacré à la présentation de la connaissance générale sur les techniques de dessalement
- Chapitre III : Une étude théorique sur la filière de dessalement de l'eau saumâtre par le procédé d'osmose inverse.
- Chapitre IV : Il se compose d'informations et de connaissances sur l'énergie solaire.

La seconde partie (partie B) est orientée vers la modélisation du dessalement et l'énergie solaire en utilisant les codes ROSA et SAM.

- Chapitre V : modélisation et résultats

Chapitre I :

Généralités sur

l'eau

1. Introduction :

Il y a environ 4 milliards d'années, l'eau est apparue pour la première fois sur la terre. Seulement 28 % de la surface de la terre n'est pas recouverte d'eau. Son volume (environ 1,4 milliard de kilomètres carrés) reste stable à l'échelle mondiale, c'est toujours la même eau, qui circule et se transforme constamment dans le cycle de l'eau. En effet, l'eau change de forme et existe sur la terre sous trois états : liquide, solide ou gazeux [1]

2. L'eau :

L'eau est un corps incolore, inodore et sans saveur. C'est un composé chimique simple, sa formule chimique est H_2O , c'est -à- dire que chaque molécule d'eau est constituée d'un atome d'oxygène (O) relié à deux atomes d'hydrogènes (H) par deux liaisons covalentes simples, formant un angle de $104,5^\circ C$. La représentation de la molécule d'eau sous sa forme compacte donne une image de la forme réelle de la molécule et de l'encombrement des atomes qui la constitue [2]

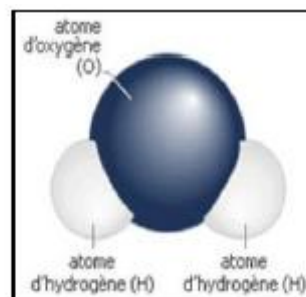


Figure I. 1: Une molécule d'eau[1]

3. Répartition de l'eau sur la planète :

L'eau couvre 72% de la surface terrestre de 509 millions de kilomètres carrés. C'est ainsi que nous appelons la terre la planète bleue. Son volume est estimé à environ 1,4 milliard de kilomètres cubes. Cela représente un cube avec des côtés plus longs que 1000 kilomètres. Ces volumes d'eau sont restés stables au fil des ans.

La teneur en sel de l'eau de la planète bleue est de 97,2 %. Cette eau salée existe dans les océans et les mers intérieures, mais aussi dans certaines nappes phréatiques. L'eau douce représente 2,8% du volume total d'eau dans le monde. De ce petit pourcentage, la glace polaire représentait 2,1 % et l'eau douce disponible 0,7 %.

Bien qu'il semble qu'il y ait de l'eau à la surface de la terre, il faut se rappeler qu'elle est également contenue à différentes profondeurs et à toutes les températures de la terre. Ici, elle joue également un rôle important (modèle relief, mouvement des plaques, transformation du magma et des roches, géothermie). [3]

4. Classification des eaux :

Lorsque nous classons l'eau en fonction de la quantité de substances dissoutes contenues dans l'eau, nous obtenons les données répertoriées dans le tableau I.1. L'eau saumâtre provient généralement des eaux souterraines et contient généralement de 2 000 à 10 000 mg/L de matière dissoute. D'ailleurs, l'effluent de la station d'épuration (traitement biologique) contient environ 750 mg/L de substances dissoutes [4]

Tableau I. 1: Classification des eaux selon la salinité [4]

Type d'eau	Degré de Salinité (mg/L)
Eau douce	<500
Eau légèrement saumâtre	1000 à 5000
Eau modérément saumâtre	5000 à 15000
Eau très saumâtre	15000 à 35000
Eau de mer	35000 à 42000

5. Différents états de l'eau :

5.1. L'état de vapeur (état gazeux) :

Il est obtenu à partir de 100 °C à la pression atmosphérique, les molécules sont relativement indépendantes les unes des autres et correspondent exactement à la formule H₂O et plus particulièrement au modèle angulaire [5]

5.2. L'état solide (glace) :

Lorsque la température de la glace est inférieure à la température de fusion de 0°C, la glace est de l'eau solide. Cependant, en l'absence de cristaux de glace, l'eau plate peut être refroidie à moins de 0°C sans geler. [6]

5.3. Liquide :

Au cours de la fusion de la glace, les liaisons hydrogène se rompent, le cristal s'effondre et les molécules se rapprochent les unes des autres, la masse volumique augmente jusqu'à une valeur maximale correspondant à une température de 4°C sous 1 atmosphère [5]

6. Catégories de l'eau

6.1. Eau de source :

Selon la loi fédérale sur les aliments, l'eau de source est une eau potable qui provient d'une source souterraine. C'est une eau naturelle, dont la composition doit être identique à celle de l'eau à sa source. Sa teneur en minéraux dissous est inférieure à 500 parties par million (ppm).[7]

6.2. Eau minérale :

Cette eau provient aussi d'une source souterraine. Elle possède les mêmes caractéristiques que l'eau de source, sauf qu'elle contient une quantité de minéraux dissous égale ou supérieure à 500 ppm [7]

6.3. L'eau potable :

L'eau potable est une eau que l'on peut boire ou utiliser à des fins domestiques et industrielles sans risque pour la santé. Elle peut être distribuée sous forme d'eau en bouteille (eau minérale ou eau de source, eau plate ou eau gazeuse), d'eau courante (eau du robinet) ou encore dans des citernes pour un usage industriel. [8]

7. Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation :

. Il existe cinq catégories de paramètres de l'eau potable :

7.1. Les paramètres physico-chimiques :

Température : La température d'une eau potable devrait être inférieure en été et supérieure en hiver à la température de l'air. Pour que l'eau potable soit désaltérante, sa température doit situer entre 8 et 15°C. L'OMS ne recommande aucune valeur.

Pratiquement, la température de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la santé humaine, cependant, une température supérieure à 15 °C favorise le développement des microorganismes dans les canalisations en même temps qu'elle peut intensifier les odeurs et les saveurs. Par contre, une température inférieure à 10 °C ralentit les réactions chimiques dans les différents traitements d'eau [9].

La dureté : La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et H^+ . Elle est souvent due aux ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de CaCO_3 par litre. On l'exprime aussi en degré français [9].

PH : Le pH exprime l'acidité ou l'alcalinité suivant qu'il se trouve dans la bande de 0 à 7 ou de 7 à 14, le 7 constitue la neutralité du milieu. Le pH est indissociable de la température de l'oxygène dissous, de la minéralisation totale. La mesure du pH grâce à un PH-MÈTRE ou un comparateur colorimétrique approprié est tout à fait valable pour déterminer la concentration de l'ion d'hydrogène et l'ion d'hydroxyde [9]

La minéralisation : La minéralisation est la concentration en sel dissous (Sulfates, Chlore, Sodium, Magnésium, Aluminium) [9]

7.2. Les paramètres organoleptiques :

Le goût : Ensemble complexe des sensations olfactives, gustatives perçues au cours de la dégustation, il doit être non désagréable [10].

L'odeur

Les odeurs résultent de la présence des substances volatiles dans l'eau qui peuvent être minérales ou organiques en solution telle que (NH_3 , H_2S) (Rejsek, 2002). L'odeur de l'eau signifie généralement un indice de fermentation microbienne et un signe de pollution [11]

La couleur

La couleur de l'eau est due aux différents éléments qui s'y trouvent à l'état dissous ou colloïdal. Une eau colorée n'est pas agréable pour l'usage domestique et en particulier pour la boisson, car elle provoque toujours un doute sur la potabilité [11]

7.3. Les paramètres microbiologiques :

Ils permettent de contrôler que l'eau ne contient aucun germe pathogène, comme les virus, les bactéries ou les parasites, pouvant provoquer des maladies, voire de épidémies.[8]

7.4. Les paramètres liés aux substances indésirables :

Ils concernent les substances telles que les nitrates, les nitrites et les pesticides.

- La teneur en nitrates ne doit pas dépasser 50 mg/l

- La teneur en fluor doit être inférieure à 1.5 mg/l [8]

7.5. Les paramètres liés aux substances toxiques :

Les micropolluants tels que l'arsenic, le cyanure, le chrome, le nickel, le sélénium et certains hydrocarbures sont soumis à des normes très strictes en raison de leur toxicité. Leur contenu admissible est d'environ un millionième de gramme [8]

8. Caractéristiques des eaux :

8.1. Les eaux marines :

La caractéristique la plus importante de l'eau de mer est sa salinité, qui est la teneur totale en sel (chlorure de sodium et chlorure de magnésium, sulfate, carbonate). La salinité moyenne des océans et des eaux marines est de 35 gL⁻¹ (27,2 gL⁻¹ NaCl, 3,8 gL⁻¹ MgCl₂, 1,7 gL⁻¹ MgSO₄, 1,26 gL⁻¹ CaSO₄, 0,86 gL⁻¹ K₂SO₄). En cas de mer fermée, cette salinité peut varier : Mer Méditerranée : 36 à 39 g.L⁻¹, Mer Rouge : environ 40 g.L⁻¹, Mer Caspienne : 13 g.L⁻¹, Mer Morte : 270 g.L⁻¹, Golfe Arabique : 36 à 39 g.L

-Le pH moyen de l'eau de mer varie entre 7,5 et 8,4 : l'eau de mer est un milieu légèrement alcalin [12]

8.2. Les eaux saumâtres :

L'eau saumâtre est une eau salée non potable avec une salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent 1 à 10 grammes de sel par litre. Parfois, il s'agit d'eau de surface, mais la plus courante est l'eau souterraine, qui est riche en sel en dissolvant une partie du sel présent dans le sol. Par conséquent, leur composition dépend de la nature du sol traversant et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont CaCO₃, CaSO₄, MgCO₃ et NaCl [6]

9. L'EAU EN ALGERIE :

L'Algérie est caractérisé par un climat aride à semi-aride, des précipitations agressives et des régimes hydrologiques irréguliers, des bassins versants composés de formations géologiques à dominance marneuse. Conséquences de ces contraintes hydroclimatiques et physiques une érosion du sol entraînant l'envasement des barrages (perte de 800 millions de m³ soit 13% de la capacité globale), irrégularité des écoulements et une sécheresse intense et persistante qui est prise en compte impérativement dans la stratégie de planification, d'aménagement et de gestion des ressources en eau. [14]

9.1. L'eau dans le sud Algérien

Le sud Algérien couvre 85 % du territoire national, avec une superficie d'environ 2,156×10⁶ km², et une population qui a dépassé aujourd'hui les trois millions d'habitants. Il est considéré comme une zone désertique, où les précipitations sont quasi nulles, les crues sont violentes et dévastatrices : le charriage est considérable et l'érosion participe au transport solide dans les cours d'eau avec un débit appréciable [15]

La province de Biskra comprend trois grands sous-bassins, à savoir la vallée de l'Oued Djeddi, le bassin d'El Outaya et la plaine de Biskra. Le potentiel total de la province est d'environ 2 113,86 Hm³/an, dont 2 042,43 Hm³/an, soit 96,6 % du potentiel provient du forage et des puits [16]

10. Le problème de consommation de l'eau dans le monde :

A l'échelle mondiale, les ressources en eau potable sont réparties entre trois types de besoin, les besoins agricoles représentent 70 % des ressources en eau utilisées, suivis des besoins industriels avec 22 %, et enfin les besoins domestiques estimés à 8 %. Ces chiffres représentent une moyenne mondiale ponctuelle évoluant dans le temps et dans l'espace. Ils évoluent différemment d'un continent à l'autre et entre les pays mais ils nous renseignent sur la consommation dominante du secteur agricole, secteur qui consomme près de trois quarts des ressources en eau dans la majorité des pays. Cela ne peut se faire qu'au détriment des autres utilisateurs et notamment les populations. Le niveau de consommation d'eau potable d'un pays, comme celui de l'énergie, est devenu un indicateur de son niveau de développement économique, comme le montre le tableau (I.2) [15]

Tableau I. 2: Consommation mondiale d'eau par habitant[15]

La zone	Consommation en (m ³ /habitant. Jour)	Consommation en (L/habitant. Jour)
Afrique	17	47
Asie	31	87
Europe	122	334
USA, Japon	210	587
Moyenne mondiale	50	137

11. Le problème de consommation de l'eau en Algérie :

En Algérie, les besoins en eau potable et en eau pour usage industriel se font de plus en plus ressentir, surtout dans les régions sahariennes dont la superficie avoisine les deux millions de km² et où les eaux souterraines sont disponibles en grande quantité environ 60×10³ milliards de m³. Ces dernières sont difficilement exploitables et difficilement renouvelables ; or de 4 à 5 milliards de m³ seulement sont exploitables annuellement malgré que la plupart de ces eaux sont saumâtres. Dans le Nord de l'Algérie, les eaux souterraines sont évaluées à 1,8 milliards de m³ dans leur état naturel, ces eaux sont inutilisables alors qu'elles peuvent constituer un facteur important de développement et d'amélioration des conditions de vie dans ces régions.

L'Algérie occupe actuellement le 14^{ème} rang mondial parmi les pays qui souffrent du manque d'eau, et s'il n'y'aura pas de démarches efficaces, elle sautera à la 6^{ème} place d'ici l'an 2025

L'Algérie reçoit 65 milliards de mètres cubes de pluie par an dont : [17]

- 15 milliards se dirigent vers les rivières.
- 3 milliards alimentent les eaux souterraines.
- 47 milliards s'évaporent dans l'atmosphère

12. Conclusion :

L'eau est l'élément clé de la vie, la source originelle de l'humanité et une matière première importante pour la survie de notre société. En fait, l'eau est le fondement de toute vie humaine sur terre.

L'eau pure est incolore, inodore et insipide. D'un point de vue biologique, l'eau potable n'est pas seulement un besoin humain fondamental

Chapitre

II:

Les procédés de dessalement

1. introduction:

Le dessalement est une ressource d'eau alternative et complémentaire. Le dessalement d'eau est un des leviers de la stratégie nationale du secteur de l'eau, basée sur le principe de la gestion intégrée et durable des ressources en eau [00]. Le choix de la solution « dessalement » doit faire l'objet d'une comparaison technico-économique avec le transfert de l'eau douce. Le dessalement permet :

- Le renforcement des ressources en eau
- L'amélioration de la qualité de l'eau distribuée [18].

2. Schéma général d'une installation de dessalement :

Voici le schéma général adopté dans le cas du dessalement de l'eau de mer ou d'eaux saumâtres:[20]

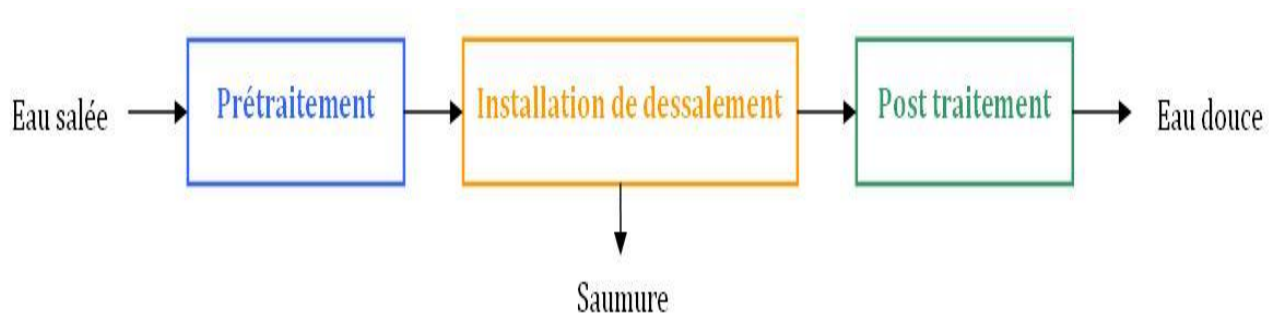


Figure II. 1: Schéma général d'une installation de dessalement [19]

3. Les différents procédés de dessalement :

La technologie actuelle de dessalement d'eau de mer ou d'eaux saumâtres se divise en deux catégories. Selon le principe d'application, on distingue :

- Procédés utilisant des membranes : osmose inverse et électrodialyse.
- Procédés thermiques impliquant des transitions de phases : congélation et distillation.

Parmi les procédés ci-dessus, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies aux performances éprouvées dans le dessalement de l'eau de mer, et ces deux procédés sont les plus vendus sur le marché mondial du dessalement de l'eau de mer. En raison de problèmes généralement associés à la consommation d'énergie et/ou à l'ampleur des investissements requis, les autres technologies n'ont pas connu d'essor significatif dans ce domaine. [20].

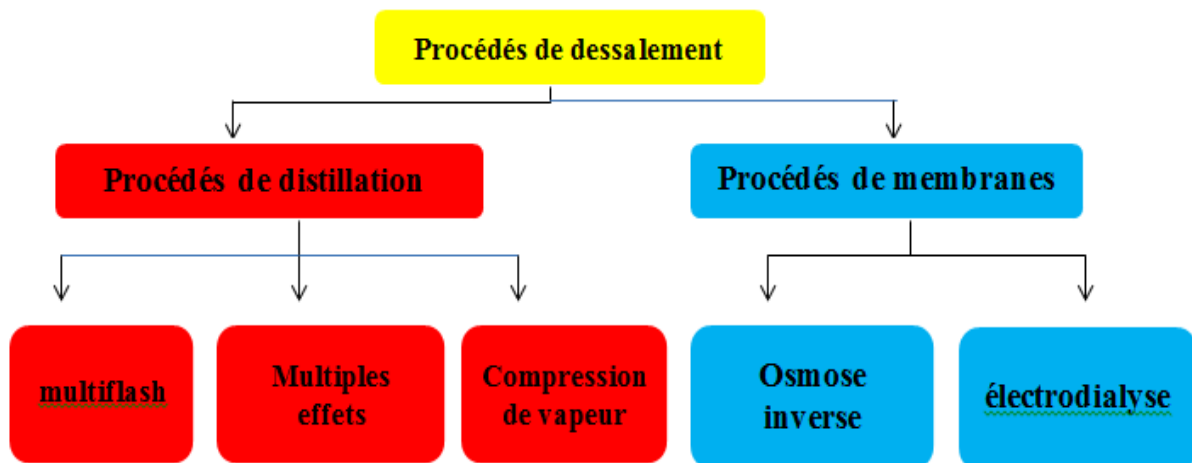


Figure II. 2: présente les procédés de dessalement les plus utilisés [21].

3.1. Les procédés membranaires :

3.1.1. Electrolyse (ED) à membrane sélective:

Le terme « électrodialyse » désigne le transfert d'ions à travers la membrane sous l'action d'un champ électrique.

