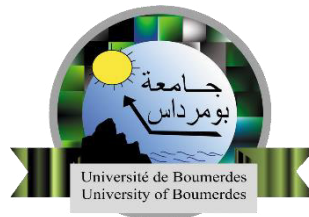


N° Ordre..... /DGM/FSI/UMBB/2018

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en
Filière : **Energie Renouvelable**
Spécialité : **Energie Renouvelable en Mécanique**

Thème

***DESSALEMENT SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE DES
EAUX SAUMATRES PAR OSMOSE INVERSE***

Réalisé par

✚ Melle. ZOUAID Khaoula
✚ Melle. GUETTARA Rachida

Promotrice

✚ Mme. GUERRACHE Fadila

Encadreur

✚ Dr. DROUCHE Nadjib

Année universitaire : 2017 /2018

Dédicace

À mes parents

Mes sœurs et mes frères

Mes nièces mes neveux

Ma famille

Mes amies

Zhaoula

Dédicace

A mes parents

A mon mari Lekman

Mes sœurs et mes frères

Mes nièces mes neveux

Ma famille


Famille Charadi

Mes amies

Rachida

Remerciement

A l'occasion de la rédaction de ce mémoire de fin d'étude, nous tenons Particulièrement, à remercier en premier lieu Dieu tout puissant de nous voir donner la possibilité d'étudier et de pouvoir terminer ce travail.



Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à Mme. Faalla GUERRACHE pour avoir acceptée de nous encadrer à travers ce sujet. Nous les remercions aussi pour leurs orientations, leurs judicieux conseils et de sa disponibilité durant toute la période de notre projet.

Mers sincères remerciements et ma plus grande reconnaissance à mon encadreur Monsieur Dr DROUCHE Nadjib Vous m'avez fait le grand honneur de me confier cette thèse votre gentillesse votre modeste et vos qualités humaines n'ont rien d'égales que votre compétence qui mérite toute admiration.

Au président Pr HACHEMI Madjid et aux membres de jury Dr AKSAS Hamouche et Dr CHILLIL Ahmed pour avoir acceptés de juger ce modeste travail, merci à vous également.

Je remercie également tous les enseignants du département de génie mécanique pour leurs contributions à ma formation.

Merci à tous qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

KHAOULA ET RACHIDA



الجزائر بلد لديه موارد مياه مالحة كبيرة ومجال شمسي بنفس القدر من الأهمية، يجب أن يستخدم تقنيات تحلية المياه المالحة، التي تثبت موثوقيتها من خلال ربطها بمصادر الطاقة المتجددة لإنتاج مياه الشرب.

تعتمد دراستنا على تقنية تحلية المياه الجوفية بالطاقة الشمسية من خلال عملية التناضح العكسي مدعومة بالألواح الشمسية لإنتاج الماء المحمول الذي يهدف إلى تطبيق واسع جدا (للاستخدام المنزلي والإنتاج الزراعي وتربية الأحياء المائية، الصناعة، الصحة...) لبعض سكان قرية دار شيوخ الواقعة في ولاية الجلفة في الجزائر.

تم قياس التيار الكهربائي للألواح الضوئية والبارامترات الفيزيائية-الكيميائية للمياه الجوفية (الموصلية الكهربائية، التعكر، الرقم الهيدروجيني ودفق التخلل) في مختبرات مركز البحث في تكنولوجيا نصف النواقل الطاقوية بالجزائر E.S.T.R.C.

أظهرت نتائج التحاليل التي أجريت خلال هذه الدراسة أن المحطة تعمل بشكل صحيح، من حيث جودة مياه الشرب ومن حيث الطاقة.

الكلمات المفتاحية: تحلية المياه، الطاقات المتجددة، مجال الطاقة الشمسية، ألواح الشمسية، المياه المالحة، المياه الجوفية، الأغشية، التناضح العكسي.



L'Algérie c'est un pays qui dispose de ressources hydriques salines considérables et d'un gisement solaire tout aussi important, doit utiliser les techniques de dessalement, dont la fiabilité n'est plus à démontrer, en les associant à des sources d'énergies renouvelables pour produire de l'eau potable.

Notre étude est basée sur la technique de dessalement solaire des eaux souterraines par le processus d'osmose inverse alimenté par des panneaux photovoltaïques pour produit de l'eau potable destinée à d'application très vaste (à usage domestique, la production agricole et l'aquaculture, industrie, santé...) de quelques habitants du petit village de Dar Chioukh située dans la willaya de Djelfa en Algérie.