Il s'agit d'un procédé membranaire très ancien, car la première application remonte aux années 1960 . Afin de répondre notamment à la demande en eau potable du Japon, l'électrodialyse a été développée en tant que procédé de dessalement d'eau de mer à l'échelle industrielle. Comparé à d'autres procédés de production physiques et chimiques (tels que l'extraction liquide-liquide, la précipitation ou l'échange d'ions résine), ce procédé physique peut réduire l'impact sur l'environnement, et ces procédés sont plus polluants.[22]

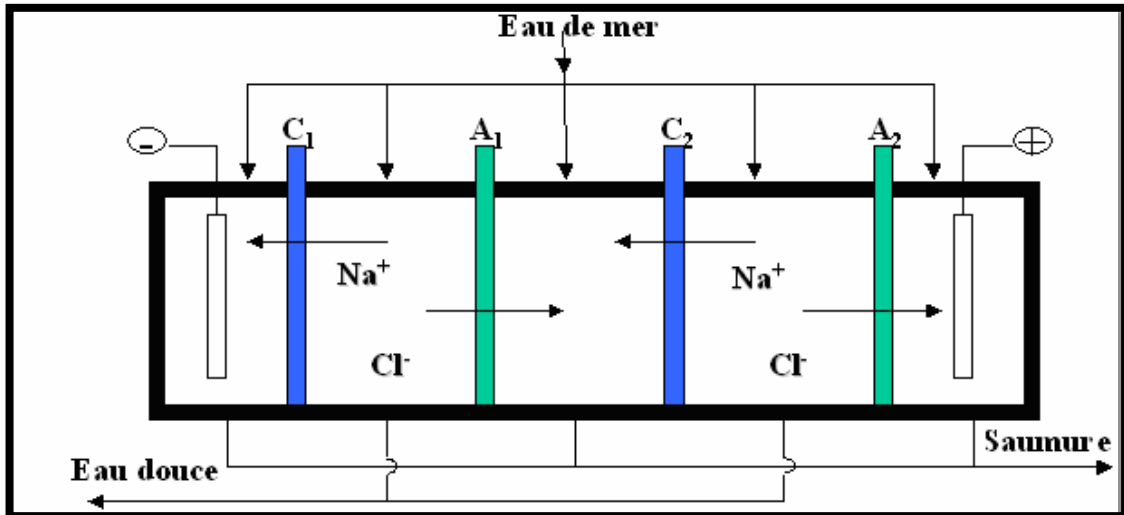


Figure II. 3: Schéma De Principe d'une électrodialyse [22].

En fait, l'électrodialyse a été surtout envisagée jusqu'ici pour le dessalement d'eaux saumâtres, dont la salinité n'excède pas 1%, le procédé n'étant pas rentable pour des teneurs en sels supérieures, les membranes étant en effet très sensibles, la moindre impureté en solution ou en suspension peut les endommager. Pour prolonger la vie des membranes, il peut être nécessaire d'effectuer un pré traitement, parfois coûteux. L'électrodialyse n'est pas non plus pratiquée pour traiter les eaux à moins de 0.04% de sels. Malgré ces limitations, plusieurs petites usines de dessalement par électrodialyse sont exploitées dans le monde sur des bases commerciales [23].

- **Principe de fonctionnement:**

Le compartiment est alimenté en solution saline (généralement NaCl : Na⁺ et Cl⁻). Sous l'action du courant électrique, les cations de la solution saline se déplacent vers la cathode et les anions se déplacent vers l'anode. La membrane bleue est perméable aux cations et la membrane verte est perméable aux anions. Par conséquent, dans chaque compartiment, la concentration en ions va augmenter (compartiment de concentration) ou diminuer (compartiment de déminéralisation). Nous aurons de l'eau douce ou de l'eau salée. [22]

3.1.2. L'osmose inverse (OI) :

L'osmose est un phénomène qui tend à équilibrer la concentration en soluté de part et d'autre d'une membrane semi-perméable. C'est un phénomène naturel, notamment à travers les membranes cellulaires.

Le phénomène d'osmose va se traduire par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau va s'annuler. Si pour simplifier, on suppose que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique. Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique, c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée ; c'est le phénomène d'osmose inverse [24]

3.2. Distillation :

Le procédé de séparation par distillation implique un simple changement de phase de la saumure : en agissant sur l'augmentation de température et/ou la baisse de pression, la saumure passe d'un état liquide à un état gazeux. L'eau chauffée s'évapore, le sel va précipiter, puis on obtient de l'eau douce par condensation de vapeur d'eau et méditation avec des organes spéciaux. Par conséquent, la séparation par distillation est basée sur la technologie de vaporisation.

Trois procédés se partagent le marché du dessalement thermique : le procédé de distillation par expansion par étapes (MSF), la distillation multi-effets MED et la compression de vapeur (VC).[25]

3.2.1. Le procédé de distillation à détente étagée (Multi-Stage Flash distillation 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 (voir Figure II- 4) 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. C'est l'eau de mer chaude qui se refroidit

pour fournir la chaleur de vaporisation, l'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Le phénomène de flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détentes successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.

Pour chauffer l'eau de mer jusqu'à 120 °C, l'eau de mer circule d'abord dans les tubes des condenseurs des différents étages en commençant d'abord par le dernier étage où la température est la plus faible, elle est alors préchauffée en récupérant la chaleur de condensation de la vapeur d'eau. Elle est finalement portée à 120 °C grâce à de la vapeur à une température supérieure à 120 °C produite par une chaudière ou provenant d'une centrale de production d'électricité.

On remarque lors du phénomène de flash que des gouttelettes d'eau salée peuvent être entraînées avec la vapeur, elles sont séparées grâce à un dévésiculateur constitué par une sorte de grillage qui limite le passage des gouttelettes qui retombent alors au fond de l'enceinte.

L'avantage principal du procédé MSF est que l'évaporation de l'eau de mer ne se produit pas autour des tubes de chauffe puisque le liquide « flashe » ceci limite les risques d'entartrage.

L'énergie requise est principalement l'énergie thermique à fournir à la chaudière, cette énergie peut être peu coûteuse si on récupère de la vapeur basse pression à la sortie d'une turbine de centrale électrique. Il faut également fournir de l'énergie électrique pour les pompes de circulation de l'eau de mer.

Le procédé MSF ne permet pas une flexibilité d'exploitation. Aucune variation de production n'est tolérée, c'est pourquoi ce procédé est surtout utilisé pour les très grandes capacités de plusieurs centaines de milliers de m³ d'eau dessalée par jour.[26]

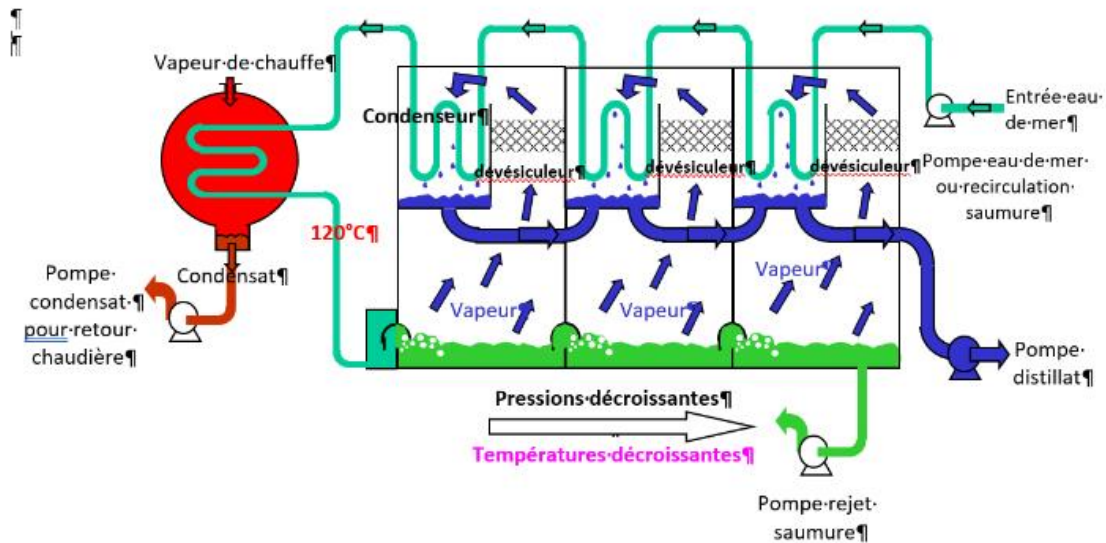


Figure II. 4: Principe de fonctionnement d'un système par détonations successives (MSF) à 3 étages [26]

3.2.2. Le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED) :

Le procédé repose sur le principe de l'évaporation d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température comprise entre 70 et 80°C sous pression réduite. L'évaporation de l'eau a lieu sur la surface d'échange, ce qui est différent du cas du procédé précédent, qui est assuré par des phases successives de détente. La chaleur transférée à travers la surface est fournie par la vapeur produite par la chaudière ou l'eau chaude de l'échangeur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le premier effet est condensée dans le deuxième effet avec une pression plus faible pour produire de l'eau douce, ainsi la chaleur de condensation qu'elle dégage peut évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le deuxième effet, et ainsi de suite (voir figure II- 5). Par conséquent, seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet provient de l'extérieur. Ainsi, multiplier le nombre d'effets permet de réduire la consommation spécifique (m³ d'énergie/eau douce produite) [26]

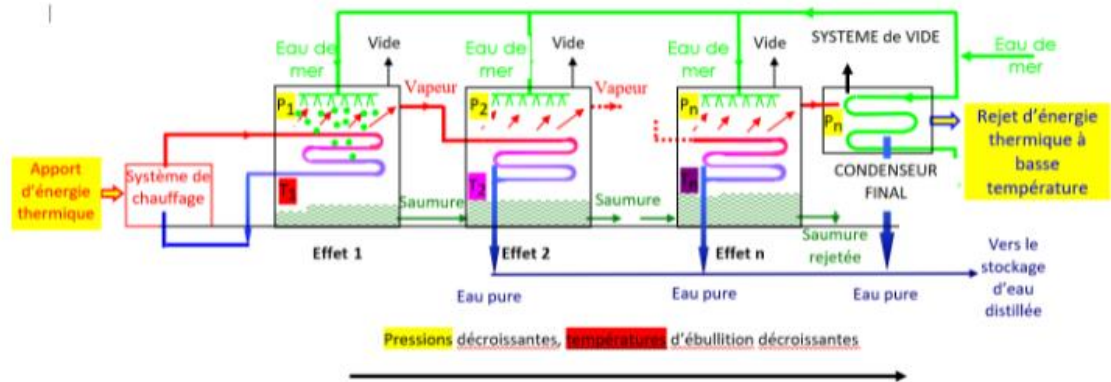


Figure II. 5:Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED) [26]

3.2.3. Distillation par compression de vapeur (VC) :

Le dessalement par compression de vapeur consiste à pressuriser la vapeur d'eau de mer pour la chauffer, puis à la réintroduire dans la même chambre, la condensant en évaporant une autre quantité d'eau de mer.

Un éjecteur (compression thermique) peut être utilisé pour comprimer la vapeur d'un générateur de vapeur, ou un compresseur peut être utilisé, puis la vapeur peut être comprimée mécaniquement pour le dessalement. La condensation de la vapeur provoque un échauffement de la saumure, et la saumure s'évapore sous l'effet de la chute de pression.[25]

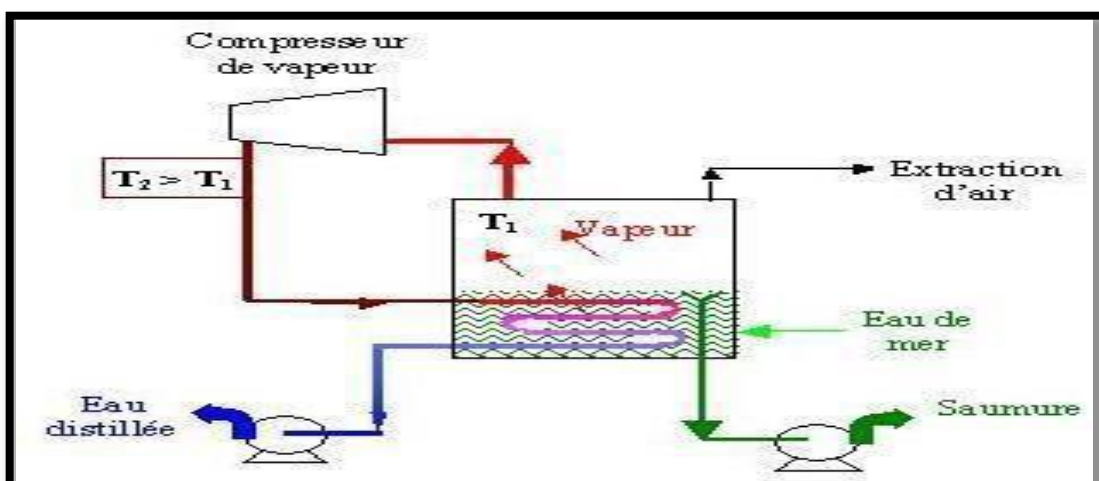


Figure II. 6: Procédé de dessalement par compression de vapeur (VC) [25]

4.Conclusion :

Toutes les techniques de dessalement sont très intéressantes au vu de leurs performances et de leur rentabilité. Le dessalement est une technologie d'avenir mais il faut l'utiliser en dernier recours et quand aucune autre solution n'est possible

Chapitre

III :

L'osmose inverse

1.Introduction :

L'osmose est un phénomène essentiel pour les équilibres biologiques. mais Le procédé industriel est appelé « osmose inverse », utilisant la haute pression P.(supérieure à la pression osmotique), la saumure est forcée de traverser Un compartiment avec la plus grande concentration de sel dans un compartiment d'eau douce. comme lundi Les compartiments sont séparés par une membrane, et en fait le compartiment d'eau douce a été enrichi en eau douce. En effet, si l'on laisse faire la nature sans imposer de membrane ni pression, l'eau douce se chargera de sel et l'eau salée se diluera

L'osmose inverse utilise des membranes denses qui laissent passer l'eau et arrêtent tous les sels. Cette technique est utilisée pour :

- Le dessalement des eaux de mer .
- Le dessalement des eaux saumâtres .
- La production d'eau ultra pure .
- La production d'eau de process...[9]

2.Définition sur les membrane :

La membrane est une paroi mince qui permet de séparer sélectivement des espèces chimiques, ioniques, moléculaires ou biologiques : elle agit comme un « nanofiltre ». Les pores des membranes sont de l'ordre du nanomètre, allant de 1 à 100 selon la destination de ces membranes.

Deux types de membranes sont utilisées pour le traitement de l'eau :

- -Membrane symétrique (ou isotrope), qui a les mêmes caractéristiques dans toute son épaisseur.
- -Membrane asymétrique (ou anisotrope), dont la structure composite change vers l'intérieur à partir de la surface de la membrane.

Ces membranes sont généralement supportées, c'est-à-dire fixées sur un support pour leur conférer une bonne stabilité mécanique. [27]

3. Principe L'Osмосe inverse (OI) :

2.1. l'osmose:

L'osmose est basée sur le principe fondamental de l'équilibre. Lorsque deux liquides contenant différentes concentrations de solides dissous sont mis en contact, ceux-ci se mélangent jusqu'à uniformisation des concentrations. Lorsque ces deux liquides sont séparés par une membrane semi-perméable (laquelle laisse passer les liquides tandis que les solides dissous restent dans leur compartiment), le liquide contenant la plus faible concentration de solides dissous va traverser la membrane pour aller dans le liquide contenant la plus forte concentration de solides dissous. Après un temps donné, le niveau de l'eau sera plus élevé d'un côté de la membrane. La différence de hauteur est appelée pression osmotique [9]

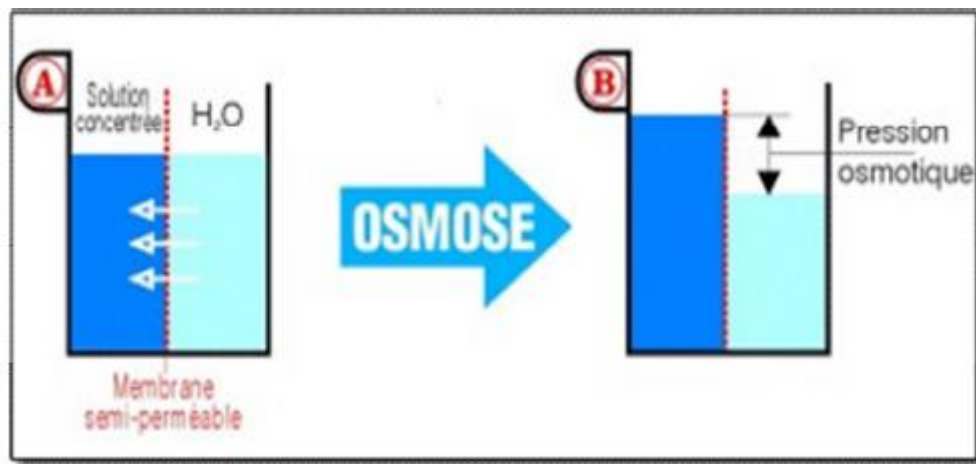


Figure III. 1: Phénomène de l'osmose [9]

3.2. l'osmose inverse :

L'osmose inverse consiste à faire passer l'eau à travers des membranes semi-perméables sous l'effet de la pression différentielle de la solution concentrée vers la solution diluée. Le taux d'élimination est exprimé en pourcentage de la salinité totale, la réduction de salinité de l'eau saumâtre est supérieure à 92% contre plus de 98,5% pour l'eau de mer [9].

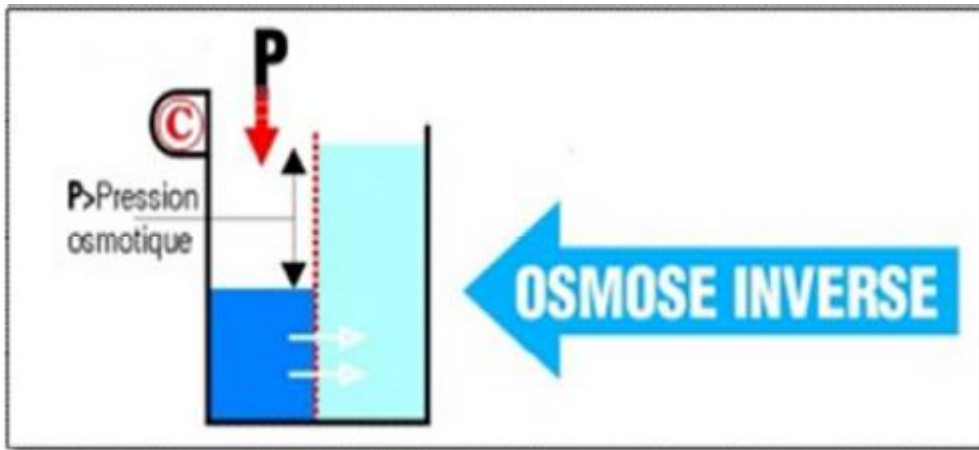


Figure III. 2: Procédé de l'osmose inverse [9].

4. Pression osmotique :

La pression osmotique peut être calculée par la loi de Vanter Hoff, qui stipule que la pression osmotique exercée par un soluté est égale à la pression (T) exercée par l'objet dans le même volume (V) et à la même température dans un état gazeux parfait. Si le soluté est décomposé en i ions, la pression osmotique augmentera i fois.

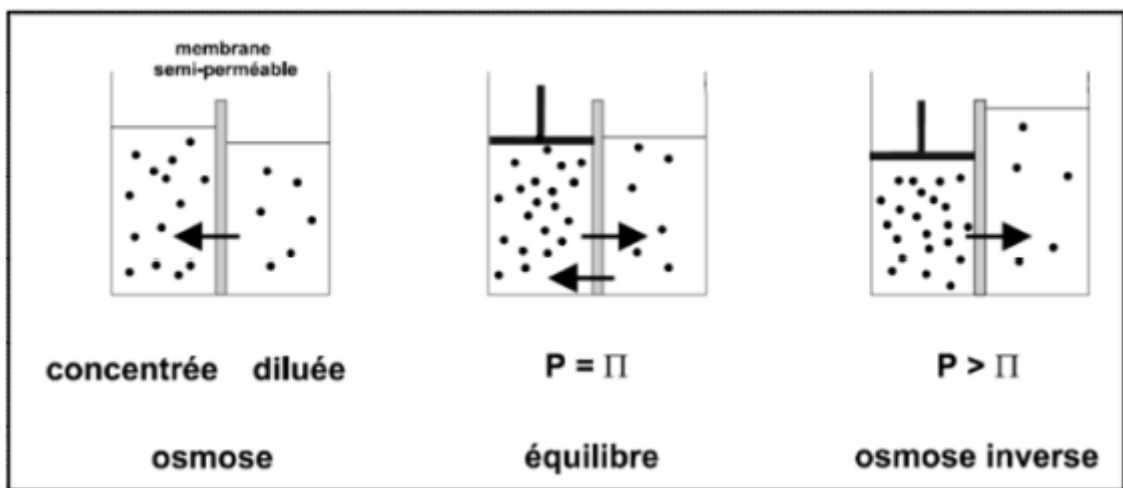


Figure III. 3: Pression osmotique [9]

La pression osmotique d'une solution est proportionnelle à la concentration en solutés :

$$\Pi = i.C.R.T$$

Avec :

Π Pression osmotique (bar)

i Nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte

C Concentration molaire (mol.L⁻¹)

R Constante des gaz parfaits (0,082 L.bar.mol⁻¹K⁻¹)

T Température absolue (K)

5.Mécanisme de transfert :

Dans le cas de l'osmose inverse, les transferts de solvant et de soluté au travers d'une membrane semi-perméable se font par solubilisation-diffusion ; toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent dans la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci sous l'action d'un gradient de concentration et de pression.

En absence de colmatage, le flux de solvant (ici l'eau) à travers la membrane est exprimé par l'équation suivante :

$$J = \frac{\Delta P - \Delta \Pi}{\mu R_m}$$

Avec :

J : Flux d'eau à travers la membrane (L. h⁻¹ .m⁻²)

ΔP : Différence de pression de part et d'autre de la membrane (Pa)

$\Delta \Pi$: Différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane (Pa)

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

R_m : Résistance de la membrane (m⁻¹) [28]

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

Les principaux composants de l'équipement d'osmose inverse sont :

- La membrane est correcte.
- Module.
- Pompe haute pression.
- Poste de traitement.

L'écoulement du fluide sur la membrane est continu et tangentiel. Ce flux tangentiel permet de limiter l'accumulation de substances diverses (particules, molécules, ions) retenues sur la membrane. Le débit d'entrée (Q_0) est divisé en deux parties avec des concentrations différentes au niveau de la membrane. Une partie (flux Q_p) traverse la membrane (perméation), tandis que l'autre partie est retenue par la membrane (concentrée ou retenue). [27]

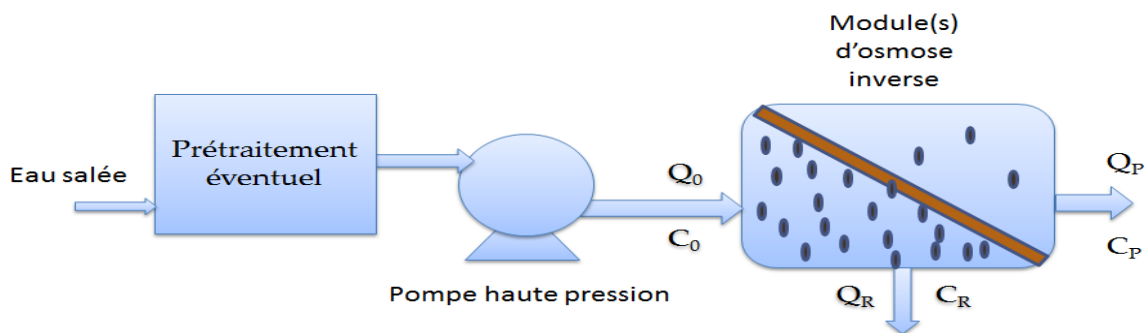


Figure III. 4:Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse. [27]

7.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.

[27]

$$Y = \frac{Q_p}{Q_0}$$

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.

$$R = \frac{C_o - C_p}{C_o} = 1 - \frac{C_p}{C_o}$$

R : Taux de rétention.

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

C_p : Concentration de cette même espèce dans le permeat.

8.Type de membranes d'osmose inverse :

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

8.1.Membranes organiques :

Les premières membranes organiques ont été réalisées à partir de dérivés cellulosiques et de polyamides aromatiques. La trop grande sensibilité de ces matières vis-à-vis des bactéries leur a fait préférer les matériaux suivants : Acétate de cellulose, Polysulfone, Aramide, Poly acrylonitrile, Polypropylène. Leur méthode de fabrication est basée sur un mélange de polymère et de solvant. L'évaporation de ce collodion permet de distinguer des zones riches en polymère donnant la membrane et des zones creuses donnant les pores. Les membranes organiques sont assez sensibles au pH acide et aux fortes températures [29]

8.2.Membranes minérales ou inorganiques :

Ces membranes sont composées de corps entièrement minéraux, principalement les matières céramiques, le métal fritté et le verre. Leur arrivée a permis de travailler dans des conditions extrêmes de température et d'agression chimique [30].

8.3.Membranes composites :

Elles sont caractérisées par une structure assymétrique dont la peau est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique. Elles peuvent être organiques, organo-minérales ou minérales [9].

8.4.Membranes à charge électrique :

Ces membranes peuvent être denses ou poreuses. Les parois des pores sont chargées d'ions positifs ou négatifs. Les membranes chargées positivement favorisent le passage de cations, celles chargées négativement favorisent le passage d'anions. Donc la séparation avec des membranes chargées est basée principalement sur la répulsion d'ions de même charge, mais aussi par la taille des pores. La séparation est contrôlée par la charge et la concentration des ions [9].

9. Durée de vie des membranes :

Il est très difficile de déterminer exactement la durée de vie des membranes d'osmose inverse. En effet, la durée de vie dépend de la nature de la membrane mais aussi de ses conditions d'utilisation, notamment:

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

Enfin, la notion même de la durée de vie d'une membrane n'est pas très nette. Les performances d'une membrane d'osmose inverse évoluent lentement au cours du temps et en général on change les membranes lorsque la qualité du perméat dépasse un certain seuil. Mais pour différentes raisons, l'exploitant peut très bien augmenter la durée de vie des membranes en faisant fonctionner l'installation au-delà de ce seuil [31]

10. Les modules d'osmose inverse

10.1. Définition des modules:

Les appareils unitaires de séparation, mettant en œuvre des membranes, sont appelés « cartouches » ou « modules ». Leur conception est différente suivant la forme de la membrane et doit, à la fois, assurer une circulation suffisante à la surface de celle-ci et présenter une bonne compacité. Ils sont aussi conçus en fonction de l'application à venir et doivent satisfaire aux facilités d'exploitation (montage, démontage, nettoyage) [29].

10.2.Les types de modules :

Les modules supportent les membranes. Actuellement quatre types de modules sont commercialisés :

10.2.1. Les modules tubulaires :

Les membranes tubulaires ne sont pas des membranes autoportantes. Ils sont placés dans un tube, qui est fait d'un type spécial de matériau. Ce matériau est la couche de support de la membrane. La liaison entre la membrane et la couche support est très faible.

La membrane tubulaire a un diamètre d'environ 5 à 15 mm. En raison de la taille de la surface de la membrane, il est impossible de bloquer la membrane. L'inconvénient du film tubulaire est que la densité d'emballage est faible, donc le prix de chaque module est élevé.[32].

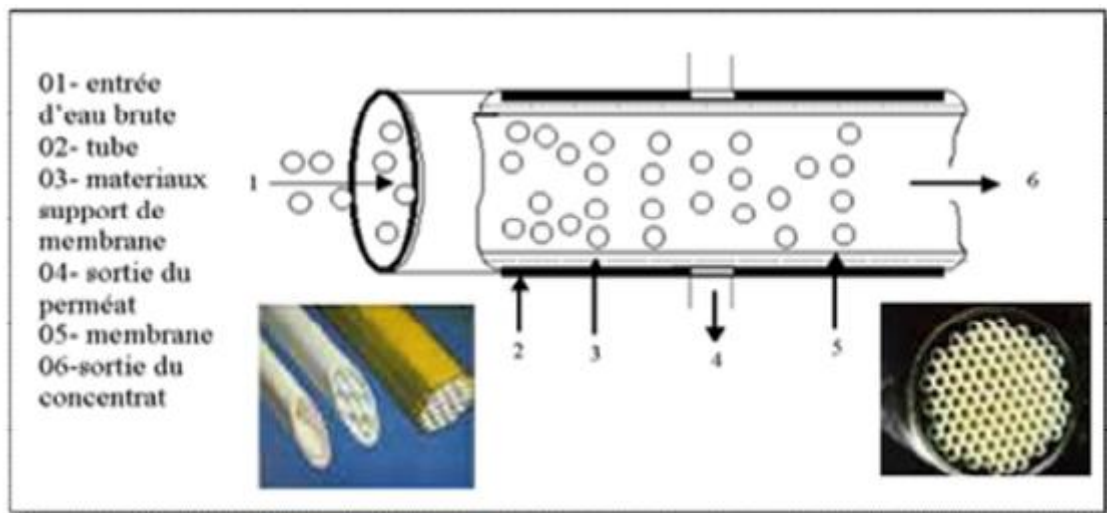


Figure III. 5:Module à membrane tubulaire [33].

10.2.2. Les modules à fibres creuses:

Ils rassemblent un ensemble de fibres creuses de quelques centimètres à un mètre de longueur et dont l'épaisseur est de l'ordre de 100 à 200 μm en un faisceau de diamètre inférieur à 3 mm. Elles sont assemblées en parallèle selon deux configurations possibles :

Int-Ext : la solution à traiter circule à l'intérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'extérieur des fibres. Il y a écoulement tangentiel. Cette technique est habituellement utilisée lorsque l'on est intéressé par le concentrât (Figure III.6, schéma a).

Ext- Int : la solution circule à l'extérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'intérieur des fibres en mode frontal. Cette technique est habituellement utilisée lorsque l'on est intéressé par le perméat (Figure III.6, schémas b et c) [34].

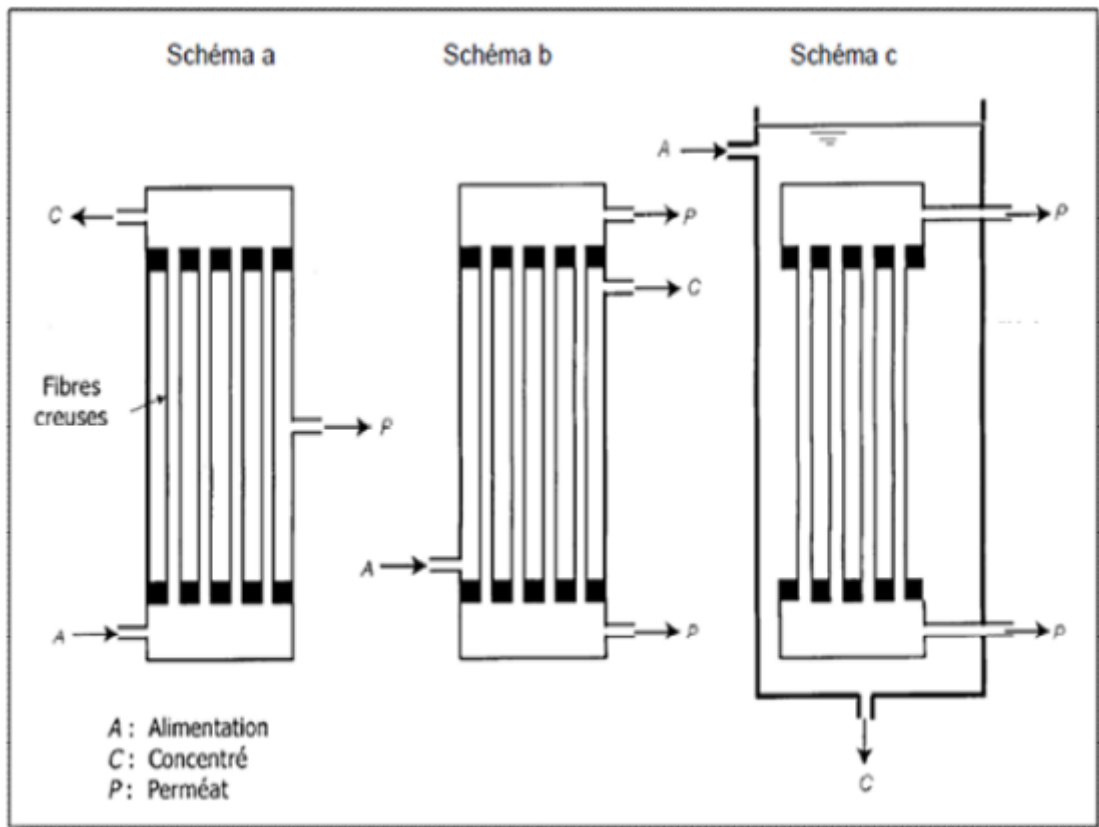
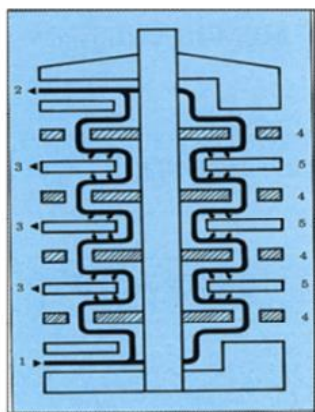


Figure III. 6:Modules à fibres creuses [35].

10.2.3.Modules à plaques:

Le système utilise des membranes sous forme de feuilles. Il s'agit du type de configuration (filtre-presse) le plus simple. La surface filtrante reste toutefois faible par rapport à l'encombrement [9].



- 1-Entrée d'eau brute.
- 2 - Sortie du concentrat.
- 3 - Sortie du perméat.
- 4-Plaque intermédiaire.
- 5-Ensemble membrane - plaque support membrane.

Figure III. 7:Exemple de module à plaques [9].

10.2.4. Les modules spiralés:

La membrane plate est enroulée en spirale autour du tube perforé creux pour collecter le perméat. Une maille en plastique de 0,8 à 1,2 mm d'épaisseur est placée entre les membranes pour créer des turbulences dans la circulation du fluide. On obtient ainsi un cylindre multicouche dans lequel le perméat s'écoule en spirale jusqu'au tube poreux, tandis que la charge circule axialement dans le canal. [9].

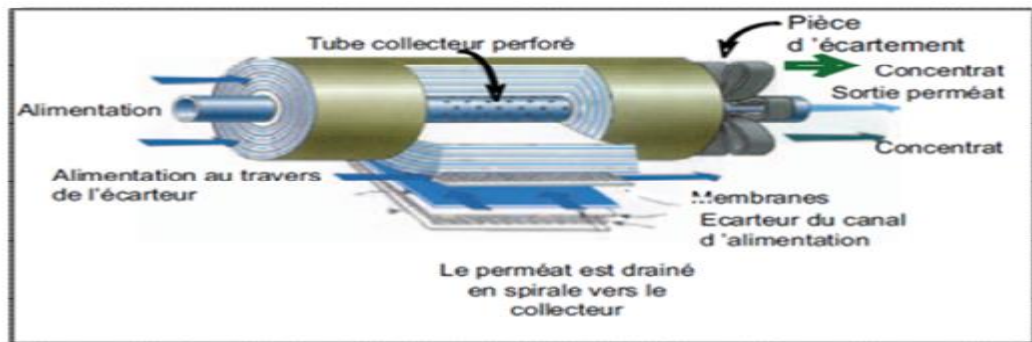


Figure III. 8: Description d'un module spiralé d'osmose inverse [36].

11. La consommation énergétique et le coût de l'osmose inverse :

Le processus d'osmose inverse qui n'implique pas de changement de phase devrait avoir une consommation d'énergie inférieure à celle d'autres processus de séparation (tels que la distillation). En effet, la consommation d'énergie est toujours supérieure au minimum théorique

Comme pour toute technologie, les coûts énergétiques et économiques du procédé doivent être réduits autant que possible. Le coût principal est le coût de la pompe, qui doit exercer une pression de service, et la consommation électrique de l'eau produite sans récupération d'énergie est de 7 à 10 kWh.m⁻³. Il est plus important pour le traitement de l'eau de mer que le traitement de l'eau saumâtre avec une concentration plus faible. Les coûts énergétiques et économiques augmentent également avec l'augmentation de la concentration en sel. En plus des systèmes de récupération d'énergie (réduction des besoins énergétiques à 5 à 7 kWh. M⁻³), il est également intéressant d'envisager le couplage de l'osmose inverse avec des sources d'énergie renouvelables comme le solaire, l'éolien ou la géothermie. [9].