Le courant électrique des panneaux photovoltaïques et les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines (la conductivité électrique, la turbidité, le pH et le flux de perméat) ont été mesurés au sein des laboratoires on Centre de Recherche en Technologie des Semi-conducteurs pour l'Energétique C.R.T.S.E d'Alger.

Les résultats des analyses effectuées pendant cette étude sont révélés que la station a été bien dimensionnée et qu'elle fonctionne correctement, en termes de qualité d'eau potable et en termes d'énergie.

Mots clés : Dessalement, énergies renouvelables, gisement solaire, panneaux photovoltaïques, eaux saumâtres, eaux souterraines, membranes, osmose inverse.



Algeria is a country that has considerable saline water resources and an equally important solar deposit, must use desalination techniques, whose reliability is well established, by associating them with sources of renewable energy to produce drinking water

Our study is based on the technique of solar desalination of groundwater by the process of reverse osmosis powered by photovoltaic panels for portable water product intended for very wide application (for domestic use, agricultural production and the aquaculture, industry, health ...) of some inhabitants of the small village of Dar Chioukh located in the Djelfa in Algeria.

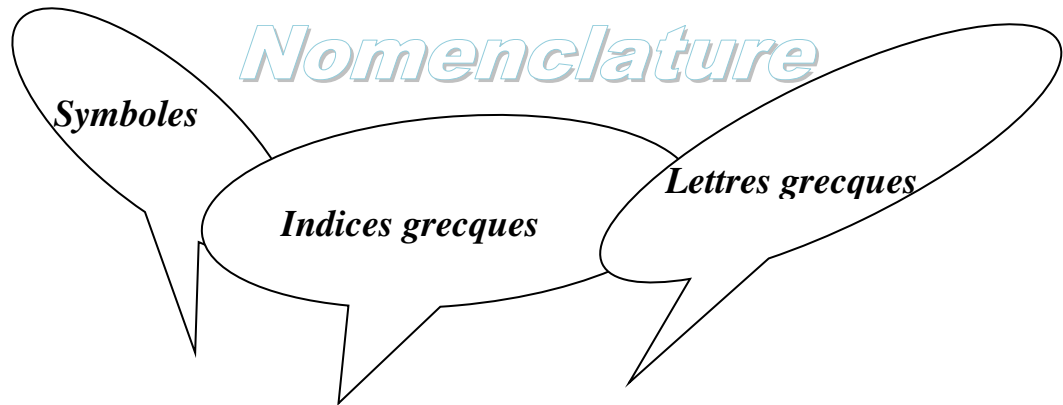
The electrical current of the photovoltaic panels and the physicochemical parameters of the groundwater (electrical conductivity, turbidity, pH and permeate flux) were measured in the laboratories one Research center in Technology of the Semi -drivers for Energetics C.R.T.S.E of Algiers.



The results of the analyzes carried out during this study revealed that the station was well sized and functioning properly, in terms of drinking water quality and in terms of energy.

Key words: Desalination, renewable energies, solar layer, photovoltaic panels, brackish water, groundwater, membranes, reverse osmosis.





Symboles

- C^* Constante solaire [W/m^2]
 C_p Chaleur spécifique à pression constante [$\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$]
 C Coefficient de perte entre [0.75 et 0.8]
 E Energie produite [Wh]
 E_i Energie solaire journalière [$\text{kw}/\text{h}/\text{jour}$]
 ET Equation du temps [min]
 G^* Eclairement solaire direct sur le collecteur [W/m^2]
 H Ensoleillement sur la surface inclinée [KWh/m^2]
 I_i Rayonnement solaire directe incident [W/m^2]
 J_v Flux de perméat [$\text{m}^3/\text{h m}^2$]
 $K(\theta_i)$ Angle d'incidence modifié [$^\circ$]
 K_t Coefficient de clarté
 $\overline{K_t}$ Moyenne mensuelle de coefficient de clarté
 L Longitude [$^\circ$]
 N Nombre de panneaux
 Nu Nombre de Nusselt
 P Puissance [W]
 P_c Puissance crête du champ PV [kw]
 P_i Puissance d'éclairement aux stc [kw/h]
 Pr Ratio de performance
 Ra Rayonnement [W/m^2]
 \overline{Ra} Rayonnement solaire moyen, mensuel mesuré sur une surface horizontale [W/m^2]
 S Surface [m^2]
 T Température [K]
 TSV Temps solaire vrai [h]
 TSM Temps solaire moyenne [h]
 TL Temps légal [h]
 TU Temps universel [h]
 ΔT Différence de température [$^\circ\text{C}$]
 a Azimut du soleil [$^\circ$]
 d_j Durée du jour [h]
 h Hauteur du soleil [$^\circ$]
 h_{cv} Coefficient d'échange par convection et conduction [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
 h_f Coefficient d'échange par convection de fluide caloporteur [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
 i Inclinaison [$^\circ$]
 m Numéro de mois



n_j	Numéro de jour de l'année
p	Pression [Pa]
q	Quantité de chaleur [KJ/Kg]