12.Les avantages et inconvénients de l'osmose inverse:

12.1.Les avantages:

- Un taux de conversion élevé
- Une consommation spécifique d'énergie basse .
- Une flexibilité par rapport à la variation de la demande en eau .
- Un coût d'investissement relativement bas .
- Une durée de mise en œuvre réduite
- Après l'osmose inverse on obtient une eau très pure possédant des mesures bioélectroniques parfaites pour la santé, pratiquement identiques qu'à celles des eaux de sources les plus naturelles :
- pH légèrement acide de 6.6 (idéal pour la digestion, l'assimilation des aliments et rééquilibre de pH du sang généralement trop toxique).
- Résistivité élevée 20000 à 30000 ohms, ce qui permet une parfaite élimination des toxines par les reins [9]

12.2.Les inconvénients :

Malgré les avantages, il y a aussi des inconvénients comme:

- Sensibilité à la variation de la qualité d'eau brute et surtout aux pollutions ;
 - Nécessité d'un personnel qualifié ;
 - Exploitation relativement difficile surtout au niveau du prétraitement ;
 - Un coût de maintenance élevé dû aux frais de renouvellement des membranes d'une durée de vie ne dépassant pas 7 ans à présent
- la perte de cinq litres d'eau pour un litre d'eau osmosée car la membrane doit être continuellement nettoyée.
 - Comme l'eau est déminéralisée, elle est agressive et corrosive pour les tuyauteries.
 - l'eau perd tous ses minéraux y compris les minéraux bénéfiques comme certains alcalins, notamment le calcium et le magnésium. Il est donc préférable de reminéraliser l'eau avant de la boire [9]

13.Conclusion :

Le dessalement des eaux saumâtres par osmose inverse est un procédé majeur actuellement Production d'eau potable dans les pays où l'eau douce est rare.

L'objectif principal de cette technique est de se débarrasser des sels, de la matière organique et Micro-organismes présents dans l'eau saumâtres.

Chapitre IV :

l'Énergie solaire

1.Introduction :

Avec le développement de l'industrie et de la technologie au cours de ce siècle, l'énergie joue un rôle très important dans le développement de l'humanité. La demande d'énergie augmente chaque année, il est donc nécessaire de trouver une autre nouvelle source d'énergie, plus précisément une énergie renouvelable, notamment l'énergie solaire. [27]

L'énergie solaire est fournie par deux systèmes :

- ❖ Système solaire thermique (chaleur) : capteur solaire.
- ❖ Système solaire photovoltaïque (électricité) : panneaux ou composants photovoltaïques

2.Energies Renouvelables :

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.[37]

2.1.Les différents types des Energies Renouvelables :

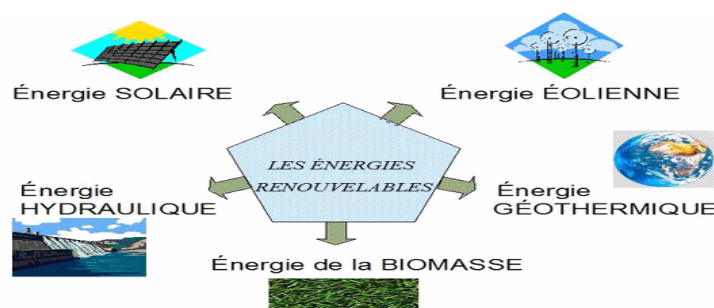


Figure IV. 1:Représente les différents types des énergies renouvelables.[38]

3.Énergie solaire :

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Grâce à la lumière solaire captée par les panneaux solaires, cette énergie permet de produire de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou de centrales solaires thermiques.

L'énergie solaire est propre et n'émet pas de gaz à effet de serre. Bien que sa matière première, le soleil, soit à plus de 150 millions de kilomètres de nous, elle est gratuite, inépuisable et disponible partout dans le monde. .[39]

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 [27]

5. Rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire apporté par le soleil apporte chaleur et lumière à la terre. Ce rayonnement peut être capté par des panneaux solaires thermiques qui produisent de l'eau chaude ou des panneaux photovoltaïques qui fournissent de l'électricité..[40]

5.1. Composantes du rayonnement solaire :

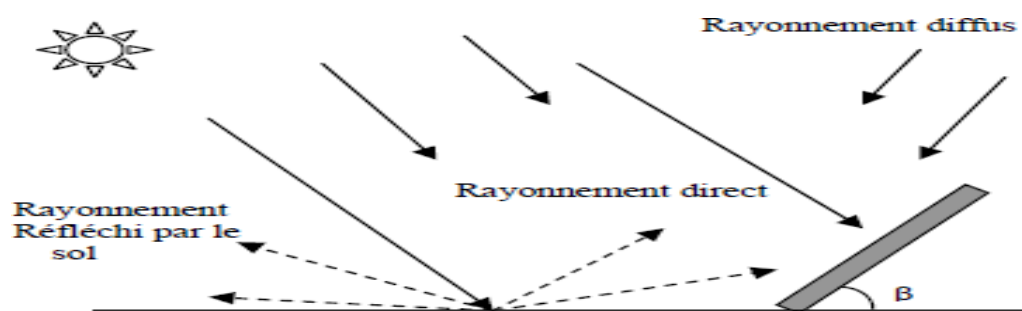


Figure IV. 2: Composantes du rayonnement solaire [41]

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé. Au sol, on distingue un rayonnement direct, diffus, albédo et global.

a) Le rayonnement direct :

Le rayonnement direct est reçu directement du soleil et n'est pas diffusé depuis l'atmosphère. Sa lumière est parallèle l'une à l'autre, elle forme donc une ombre, qui peut être focalisée par un miroir.

b) Le rayonnement diffus :

Le rayonnement diffus est constitué par la lumière diffusé par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions.

c) Le rayonnement global :

Le rayonnement global est tout simplement la somme de ces diverses contributions (direct, diffus)

6.Le gisement solaire :

Le dépôt solaire est un ensemble de données qui décrit l'évolution du rayonnement solaire disponible dans une période de temps donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement du système solaire et effectuer le réglage de taille le plus précis en fonction des besoins à satisfaire [27]

6.1.Potentiel solaire en Algérie :

Le désert du Sahara en Algérie est l'une des plus importantes fermes solaires au monde. Le ciel est clair, presque sans nuages, et le désert du Sahara est le territoire du soleil. La durée du coup de chaleur à environ 3 500 heures/an est la plus longue au monde. Elle est toujours supérieure à 8 heures/jour, sauf pour l'extrême sud qui descend à 6 heures/jour en été. En été, elle peut atteindre plus de 12 heures par jour au centre du Sahara. En raison de la situation géographique, la durée du coup de chaleur chaque jour ne varie pas de manière significative entre les différents mois de l'année, comme c'est le cas dans les villes du nord du

pays. Cela permet une disponibilité égale tout au long de l'année. Le rayonnement solaire annuel reçu est d'environ 2650 kWh/m². [42]

Tableau IV. 1: Potentiel solaire en l'algerie [43]

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

7. Les capteurs solaires :

Il existe deux grands types de capteurs solaires :

➤ 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. [27]

7.1. capteurs solaires thermiques :

7.1.1. Principe des capteurs solaires thermiques :

Le rôle d'un capteur solaire est de convertir le rayonnement solaire qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable, la plus courante étant à travers des fluides caloporteurs (eau, air, etc.). [44]

7.1.2. Classification des capteurs thermiques :

On peut classer les capteurs selon :

1 : Le fluide de travail utilisé :

On peut trouver :

I. Des capteurs solaires à air :

Ce type de capteurs s'adapte aux appareils de chauffage à air pour le séchage des produits agroalimentaires, et le chauffage des locaux.[44]

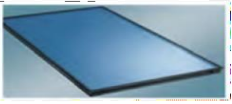

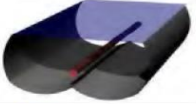





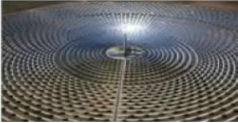
II. Des capteurs solaires à eau :

Ils s'adaptent aux appareils de chauffage à liquide, y compris ceux dont le liquide entre en ébullition pendant le chauffage (la production de l'eau chaude sanitaire).

Les capteurs à eau peuvent être classés en capteurs à :

- Faible pression de circulation, tel est le cas du chauffage des piscines.
- Haute pression de circulation où le circuit d'eau est généralement constitué de tubes de cuivre et de plaques métalliques qui augmentent la surface d'absorption.

Tableau IV. 2:classification des capteurs solaires [44]

	Type de capteur		Rapport de concentration pour rayonnement direct	Intervalle Température T(K)
	Nom	Diagramme schématique		
Stationnaire	Capteur à absorbeur plan		$C \leq 1$	$300 < T > 360$
	Tube sous vide		$C \leq 1$	$300 < T > 460$
Un axe	Réflecteur parabolique composé		$1 \leq C \leq 1$	$340 < T > 510$
			$5 \leq C \leq 15$	$340 < T > 560$
	Réflecteur Parabolique		$15 < C \leq 40$	$340 < T > 560$
	Réflecteur Fresnel		$10 < C > 40$	$340 < T > 540$
	Réflecteur cylindro-Parabolique		$10 < C > 50$	$340 < T > 540$
Deux axes	Réflecteur disque parabolique		$100 < C > 1000$	$340 < T > 1200$
	Réflecteur sphérique		$100 < C > 300$	$340 < T > 1000$
	Champs d'Héliostat		$100 < C > 1500$	$340 < T > 3000$

7.1.3 :Capteur à concentration :

L'expérience des trente dernières années a montré que quatre technologies principales permettent d'atteindre en pratique la concentration du rayonnement solaire dans des conditions techniques et économiques réalisables.: [46]

- les capteurs cylindro-paraboliques .
- les concentrateurs à lentilles de Fresnel .
- les capteurs paraboliques .
- les centrales à tour. [46]

7.1.4.Les différents types de centrales thermodynamiques :

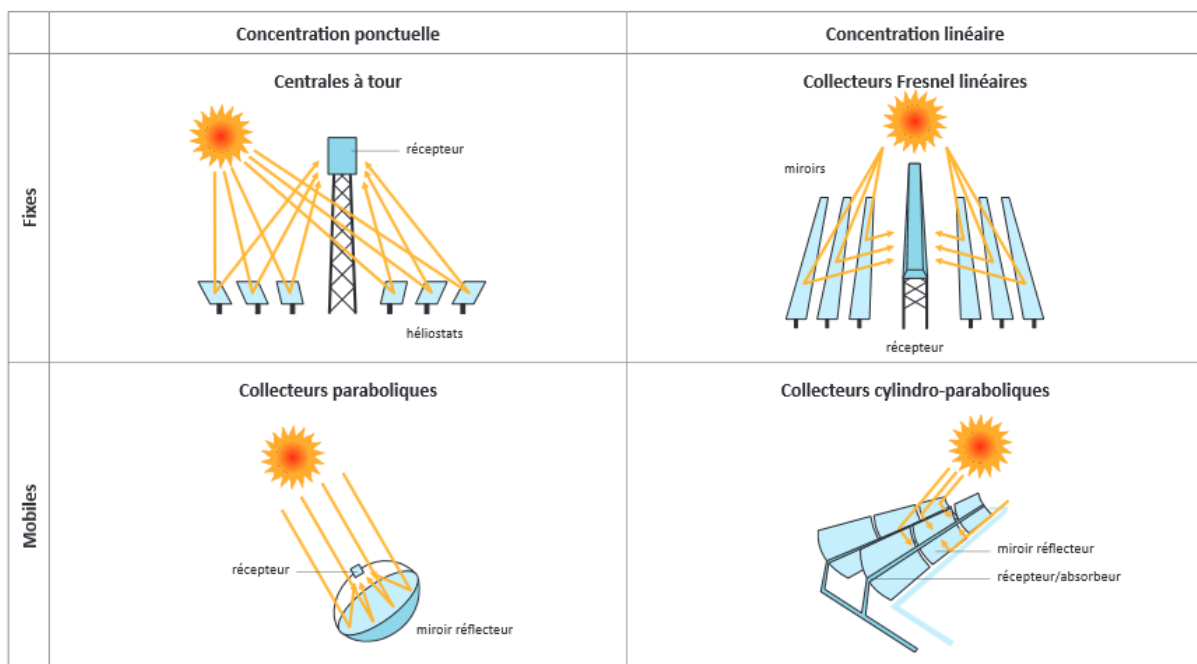


Figure IV. 3:Les systèmes de concentration de l'énergie solaire . [47]

❖ Les centrales solaires cylindro-paraboliques :

Ces centrales sont en réalité composé de longs miroirs d'une forme hémicylindriques (demi-cercle) alignés parallèlement. Ces miroirs tournent autour d'un axe horizontal pour pouvoir suivre le soleil à chaque instant. Ces miroirs permettent de diriger les rayons du soleil

vers un liquide appelé liquide caloporteur (liquide qui permet d'extraire la chaleur) qui sera ensuite chauffer d'où la nécessité du mouvement des panneaux au soleil. La température du fluide peut atteindre 500°C. Lorsque le liquide est bien chauffé, il va être transféré vers une centrale où le liquide sera mélangé avec de l'eau qui va au final se transformer en vapeur. Cette vapeur va entraîner une turbine qui permettra de produire de l'électricité, de la même manière que la géothermie. Depuis peu, certaines centrales sont capables de tourner jour et nuit grâce aux importantes capacités de stockage de la chaleur mises en place.[48]



Figure IV. 4: capteurs cylindro-paraboliques. [27]

❖ Les centrales solaires de linéaire de Fresnel :

Les centrales à miroir Fresnel sont basés sur le même principe que les centrales cylindro-paraboliques. plutôt que de courber les miroirs (processus industriel coûteux), les miroirs de Fresnel « miment » la forme cylindro-parabolique avec des miroirs très légèrement incurvés, et placés à un même niveau horizontal. Seuls les miroirs bougent, la structure et le tube absorbant sont tous deux stationnaires. Les coûts des centrales solaires à miroirs de Fresnel sont donc inférieurs à ceux des centrales à miroirs cylindro-paraboliques tant à l'installation qu'à la maintenance. La focalisation est toutefois dégradée dans ce système (puisque la parabole n'est pas parfaite) : le pari est donc que la baisse de coût « compense » la dégradation de l'efficacité d'un point de vue économique. Ce type de système est encore relativement peu répandu.[49]

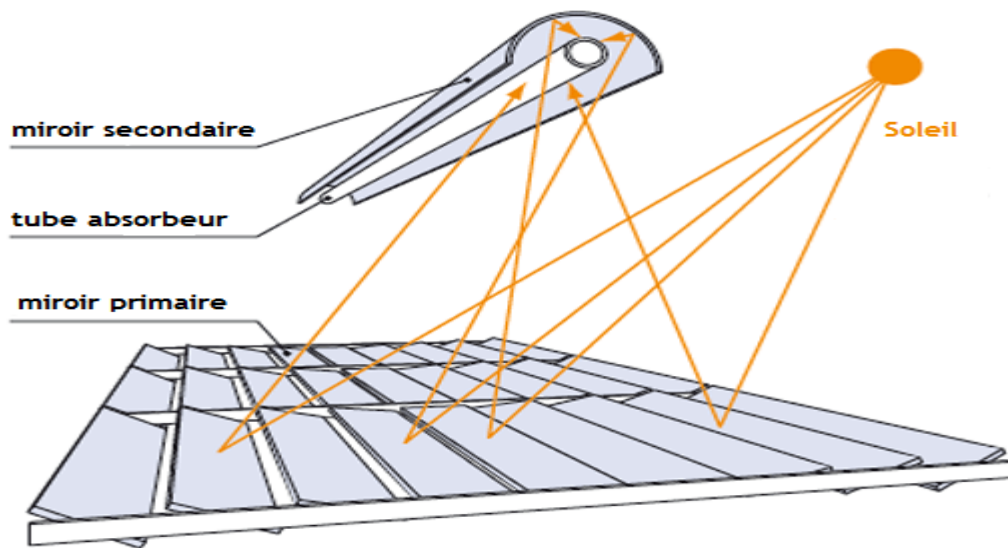


Figure IV. 5:Schéma de principe d'un capteur linéaire de Fresnel. [50]

❖ Centrales solaires parabolique :

Pour vous faire une idée, ces centrales paraboliques ont exactement la même forme que les paraboles que certaines personnes mettent dehors pour capter les chaînes de télévision, mais dans le cas de ces centrales, elles sont beaucoup plus grande.

Cette parabole est composé de miroirs. La parabole est quand à elle reliée à un récepteur. Le miroir parabolique réfléchit les rayons émis par le Soleil en un point de convergence appelé foyer, qui est situé dans le récepteur. Le récepteur monte donc en température.

Ce dernier est composé d'un moteur appelé moteur Sterling qui est capable de convertir l'énergie thermique en énergie mécanique pour ensuite la reconvertir en énergie électrique. Comme pour la centrale vue auparavant, la parabole suit le déplacement du soleil pour profiter de l'ensoleillement maximum.

La température peut atteindre 1000°C sur le récepteur mais le moteur n'a pas besoin d'une chaleur intense pour permettre des rendements en électricité optimaux.[51]



Figure IV. 6: Capteurs solaires paraboliques . [49]

❖ **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[27]



Figure IV. 7:Schéma de principe de principe d'une centrale à tour. [52]

7.2. SYSTEME SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE :

7.2.1.Definition :

Le terme « photovoltaïque » vient du mot « photo » (du mot grec « phos », qui signifie « lumière ») et du mot « volt » (le nom de famille du physicien Alessandro Walter, dont les recherches sur la suite ont fait contribution très importante) Électricité) également connu sous le nom de module photovoltaïque ou PV, permettant la conversion directe de la lumière solaire en électricité grâce à un processus appelé « effet photovoltaïque », généralement grâce à des cellules à base de silicium.[53]

7.2.2. types de systèmes photovoltaïques :

❖ **Système autonome :**

Il existe des systèmes autonomes au fil du soleil sans stockage et avec stockage :

Ce système est composé de:

- ✓ Générateur photovoltaïque.
- ✓ Système de stockage.
- ✓ Régulateur.
- ✓ Onduleur.
- ✓ La charge (a courant alternatif, courant direct).
- ✓ Câblage

Système au fil du soleil sans stockage :

C'est le système le plus simple car l'énergie photovoltaïque provient directement du panneau. L'équipement alimenté par le système ne fonctionnera que s'il y a de la lumière, et tant que la lumière est suffisante pour atteindre la puissance requise. Ce type de système convient à toutes les applications qui n'ont pas besoin de fonctionner dans l'obscurité et qui nécessitent de l'énergie et de la lumière pour exister en même temps. L'inconvénient de ce système est qu'on ne bénéficie pas toujours des niveaux de luminosité les plus élevés : il n'y a pas de stockage, donc pas moyen de récupérer l'excès d'énergie solaire.[54]

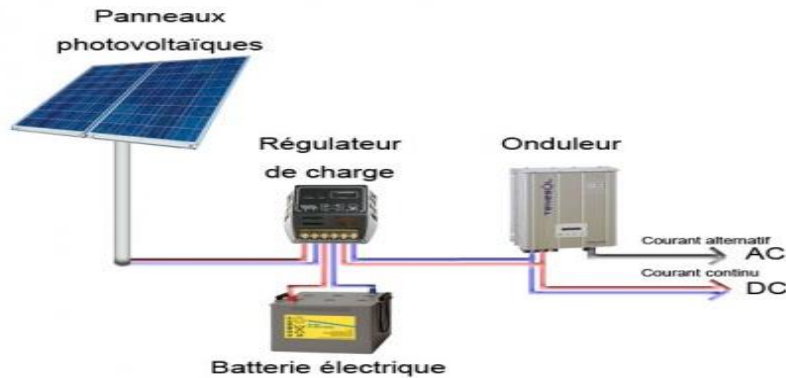


Figure IV. 8: Système PV autonome ou isolé [55]

Système au fil du soleil avec stockage :

Cette installation est constituée essentiellement de trois composants : des modules solaires, la batterie, et le régulateur de charge. La batterie d'un tel système se charge le jour et sert de réservoir d'énergie en permanence ; elle peut sans problème à un instant donné, recevoir un courant de charge et débiter un courant de décharge de valeur différente. Les appareils alimentés sont donc câblés sur la batterie à travers le régulateur de charge, cela pour assurer le chargement optimal de l'accumulateur tel que, lorsque la batterie est pleine, ce dernier coupe la charge pour éviter qu'elle ne souffre de surcharge.[54]

❖ Les systèmes connectés au réseau :

Le système de production d'énergie photovoltaïque connecté au réseau (figure IV.9) est le résultat du réseau électrique décentralisé. L'énergie est générée plus près de l'endroit où elle est consommée. Le système connecté au réseau réduit le besoin d'augmenter la capacité des lignes de transport et de distribution. Il produit de l'électricité par lui-même et transfère l'énergie excédentaire au réseau et l'obtient du réseau selon les besoins. Ces transferts éliminent le besoin d'acheter et d'entretenir des batteries. En cas de panne du réseau, ces

systèmes peuvent toujours être utilisés comme sources d'alimentation de secours.

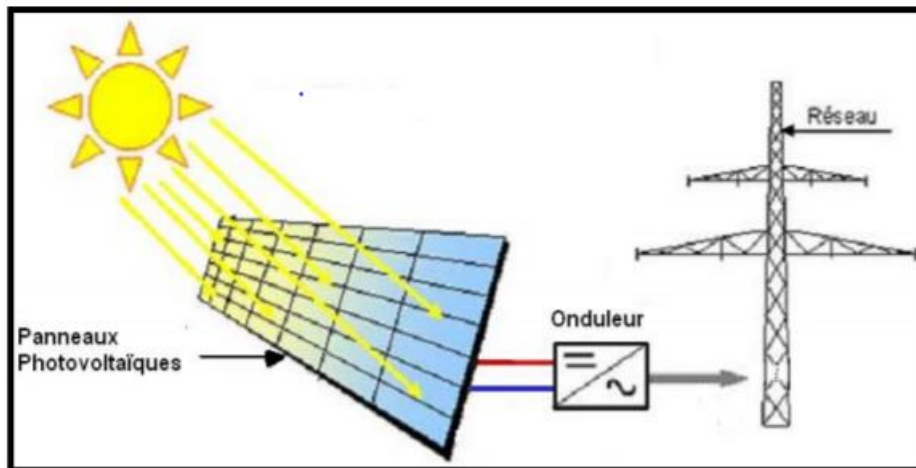


Figure IV. 9: Systèmes photovoltaïque connectés au réseau [56]

❖ système hybride :

Comme leur nom indique, il s'agit de l'association de deux types d'énergies différentes au minimum, dont l'une d'elles est celles du photovoltaïque. Il comporte des batteries d'accumulateurs de stockage d'énergie. Cette autre source peut être un groupe électrogène ou bien une éolienne. Lorsqu'il s'agit des périodes nuageuses ou bien les accumulateurs sont faibles, c'est le groupe électrogène qui va s'occuper de la tâche. Si ces périodes sont venteuses, c'est l'éolienne qui prend la relève et charge ces accumulateurs. Un tel système peut convenir dans le cas d'une résidence ou d'un immeuble commercial non connecté au réseau, la plupart des systèmes.[57]

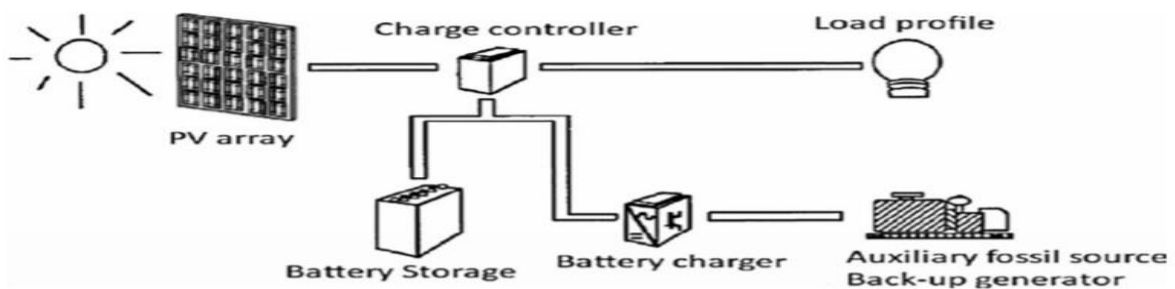


Figure IV. 10: Système PV hybride[58]

7.3.les avantages et les inconvénients de système photovoltaïque :

❖ les avantages :

Les panneaux solaires photovoltaïques présentent un certain nombre d'avantages :

- Cette énergie renouvelable est gratuite. Elle n'est pas taxée et n'engendre pas de rejets dans l'environnement tout au long de son utilisation.
- L'énergie photovoltaïque est modulable et permet de répondre à tous les besoins.
- Les panneaux photovoltaïques peuvent être utilisés aussi bien en ville qu'à la campagne..
- Les panneaux résistent aux intempéries et au froid.
- Les panneaux ont une durée de vie de 20 à 35 ans[59]

❖ les inconvénients

Bien que les panneaux solaires photovoltaïques présentent de nombreux avantages, ils ont aussi leurs inconvénients :

- Un investissement important lors de leur installation.
- L'onduleur doit être remplacé au bout de 10 ans et les panneaux au bout de 25 à 35 ans.
- Les démarches administratives pour installer des panneaux photovoltaïques sont longues, environ 2 à 6 mois et même un an en cas de difficultés de raccordement. .[59]
- Le coût très élevé

Chapitre V :

Modélisation et

Résultats

Introduction :

La consommation élevée de charges de pompage, notamment pour l'osmose inverse à haute pression et la dégradation des membranes sont les inconvénients de cette technologie.

I. Partie 01 : Calcul des besoins énergétiques pour le dessalement

1.1. Présentation du logiciel ROSA :

1.1.1. Description du modèle

Le logiciel ROSA permet de déterminer les performances de la membrane et l'énergie nécessaire au dessalement. L'utilisation de ce modèle est influencée par la nécessité de concevoir un système d'osmose inverse techniquement réalisable. Le modèle ROSA a été utilisée pour concevoir des usines de dessalement dans différentes parties du monde.

1.1.2. Dow / Film Tec-ROSA:

Le logiciel de performance d'osmose inverse (ROSA) peut désormais être utilisé pour compléter et optimiser la conception de l'installation, fournir des informations détaillées sur la sélection des pompes d'alimentation et fournir des informations sur les exigences de post-traitement.

Le programme ROSA a quatre pages d'entrées, une page de rapport, et chaque page est affichée en bas de l'écran. Les cinq 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).

1.2. Les données du problème :

1.2.1. Information sur le projet (Project information):

Dans la première étape nous avons rempli les informations du projet dans le programme Rosa ; comme le nom du projet, les unités de température, la pressionetc

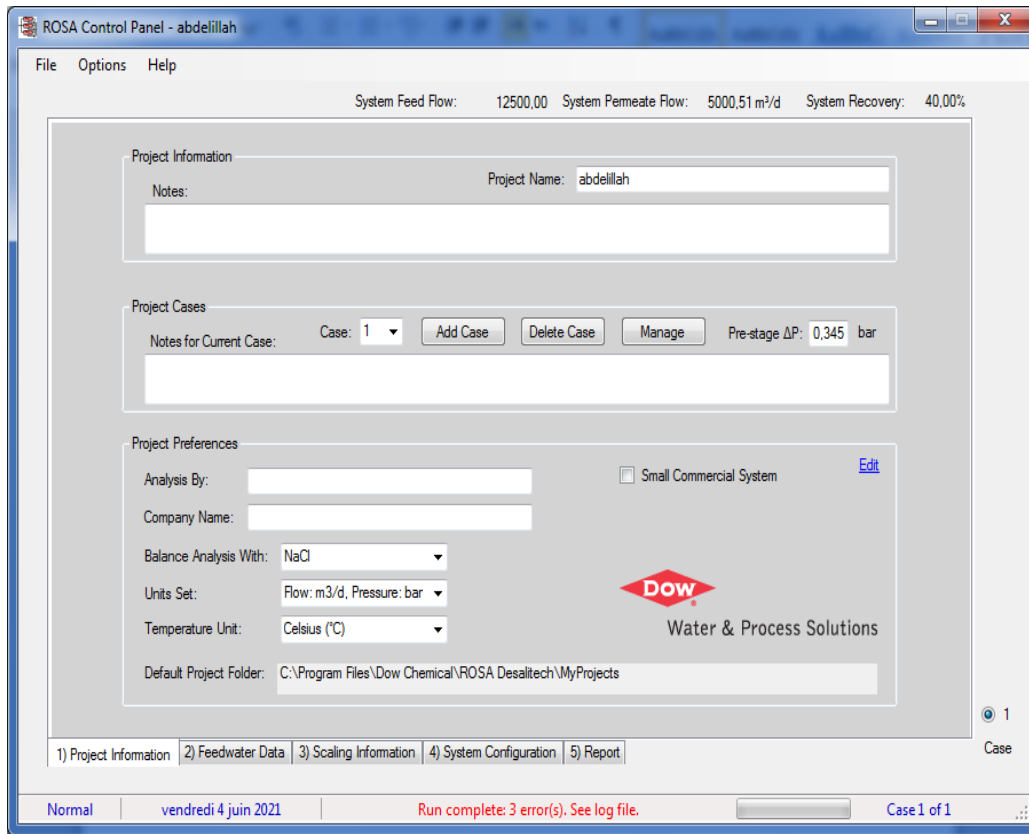


Figure V. 1: Informations sur le projet au programme ROSA

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

Dans la deuxième étape nous avons rempli le type d'eau d'alimentation et (total dissolved solid) voir Figure V- 2 :

- le type d'eau d'alimentation : RO Permeate SDI <1
- total dissolved solid :5000mg/l

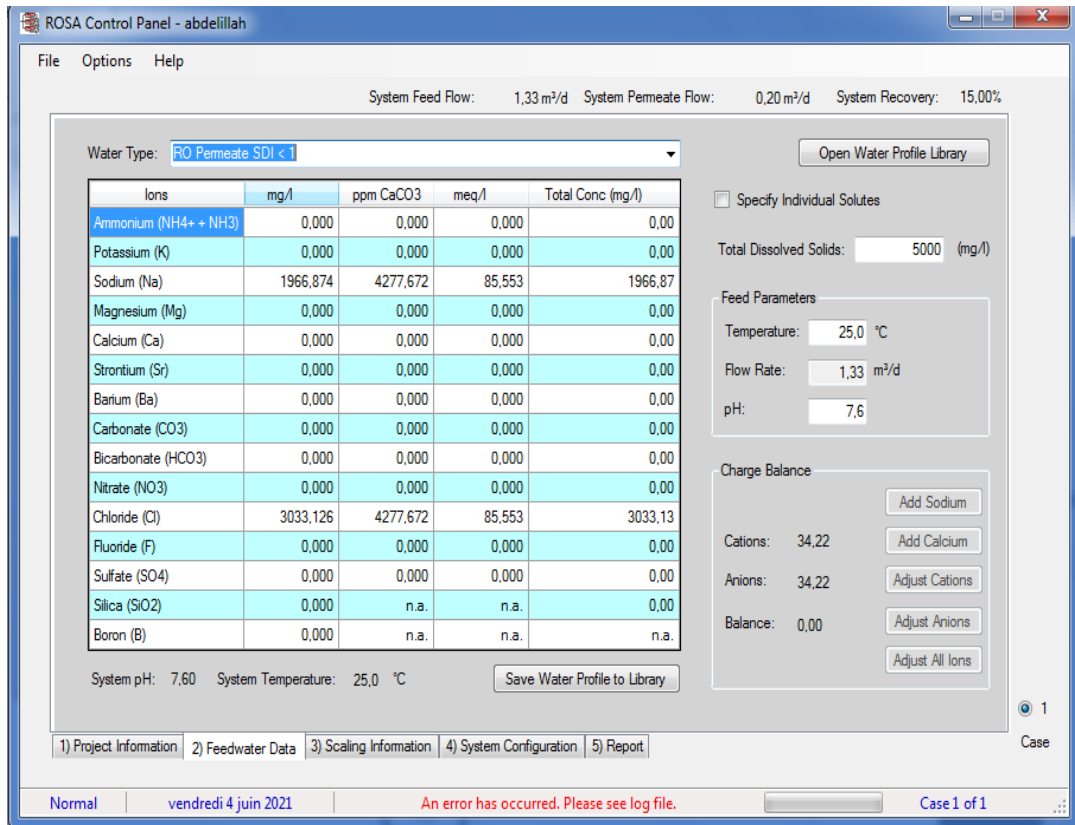


Figure V. 2: Les données sur l'eau d'alimentation au programme ROSA

2.2.3. 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

- le type de membrane utilisé : BW30HRLE-440
voire Figure V- 3 :

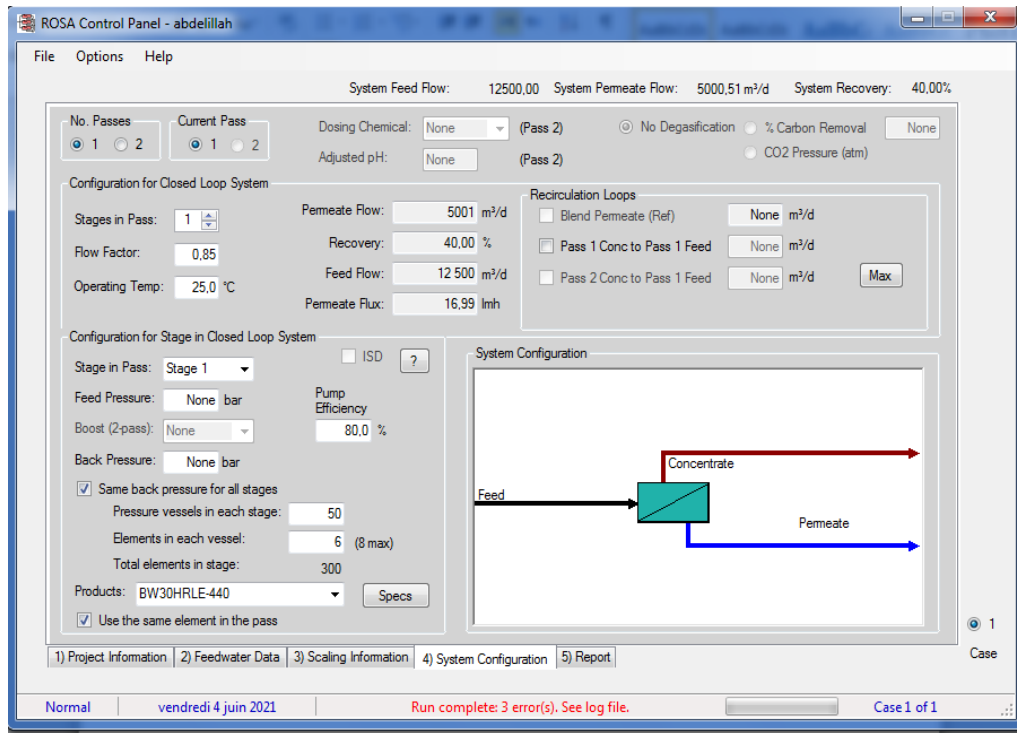


Figure V. 3: Configuration du système au programme ROSA

Le débit de perméat est 5000m³/jour et le taux de conversion est de 40%.

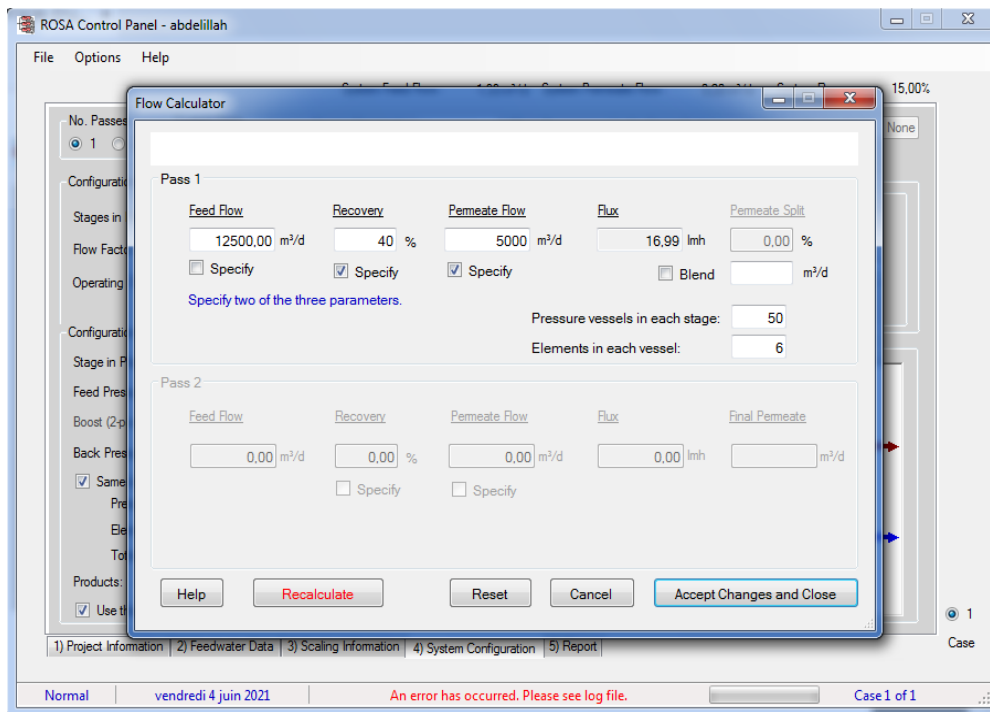


Figure V. 4: Configuration du système au programme ROSA.(flow calculator)

2.2.4.. Rapport (Report):

Lorsqu'on a appuyé sur le rapport, le programme est en cours et donne le rapport suivant:

Project Information:

Case-specific:

System Details

Feed Flow to Stage 1	12500,00 m ³ /d	Pass 1 Permeate Flow	5000,51 m ³ /d	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	12500,00 m ³ /d	Pass 1 Recovery	40,00 %	Feed	3,97 bar
Feed Pressure	10,12 bar	Feed Temperature	25,0 C	Concentrate	6,47 bar
Flow Factor	0,85	Feed TDS	5000,01 mg/l	Average	5,22 bar
Chem. Dose (100% H ₂ SO ₄)	0,00 mg/l	Number of Elements	300	Average NDP	3,99 bar
Total Active Area	12262,80 M ²	Average Pass 1 Flux	16,99 lmh	Power	183,04 kW
Water Classification: RO Permeate SDI < 1				Specific Energy	0,88 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	BW30HRLE-440	50	6	12500,00	9,77	0,00	7499,49	8,39	5000,51	16,99	0,00	0,00	152,44

Figure V. 5: rapport au programme ROSA

2.3. Résultats

Les résultats obtenus après la simulation :

Tableau V. 1: Les résultats obtenus par ROSA

Débit d'alimentation	12500,00 m ³ /jour
Pression d'alimentation	9,77 bar
Débit de rejet	7499,49 m ³ /jour
Pression de rejet	8,39 bar
Débit de permeat	5000,51 m ³ /jour
La salinité de permeat	152,44 mg/l
La puissance	183,04 kW
Energie spécifique	0,88 kWh/m ³

D'après les résultats trouvés, on remarque que la puissance électrique 183.04KW et consommation d'énergie spécifique du système est de 0.88Kwh/m³.

2.3.1. Etude paramétrique :

Tableau V. 2:: Les résultats obtenus par ROSA pour plusieurs type de membrane et débit de perméat

Type de membrane	Le débit de perméat	5000	4500	4000	3000	2000
BW30HRLE-440	Débit d'alimentation (m ³ /jour)	12500,00	11250,00	10000,00	7500,00	5000,00
	Pression d'alimentation (bar)	9,77	9,26	8,75	7,76	6,71
	Débit de rejet (m ³ /jour)	7499,49	6750,22	6000,17	4496,57	2999,96
	Pression de rejet (bar)	8,39	8,07	7,75	7,09	6,34
	Débit de perméat (m ³ /jour)	5000,51	4499,78	3999,83	3003,43	2000,04
	La salinité de perméat (mg/l)	152,44	168,22	187,76	245,19	354,95
	La puissance (kW)	183,04	156,37	131,65	87,91	51,03
	Energie spécifique (kWh/m ³)	0,88	0,83	0,79	0,70	0,61
BW30HRLE-440i	Débit d'alimentation (m ³ /jour)	12500,00	11250,00	10000,00	7500,00	5000,00
	Pression d'alimentation (bar)	9,70	9,20	8,70	7,72	6,69
	Débit de rejet (m ³ /jour)	7499,73	6749,95	5999,43	4500,04	3000,13
	Pression de rejet (bar)	8,31	8,01	7,70	7,06	6,33
	Débit de perméat (m ³ /jour)	5000,27	4500,05	4000,57	2999,96	1999,87
	La salinité de perméat (mg/l)	152,58	168,35	187,88	245,41	355,04
	La puissance (kW)	181,63	155,34	130,94	87,53	50,93
	Energie spécifique (kWh/m ³)	0,87	0,83	0,79	0,70	0,61
BW30FR-365 (obsolete)	Débit d'alimentation (m ³ /jour)	12500,00	11250,00	10000,00	7500,00	5000,00
	Pression d'alimentation (bar)	13,55	12,63	11,74	9,99	8,31
	Débit de rejet (m ³ /jour)	7500,00	6750,09	5999,53	4499,98	3000,05
	Pression de rejet (bar)	12,50	11,74	10,99	9,52	8,05
	Débit de perméat (m ³ /jour)	5000,00	4499,91	4000,47	3000,02	1999,95
	La salinité de perméat (mg/l)	80,90	89,18	99,47	130,08	190,17
	La puissance (kW)	251,28	211,24	174,81	112,21	62,59
	Energie spécifique (kWh/m ³)	1,21	1,13	1,05	0,90	0,75
BW30XFR-400/34	Débit d'alimentation (m ³ /jour)	12500,00	11250,00	10000,00	7500,00	5000,00
	Pression d'alimentation (bar)	11,99	11,27	10,57	9,19	7,84
	Débit de rejet (m ³ /jour)	7500,58	6749,33	5999,68	4500,56	2999,94
	Pression de rejet (bar)	11,32	10,69	10,08	8,85	7,65
	Débit de perméat (m ³ /jour)	4999,42	4500,67	4000,32	2999,44	2000,06
	La salinité de perméat (mg/l)	62,64	69,13	77,25	101,48	149,41
	La puissance (kW)	223,06	189,11	157,92	103,45	59,23
	Energie spécifique (kWh/m ³)	1,07	1,01	0,95	0,83	0,71
BW30XFR-400/34i	Débit d'alimentation (m ³ /jour)	12500,00	11250,00	10000,00	7500,00	5000,00
	Pression d'alimentation (bar)	11,91	11,21	10,52	9,16	7,83
	Débit de rejet (m ³ /jour)	7499,91	6750,03	5999,67	4500,19	2999,93
	Pression de rejet (bar)	11,25	10,63	10,03	8,83	7,64
	Débit de perméat (m ³ /jour)	5000,09	4499,97	4000,33	2999,81	2000,07
	La salinité de perméat (mg/l)	62,66	69,17	77,28	101,51	149,44
	La puissance (kW)	221,72	188,12	157,19	103,16	59,13
	Energie spécifique (kWh/m ³)	1,06	1,00	0,94	0,83	0,71
BW30FR-400 (obsolete)	Débit d'alimentation (m ³ /jour)	12500,00	11250,00	10000,00	7500,00	5000,00
	Pression d'alimentation (bar)	13,01	12,15	11,30	9,65	8,06
	Débit de rejet (m ³ /jour)	7500,38	6749,44	6000,40	4499,94	3000,32
	Pression de rejet (bar)	11,43	10,80	10,16	8,90	7,64
	Débit de perméat (m ³ /jour)	4999,62	4500,56	3999,60	3000,06	1999,68
	La salinité de perméat (mg/l)	86,15	95,10	106,27	139,45	204,58
	La puissance (kW)	241,53	203,38	168,48	108,52	60,78
	Energie spécifique (kWh/m ³)	1,16	1,08	1,01	0,87	0,73

Dans ce tableau (Tableau V. 3), nous avons étudié les besoins énergétiques pour le dessalement avec plusieurs types de membrane et on a changé les débits du perméat dans chaque type de membrane. On remarque que la valeur maximale de la puissance électrique est

233.06 (Kw), cette valeur est atteinte pour la membrane BW30XFR-400/34 et le débit de perméat $5000\text{m}^3/\text{jour}$. D'autre part, la valeur minimale de la puissance électrique est 50.93 (Kw), celle-ci est atteinte pour la membrane BW30HRLE-440i et avec débit de perméat $2000\text{m}^3/\text{jour}$

2. Partie II : Calcul et Dimensionnement de l'installation solaire photovoltaïque

2.1. Présentation du logiciel SAM :

Le System Advisor Model (SAM) est un modèle de performance et financier conçu pour faciliter la prise de décision pour les personnes impliquées dans l'industrie des énergies renouvelables, allant des chefs de projet et des ingénieurs aux concepteurs de programmes d'incitation, aux développeurs de technologies et aux chercheurs. SAM fait des prévisions de performances pour les systèmes solaires photovoltaïques connectés au réseau, à concentration d'énergie solaire, éolienne, biomasse et géothermique. Ses modèles de flux de trésorerie conviennent aux projets d'énergie distribuée qui achètent et vendent de l'électricité à des tarifs de détail, et aux projets de production d'électricité qui vendent de l'électricité à un prix négocié dans le cadre d'un contrat d'achat d'électricité. Le modèle calcule le coût de production d'électricité en fonction des informations que vous fournissez sur l'emplacement d'un projet, les coûts d'installation et d'exploitation, le type de financement, les crédits d'impôt et les incitatifs applicables et les spécifications du système. SAM calcule également la valeur de l'énergie économisée par un système de chauffage solaire de l'eau domestique [60]

2.2. 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.

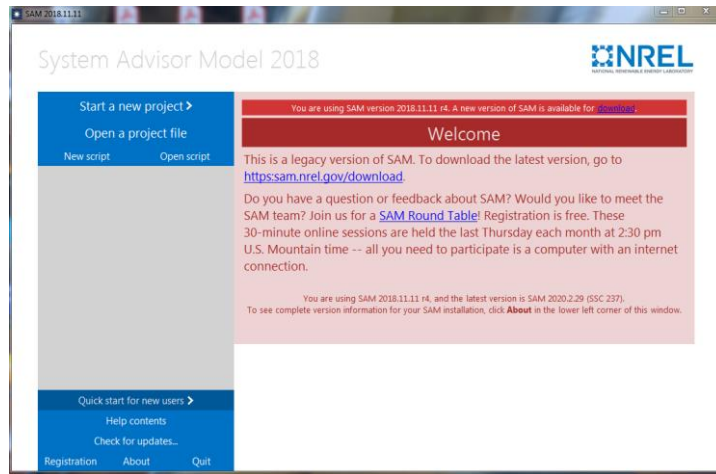


Figure V. 6: Page d'accueil du logiciel System Advisor Model 2018

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

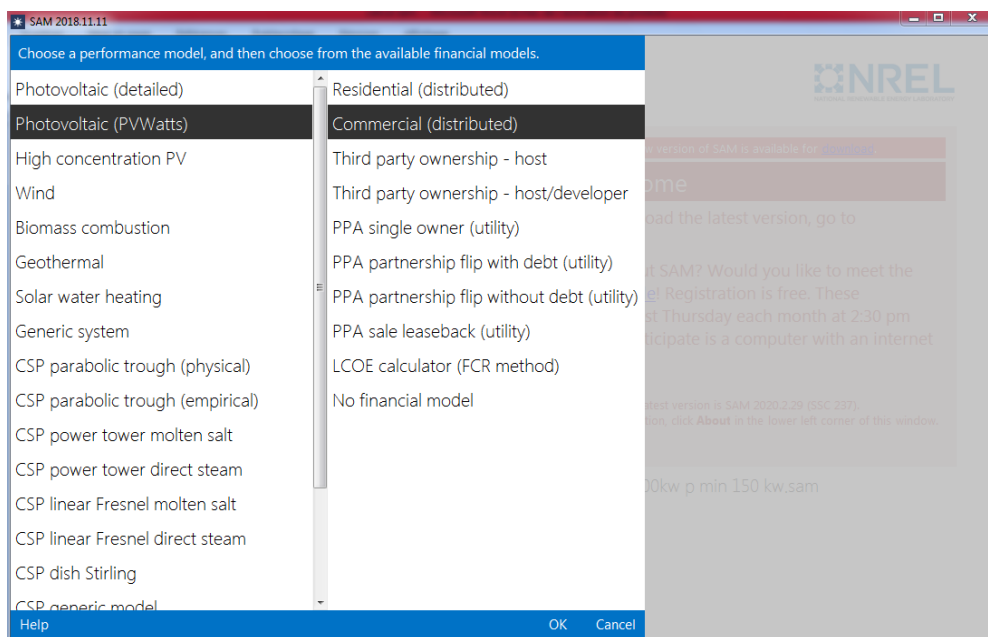


Figure V. 7: Modèle de performance et financier

➤ Performance Models:

SAM simule les performances horaires du système d'alimentation, à l'aide d'algorithmes développés au National Renewable Energy Laboratory, au Sandia National

Laboratory et à l'Université du Wisconsin pour convertir les données météorologiques horaires en estimations horaires de la production électrique CA. SAM ajoute les 8 760 valeurs horaires pour calculer la production annuelle totale du système [60]

2.2.1. Location and Resource:

Sur cette page location and resource, nous devons choisir un fichier météo pour l'état de Biskra. Dans cette étape, on a choisi une fiche solaire pour l'état de Biskra

- ✓ Cliquer sur « add/remove waether fille folder... » et choisi le dossier
- ✓ Cliquez sur "Ajouter/Supprimer le dossier fille de Weather..." et choisissez le dossier dans lequel il se trouve fiche solaire pour l'état de Biskra

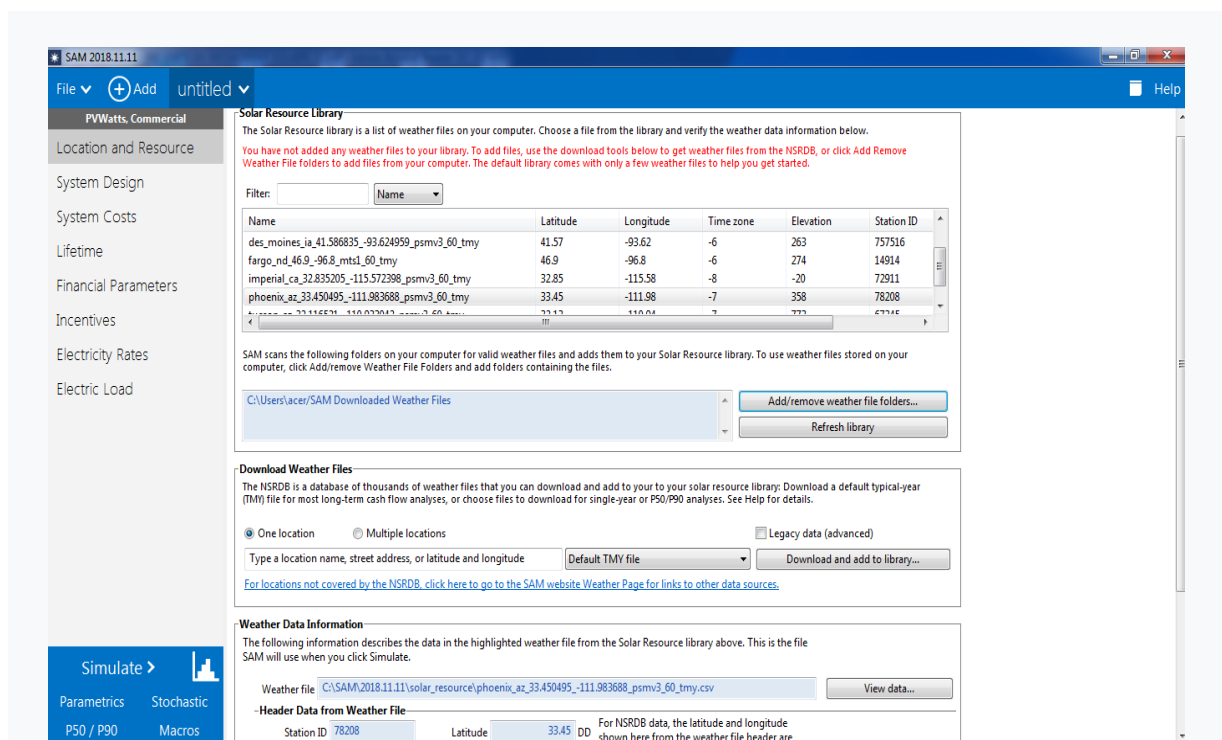


Figure V. 8: Paramètres climatiques sur SAM.

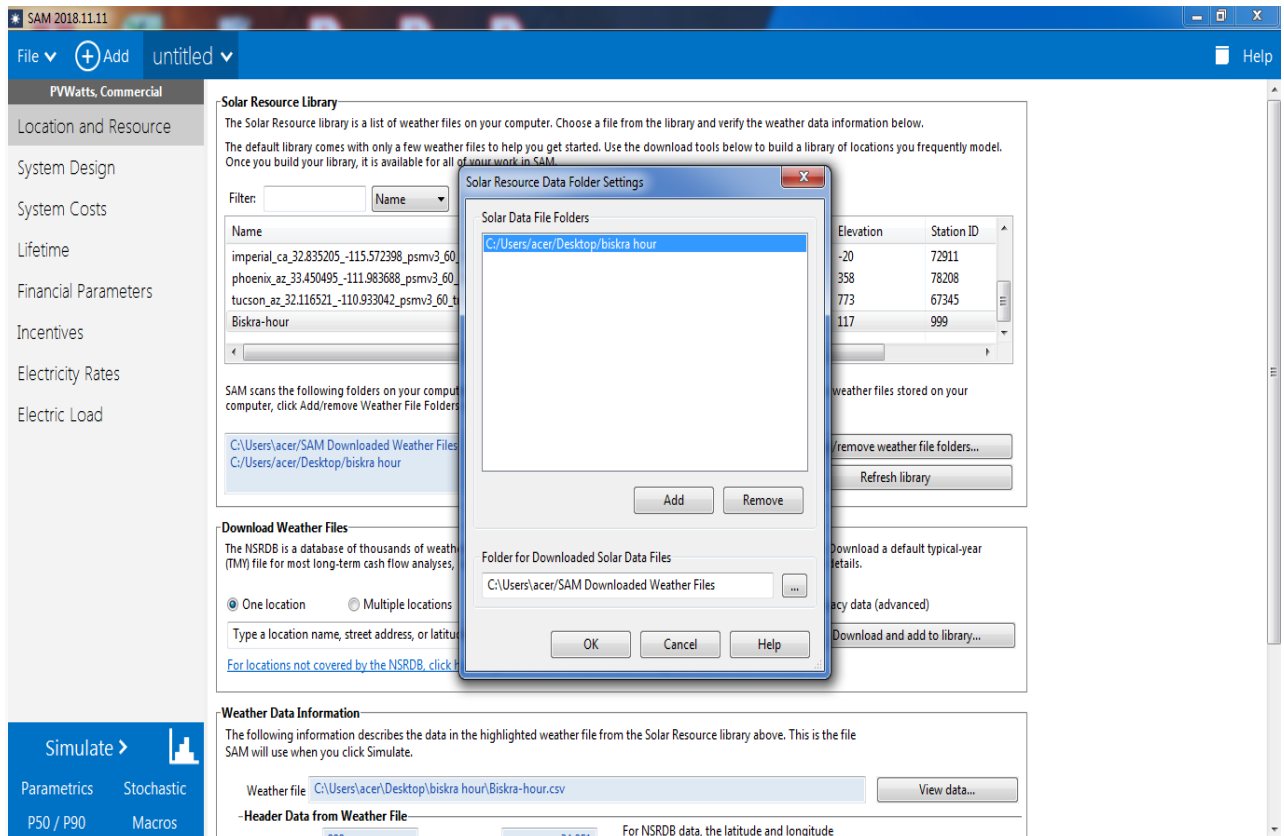


Figure V. 9: Paramètres climatiques sur SAM pour utiliser un fichier solaire

Tableau V. 4: Paramètres climatiques de biskra

Ville	biskra
Fuseau horaire	GMT1
Élévation	117m
Latitude	34.851 °N
Longitude	5.727°E
Irradiation normale directe	6.30 kwh/m ² /jour
Rayonnement horizontal global	5.50 kwh/m ² /jour
Irradiance horizontale diffuse	1.66 kwh/m ² /jour
Température moyenne	22.8 °C
Vitesse du vent	4.4 m/s

-Header Data from Weather File			
Station ID	999	Latitude	34.851 DD
Data Source		Longitude	5.727 DD
Elevation	117 m	Time zone	GMT 1

For NSRDB data, the latitude and longitude shown here from the weather file header are the coordinates of the NSRDB grid cell and may be different from the values in the file name, which are the coordinates of the requested location.

-Annual Values Calculated from Weather File Data			
Global horizontal	5.50 kWh/m ² /day	Average temperature	22.8 °C
Direct normal (beam)	6.30 kWh/m ² /day	Average wind speed	4.4 m/s
Diffuse horizontal	1.66 kWh/m ² /day	*NaN indicates missing data.	

Figure V. 10: Paramètres climatiques sur SAM de ville biskra

2.2.2. Système desing

Cliquez sur système desing dans le menu de navigation de la fenêtre principale , dans cette étape nous devons , nous saisissons les données de conception du système.

Figure V. 11: Paramètres de system desing (1) sur SAM

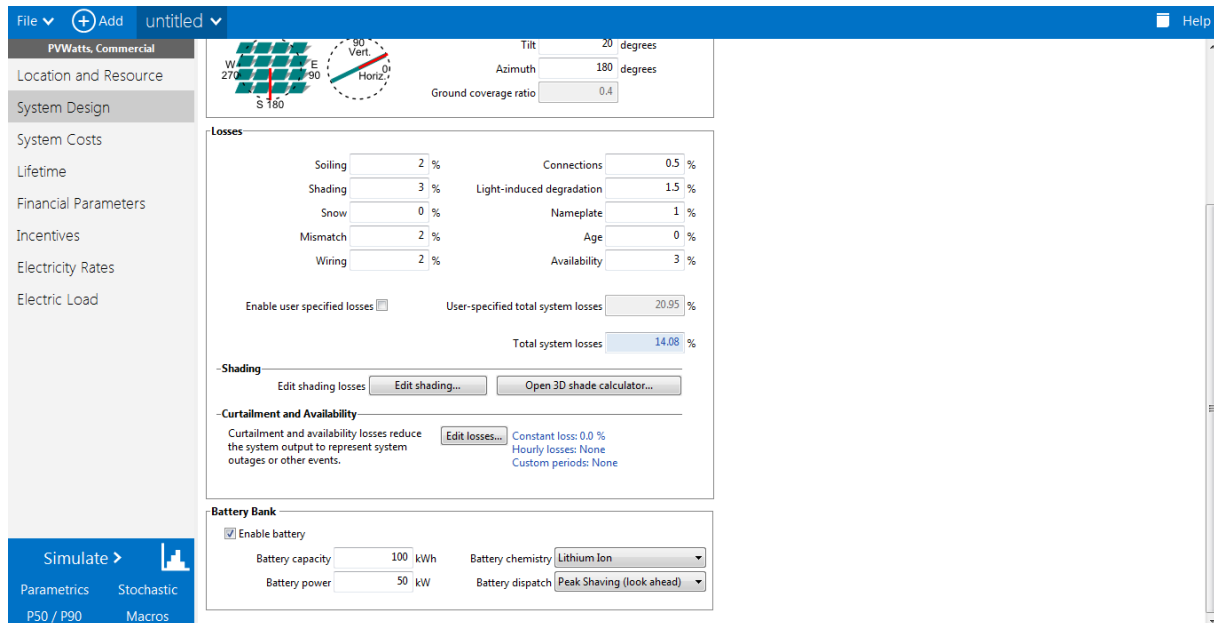


Figure V. 12 Paramètres de system desing (2) sur sam

2.2.3. System costs :

SAM calcule le flux de trésorerie et les mesures économiques qui en résultent sur la base de deux catégories de coûts. Les coûts d'investissement représentent le coût d'installation des modules, des onduleurs et des composants d'équilibre du système. Les coûts d'exploitation et d'entretien représentent les coûts récurrents d'entretien, de réparation et de remplacement des équipements. Pour les projets résidentiels et commerciaux, SAM permet d'attribuer les coûts d'exploitation et de maintenance à des années spécifiques, ce qui permet d'analyser les projets avec des remplacements d'onduleurs périodiques ou d'autres coûts périodiques

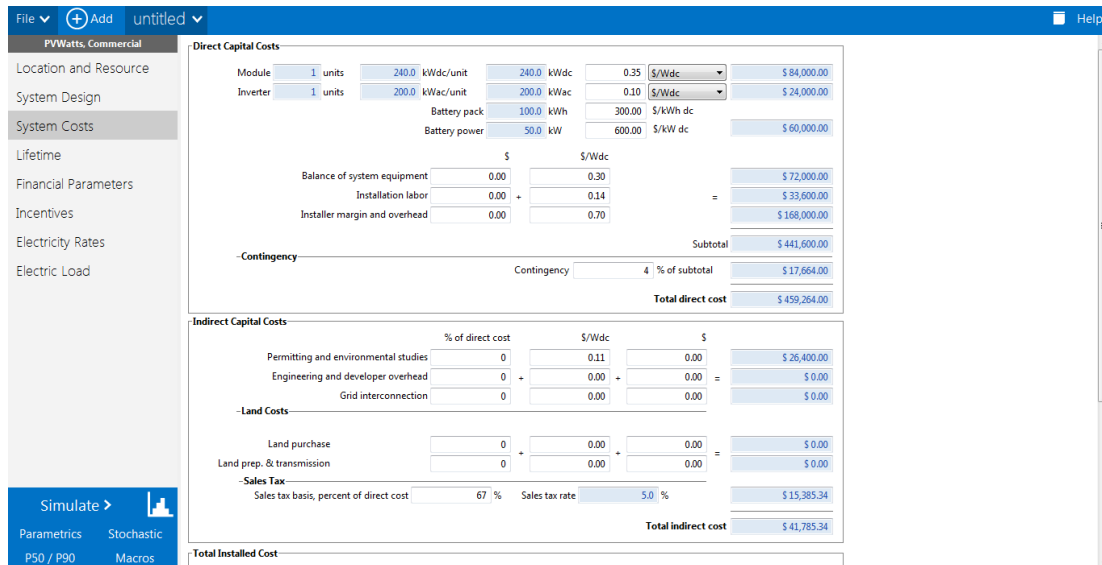


Figure V. 13: système costs (1) sur SAM

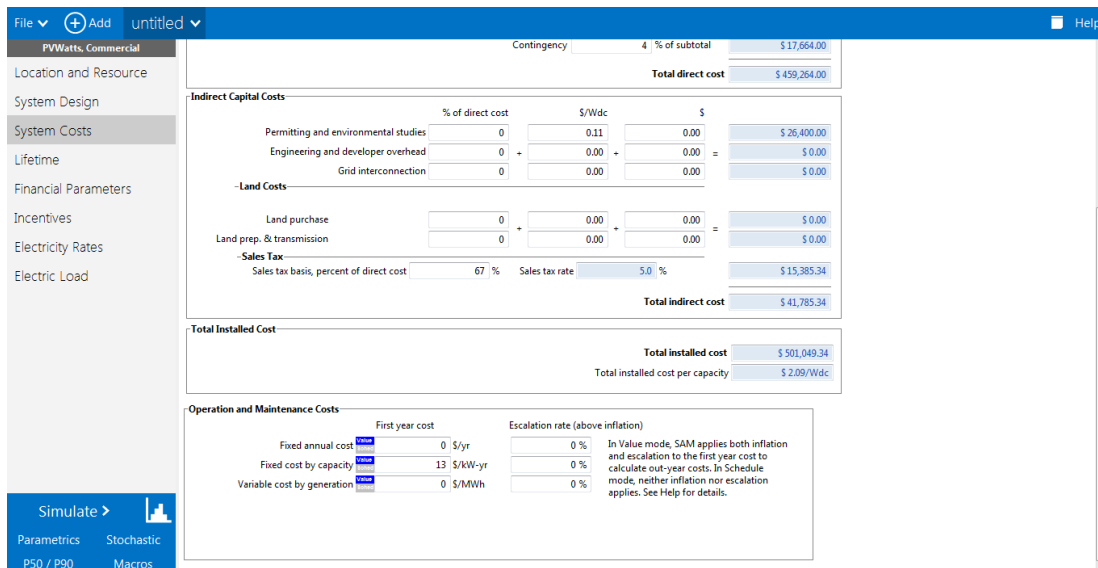


Figure V. 14: système costs(2) sur SAM

2.3. Discussions et interprétation des résultats de la simulation

Le logiciel SAM affiche les résultats de la simulation sous forme des courbes pour les différentes performances

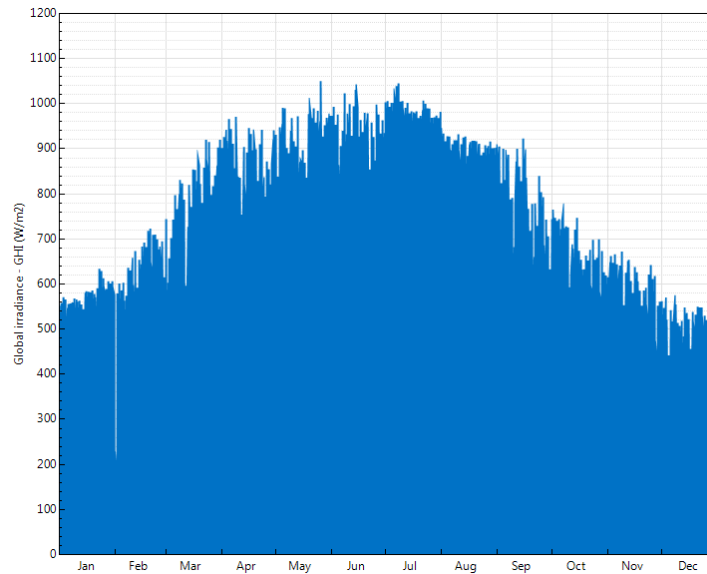


Figure V. 15: rayonnement global pendant l'année sur SAM

Une première constatation est la différence des irradiances entre celles des mois de décembre-janvier qui restent largement inférieures à celles du mois de juin et de juillet, ce constat qui s'explique par l'amplitude de l'ensoleillement de la journée qui reste relativement plus longue en été qu'en hiver. (Figure. V.15). Le maximum des irradiances horizontales d'environ 1050 Wh/m^2 est atteint au mois de juin, tandis que sa valeur ne dépasse pas les 650 Wh/m^2 au mois de décembre et de janvier.

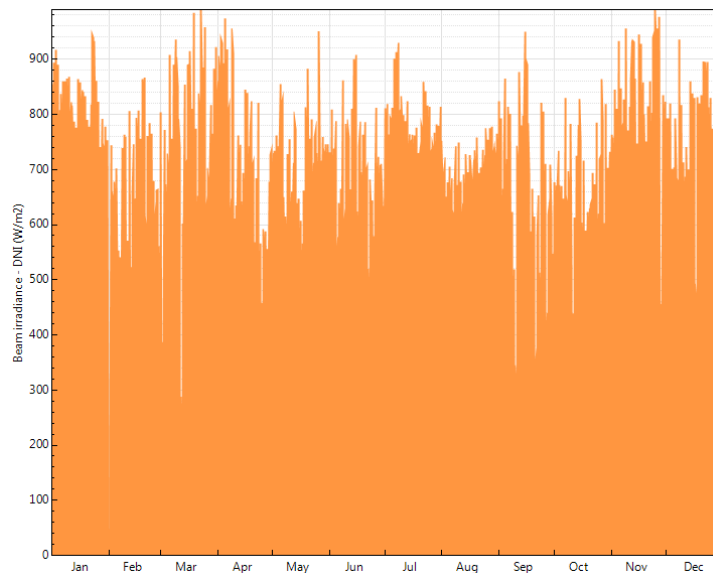


Figure V. 16: l'irradiation solaire au cours de l'année sur SAM

Figure V-16 montre l'irradiation solaire au cours de l'année. On remarque que l'irradiation du faisceau maximal est $1000 \text{ (w/m}^2)$, et l'irradiation solaire minimal est $40 \text{ (w/m}^2)$

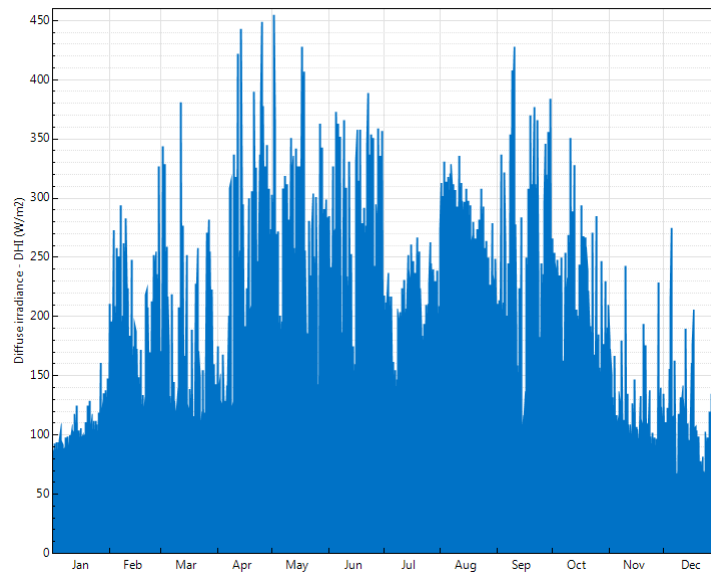


Figure V. 17: rayonnement diffus au cours de l'année sur SAM

Figure V-17 montre rayonnement diffus au cours de l'année. On remarque que rayonnement diffus maximal au cours du mois de Mai est 455 (w/m2), et rayonnement diffus minimal au cours du mois de Décembre est 70 (w/m2).

Analyse de la vitesse du vent sur le site :

Afin d'observer le profil de la vitesse du vent, nous avons regroupé dans la figure ci-dessous la variation annuelle de la vitesse du vent pour l'année 2019. Ces données sont générées avec un pas de 10 minutes par le système météo installé dans l'université de - Mohamed Khider- Biskra. A partir de la figure V-18, nous observons sur le site de la centrale solaire des vitesses moyenne de vent supérieures à 3 m/s entre 5h00 et 20h00 pendant toute l'année.

Les pics de vitesse du vent sont atteints entre le mois Mars et Mai avec des vitesses moyennes supérieures à 5 m/s. Et aussi les pics de vitesse du vent sont atteints entre 8h à 12h. La vitesse moyenne annuelle est de 3.4 m/s.

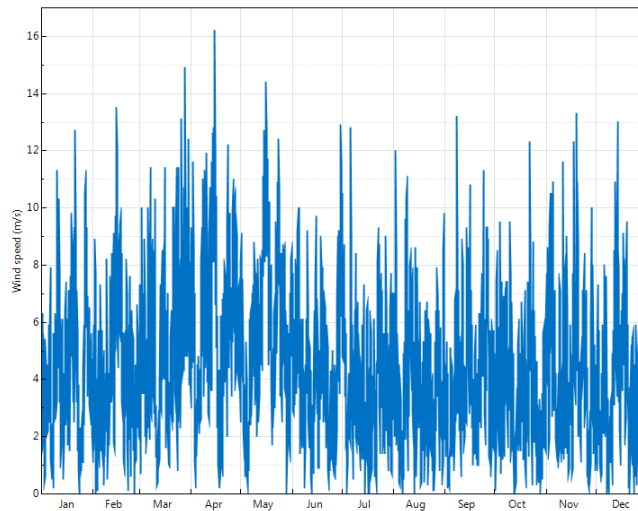


Figure V. 18: Vitesse du vent au cours de l'année

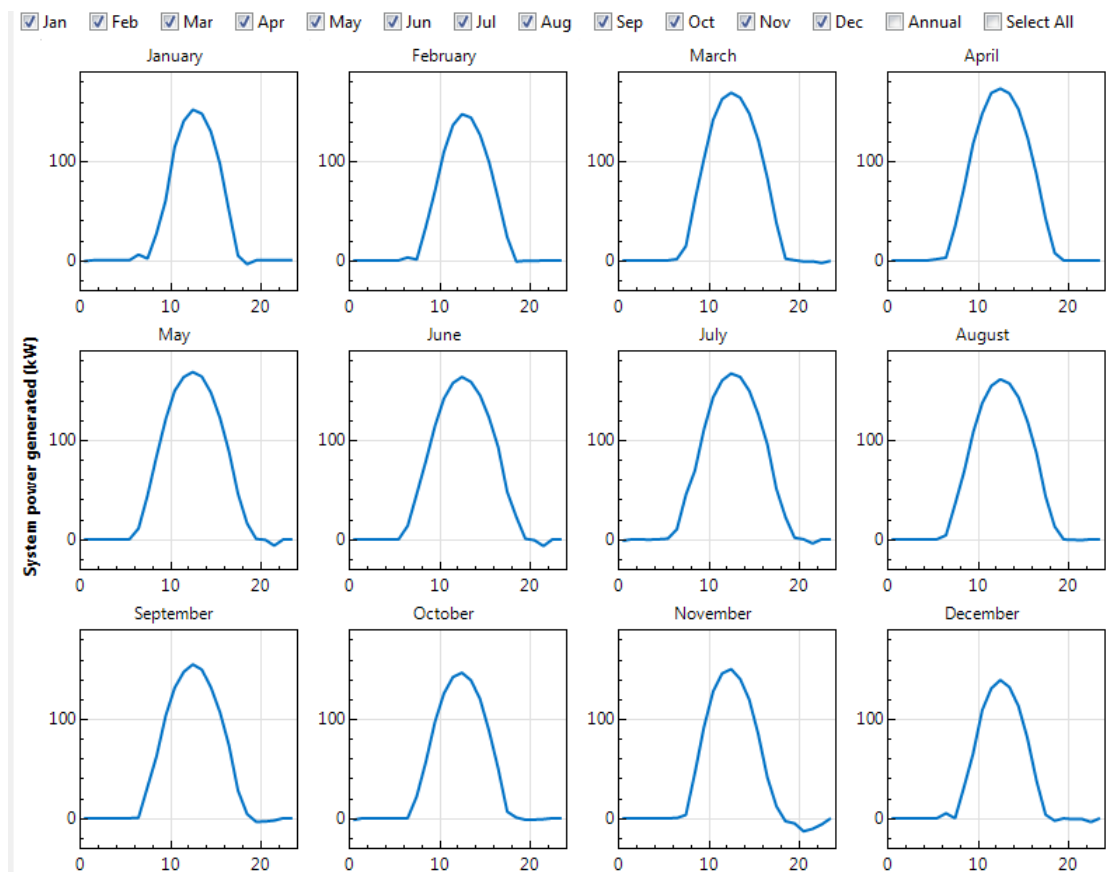


Figure V. 19: Puissance du système générée sur SAM

Nous observons la puissance du système générée sur le profil de puissance (Figure V-19) atteindre la valeur maximale entre les mois août et septembre (190 Kw) puisque, la

quantité d'irradiation augmente et la température atteindre valeur seuil de 40 °C. Inversement, pour une quantité d'irradiation faible para pour la valeur maximale (1050 W/m²) et une augmentation de la température ambiante, nous constatons la puissance de sortie est attendre entre 160 à 185 Kw. C'est une puissance suffisant pour le fonctionnement de la pompe.

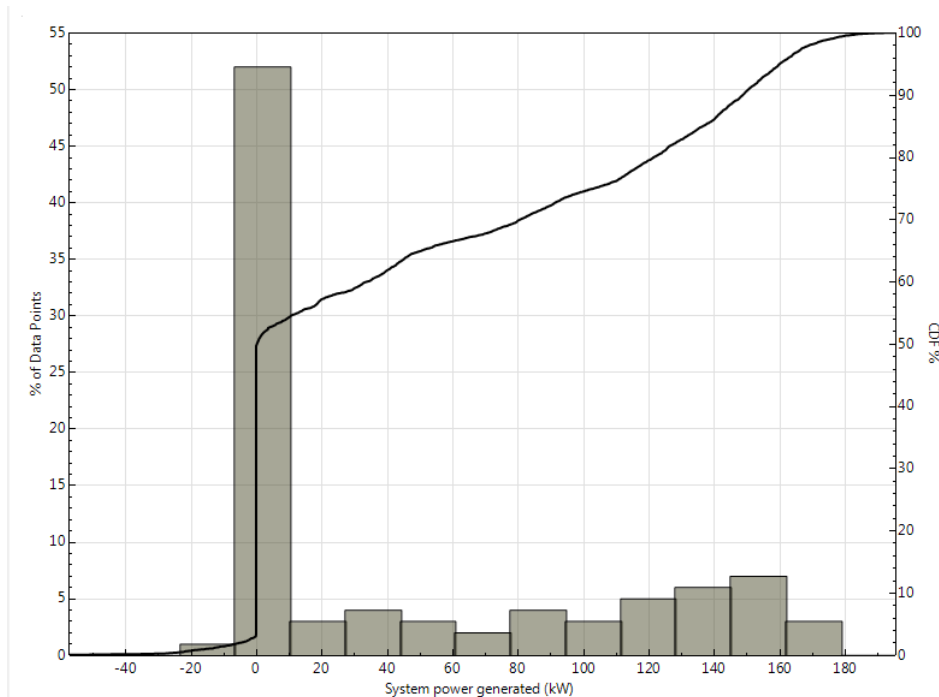


Figure V. 20: % de points de données Au cours de puissance du système générée sur SAM

La figure V-20 montre l'évolution de puissance de système générée au cours de l'année en fonction de % de points de données, la valeur zéro kW prend plus grand période puisque le système solaire fonctionne entre 8:00h et 19:00h, par contre la nuit ne fonctionne pas, dans cette période nous utilisons l'énergie stocké dans les batteries, et aussi nous observons les valeurs entre 120 kW à 162 kW sont plus générée c'est-à-dire la représentation de l'efficacité de ce système proposé

2.3.1. Les paramètres de sortie

L'onglet Summary affiche un tableau qui rassemble les résultats technico économique de la photovoltaïque, nous dans ce tableau on s'intéresse seulement par les résultats techniques à savoir l'énergie annuelle produite le facteur de capacité.

Metric	Value
Annual energy (year 1)	411,261 kWh
Capacity factor (year 1)	19.6%
Energy yield (year 1)	1,714 kWh/kW
Battery efficiency (incl. converter + ancillary)	50.31%
Levelized COE (nominal)	5.00 ¢/kWh
Levelized COE (real)	3.99 ¢/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$111,909
Electricity bill with system (year 1)	\$68,694
Net savings with system (year 1)	\$43,215
Net present value	\$175,415
Simple payback period	10.3 years
Discounted payback period	22.0 years
Net capital cost	\$501,049
Equity	\$0
Debt	\$501,049

Figure V. 21: Résultats pour chaque cas dans le fichier de projet

Dans cette partie de notre analyse, nous observons une carte d'identification de système proposé sous les conditions climatiques de Biskra, l'énergie annuel est égale 411261 kWh, et coût actualisé de l'énergie(levelized cost of energy) est égale 3.99 € / kWh

Les résultats de cette étude montrent que cette centrale photovoltaïque de 200 kWc fonctionne efficacement dans des conditions environnementales difficiles de Biskra et maintient sa performance relativement bien dans le temps. Cela pourrait constituer une incitation pour les investisseurs pour le développement futur d'une installation solaire photovoltaïque connectée au réseau.

CONCLUSION GENERALE

Dans ce projet, nous avons abordé le dessalement des eaux de faible salinité dans ses différentes voies possibles, avec une présentation des techniques, notamment l'osmose inverse grâce à l'énergie solaire, avec les avantages et les inconvénients de chacune

Le procédé de dessalement par osmose inverse est une technique de filtration membranaire. Il est utilisé pour le dessalement des eaux saumâtres, ainsi que des eaux usées urbaines et industrielles. Ce procédé permet l'élimination des sels et des substances organiques présentes dans les eaux ainsi qu'une partie des virus et des bactéries.

Afin de réduire les coûts d'exploitation des usines de dessalement. La méthode de dessalement indirect a été utilisée pour augmenter la quantité d'eau douce produite. Cette méthode combine deux technologies différentes, où des panneaux solaires sont utilisés pour collecter la lumière du soleil et l'énergie solaire, et la méthode d'osmose inverse (OI). Ainsi, l'énergie solaire est l'une des sources les plus importantes d'énergie renouvelable, ce qui peut aider à réduire les coûts

L'objectif de ce mémoire est d'étudier le de dessalement membranaire et solaire de l'eau saumâtre , dans le premier partie on a fait un étude biographique sur l'eau et le dessalement par osmose inverse, ce qui nous a permis de comprendre l'effet Salinité de l'eau d'alimentation, température, nombre et type de membrane, nombre de tubes et taux de conversion.

Grace au logiciel ROSA on a réussi à obtenir la puissance électrique nécessaire pour faire marcher notre unité de dessalement qui devra être implante a BISKRA, cette unité contient dix modules d'osmose inverse. Par la suite, une étude énergétique d'un photovoltaïque a été réalisée par logiciel SAM (Solar Advisor Model) afin de bien dimensionner les panneaux PV et ces accessoires.

Références bibliographiques

- [1] <https://planet-vie.ens.fr/thematiques/ecologie/gestion-de-l-environnement-pollution/l-eau-et-sa-gestion> CONSELTé le 23/06/2021
- [2] CHERIF Lamia (2012): « L'influence de la coagulation-floculation et décantation sur le prétraitement des eaux saumâtres ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention de Diplôme de Master en Hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen
- [3] <https://www.cieau.com/connaître-leau/connaître-leau/leau-dans-lunivers/> consulté le 21/06/2021
- [4]: [Halloufi Ouahid, Etude De La Performance d'un Distillateur Solaire Par Un Système De Préchauffage Solaire De l'eau Saumâtre, Mémoire De Magister Génie Climatique-Université Mentouri Constantin, 2010]
- [5] Livre : « Mémento et technique de l'eau TOME 2 ». Edition 10 France Degrémont conselté le 22/06/2021
- [6] KAROUT Souad (2009) : « Estimation des pertes thermiques dans des systèmes de dessalement par voie solaire ». Mémoire présenté pour obtenir le Diplôme de MAGISTER en Physique, université MENTOURI de CONSTANTINE conselté le 22/06/2021
- [7] Mlle KESBI Ammaria MEMOIRE FIN ETUDE Analyses physico-chimiques des eaux de mer dessalées par distillation « Cas d'ALZINC - Ghazaouet » université aboubakar belkaid tlemcen 13Juin 2017 conselté le 22/06/2021
- [8] <https://www.cieau.com/espace-enseignants-et-jeunes/les-enfants-et-si-on-en-apprenait-plus-sur-leau-du-robinet/la-definition-de-leau-potable/> consulté le 21/06/2021
- [9] BENAÏSSA Fatima Zohra MEMOIRE FIN ETUDE Etude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres UNIVERSITE ABOUBAKR BELKAÏD - TLEMENEN conselté le 22/06/2021

Références bibliographiques

[10] Alpha Sidiki MAIGA (2005) : « Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de BAMAKO : Evaluation saisonnière ». Pour obtenir le grade de Docteur en Pharmacie, faculté de Médecine de Pharmacie et D'ODONTO-STOMATOLOGIE CONSELTé le 22/06/2021

[11] Sazine Yasmina mémoire fin étude Contribution à l'étude de la reminéralisation de l'eau obtenue au niveau de la station de dessalement de Tizirt UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU 06 /10/2012

[12] Anes Abdelghani BENABADJI et Ilyas SAIDI mémoire «Etude sur le Dessalement de l'Eau Saumâtre préparée à partir des Eaux de Mer issues du prétraitement de la station de Souk-Tlata » uni tlmcn abou bekr belkaid juin 2016

[13]<https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimiephysique/thermodynamique-chimique/le-dessalement-de-l-eau-de-mer-et-des-eaux> consulté le 21/06/2021

[14]Oujdjina Nadjia MEMOIRE DE MAGISTER « LES NOUVELLES PERSPECTIVES DE DEVELOPEMENT DES RESSOURCES HYDRIQUES EN ALGERIE » UNIVERSITE SAAD DAHLAB- BLIDA Mars 2008

[15] Sellami Mohamed Hassen, Etude Et Amelioration Des Techniques De Distillation Solaire Dans La Region Sud-Est Algerien (Ouargla) These De Doctorat En Physique Universite Kasdi Merbah Ouargla

[16] MAKAOUI Kheir-eddine Mémoire de Master « Etude de la qualité des eaux du barrage de Fom El-Kharza de la région de Biskra » Université Mohamed khider – Biskra Juillet 2019

[17] HAMMI Yousra MEMOIRE FIN ETUDE Distillation solaire des eaux salées par nouvelles techniques UNIVERSITE KASDI MARBAH OUARGLA 2019 CONSELTe le 21/06/2021

[18][Selma Jariri 01 octobre 2009 : « LE DESSALEMENT D'EAU » un levier du développement durable au Maroc, office national de l'eau potable, expo Andalousie Maroc – Casablanca. Consulté le 03/03/2014

[19] [<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/content/2012-g04/schema-general-dune-installation-de-dessalement>] consulte 28/05/2021

Références bibliographiques

- [20] Farid TATA-DUCRU Janvier 2009 : « Dessalement de l'eau de mer bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes » Agence Française de Développement.
- [21]<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/content/2012-g04/procedes-dessalement> consulté 28/05/2021
- [22]<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/content/2012-g04/electrodialyse> consulté 28/05/2021
- [23] Rahmani Rym (2007) : « Rendement d'un distillateur solaire à film capillaire à plusieurs étages, effet de certains paramètres thermo physiques sur le rendement » Mémoire présente pour l'obtention diplôme de magister en génie climatique
- [24] ATALLAH « PROCEDE DE DESSALEMENT ET QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU DESSALEE PAR LA STATION DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER DE HONAINE » MEMOIRE DE FIN D'ETUDE 2013-2014 UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN
- [25] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0910/bei/beiere/groupe2/node/75.html> consulté le 28/05/2021
- [26] <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-physique/thermodynamique-chimique/le-dessalement-de-l-eau-de-mer-et-des-eaux> consulté 28/05/2021
- [27] BELBACHIR Feyza et AMEUR Amira mémoire fin d'étude [CONCEPTION D'UNE UNITE DE DESSALEMENT SOLAIRE] Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent Année universitaire 2017/2018
- [28] *INSA Toulouse* « Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant Dessalement par osmose inverse » DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE
- [29] LACHHABE Ahmed (2004) : « Comparaison entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration pour le Dessalement de l'eau de faibles concentrations en sel ». Mémoire de Projet de Fin d'Etudes pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Etat en Hydraulique, université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-..
- [30] Alfa Arzate, Ph.D (2008) : « Procédés de séparation membrane et leur application dans

Références bibliographiques

l'industrie alimentaire ». 142, Rang Lainesse Saint-Norbert d'Arthabaska Québec.

[31] Séminaire International (2009) : « Le dessalement des eaux: une opportunité pour les régions en pénurie d'eau? » *Tanger 8-10 mai 2009*.

[32] <https://www.lenntech.fr/francais/membranes-tubulaires.htm> consulté 01/06/2021

[33] <http://www.lenntech.fr/index.htm> consulté le 01/06/2021

[34] ALAM Ibtissem et KERROUM Amina (2008) : « Optimisation de fonctionnement d'une unité de traitement des eaux a IN SALAH ». Mémoire pour l'obtention du Diplôme DEUA en Hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.

[35] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/1281> consulté le 01/06/2021.

[36] http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0607/beiere/1/html/projet_dessalement3.html consulté 01/06/2021

[37] <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> CONSELTé 31/05/2021

[38] <http://energie-eolienne.over-blog.com/2016/04/les-energies-renouvelables.html> conselté 31/05/2021

[39] <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/qu-est-ce-que-l-energie-solaire>

[40] <https://www.climamaison.com/lexique/rayonnement-solaire.htm> (conselté le 31/05/2021°)

[41] https://www.researchgate.net/figure/Composantes-du-rayonnement-solaire-Le-rayonnement-solaire-arrive-au-sol-directement-et_fig23_285322379 conselté le 31/05/2021

[42] A. Mefti et M. Bouroubi, "Estimation et cartographie du Rayonnement solaire", Rapport technique (1992) CDER, Bouzareah, Alger

[43] <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/21505314> CONSELTé le 31/05/2021

Références bibliographiques

[44] NOUN MOHAMED SEDIK MEMOIRE pour OBTENU DU DIPLOME DE MASTER (Etude des paramètres impactant sur le rendement d'un capteur solaire) 2017/2018 UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA

[45][https://www.doc-developpement-durable.org/file/Energie/Solaire divers/1ASDER_types_capteurs_solaires.pdf](https://www.doc-developpement-durable.org/file/Energie/Solaire%20divers/1ASDER_types_capteurs_solaires.pdf) CONSELTé le 31/05/2021

[46] <https://direns.mines-paristech.fr/Sites/Thopt/fr/co/capteurs-solaires.html> CONSELTé le 31/05/2021

[47] http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Solaire_thermique_%C3%A0_concentration CONSELTé le 31/05/2021

[48]<http://tpe-si-2011.e-monsite.com/pages/l-energie-solaire/l-energie-solaire-thermodynamique/centrales-a-capteurs-cylindro-paraboliques.html> CONSELTé le 31/05/2021

[49] <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-thermodynamique-concentration> CONSELTé le 31/05/2021

[50]<http://tpe-si-2011.e-monsite.com/pages/l-energie-solaire/l-energie-solaire-thermodynamique/et-apres.html> conselté le 31/05/2021

[51]<http://tpe-si-2011.e-monsite.com/pages/l-energie-solaire/l-energie-solaire-thermodynamique/centrales-a-capteurs-paraboliques.html> CONSELTé le 31/05/2021

[52]<https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-fonctionnement-d-une-centrale-solaire-thermique>

[53] Halouane Assia MEMOIRE DE FIN D'ETUDES « Modélisation du transfert radiatif dans les strates supérieures d'un module photovoltaïque » UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES 2016/2017

[54]M. Reggane, D. Djidja, « Étude d'une installation photovoltaïque pour l'alimentation en électricité d'un centre enfûteur de GPL (NAFTAL) », mémoire de Master, UMMTO, 2012

[55]http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Installation_photovolta%C3%AFque_autonome

Références bibliographiques

[56] Dr. BELAID LALOUNI Sofia Cours Energie Solaire Photovoltaïque Université A.MIRA de BEJAIA

[57] Hichem DAHMANI Mohamed BOUZAIA Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque dédié à une habitation. 2016 /2017

[58] Salim ARAB Dalila TOUDERT Etude d'un Système Photovoltaïque UNIVERSITEMOULOUDE MAMMERI DE TIZI-OUZOU 25/09/ 2017

[59] <https://www.maison-travaux.fr/maison-travaux/renovation-par-type/toiture-charpente/toiture-toiture-charpente/avantages-inconvenients-dune-toiture-photovoltaique-fp-194680.html>

[60] [https://openei.org/wiki/System_Advisor_Model_\(SAM\)](https://openei.org/wiki/System_Advisor_Model_(SAM))