Indices

o	Nominale
d	Diffus
di	Diffus sur une surface inclinée
l	Levée
L	Globale
sol	Soleil

Lettres Grecques

Φ	Latitude [°]
ω	Angle horaire [°]
δ	Déclinaison [°]
ξ	Taux d'ensoleillement
ρ	Coefficient de réflexion
$\rho(T_e)$	Densité de fluide caloporteur entrant dans le champ solaire [Kg/m³]
θ	Angle [°]
σ	Constante de Stefan-Boltzmann [W/m².K⁴]
η	Rendement
α	Coefficient d'absorption
ε	Coefficient d'émissivité
τ	Coefficient de transmission
γ	Indice adiabatique
ϕ, φ	Flux de chaleur [W/m².K]

Abréviations

MSF	Distillation à multi stage flash
MED	Distillation à effets multiples
VC	Distillation par compression de la vapeur
OI	Osmose inverse
ED	Electrodialyse
TDS	Conductivité / solides totaux dissous



Table des matières

Dédicaces

Remerciement

Résumé

Nomenclature

Table des matières

Liste de figures

Liste des tableaux

CHAPITRE 1. Technologie de l'Energie Solaire

Introduction	3
I. Energie renouvelable	3
I.1. Différentes sortes d'exploitation.....	4
I.2. Gisement solaire.....	5
I.2.1. Soleil.....	5
I.2.2. Origine de l'énergie solaire.....	6
I.2.3. Constante solaire.....	6
I. 2.4. Terre.....	7
I.2.5. Mouvement de la terre autour du soleil.....	7
I.2.6. Sphère céleste.....	8
I.2.8. Durée du jour.....	13
I.2.9. Fraction d'insolation.....	14



I.3. Rayonnement solaire.....	14
I.4. Coefficient de clarté.....	16
I.5. Estimation du rayonnement solaire.....	16
I.6. Mesure de rayonnement solaire.....	18
I.6.1. Rayonnement solaire directe.....	19
I.6.2. Rayonnement global.....	19
I.6.3. Rayonnement diffus.....	20
II. Semi-conducteurs.....	21
II.1. Définition.....	21
II.1.2 Structure.....	21
II.1.3. Types des semi-conducteurs et l'emplacement dans le tableau du Mendeleïev.....	22
II.1.3.1. Silicium.....	24
II.1.3.1.1. Différents types de silicium.....	24
II.1.3.1.2 Structure cristalline du silicium.....	25
II.1.3.1.3 Diagramme de bande d'énergie.....	25
II.1.3.1.4. Conduction dans le silicium et le niveau de Fermi.....	26
II.1.3.1.5. Procédés de production du silicium pur.....	28
II.2. Cellule photovoltaïque.....	29
II.2.1 Définition.....	29
II.2.2 Principe de fonctionnement.....	29
II.2.3 Caractéristique électrique d'une cellule photovoltaïque.....	30



II.2.3.1. Tension de circuit ouvert.....	30
II.2.3.3 Courant de court-circuit.....	31
II.2.3.3 Puissance maximale.....	31
II.2.4. Différentes technologies de cellules photovoltaïques.....	31
II.5.1. Fabrication des cellules.....	33
II.5.1.1. Assemblage des modules et la réalisation du système PV.....	34
II.5.2. Centrales solaires ou photovoltaïques	34
IV. Conversion de l'énergie solaire.....	35
IV.2. Convertisseurs photo thermique de l'énergie solaire (Solaire thermique).....	36
IV.3. Bilan thermique d'un capteur solaire plan	46
Conclusion.....	50

CHAPITRE 2. Technique de Dessalement des Eaux

Introduction	51
I. dessalement des eaux saumâtres.....	51
I.1 Cycle d'eau	51
I. 2. Besoins et les ressources d'eau.....	52
I. 3. Classification des eaux.....	53
I. 4. Qualité de l'eau potable.....	54
I.5. Schéma général d'une installation de dessalement.....	55
I.6. Techniques de dessalement.....	56
I.6.1. Procédés à membranes.....	56



I.6.1.1. Electro dialyse.....	56
I.6.1.2. Osmose inverse.....	58
I.3. Structure membranaire.....	59
I.3.1. Membranes symétriques.....	59
I.3.2. Membranes asymétriques.....	59
I.3.3. Membranes composites.....	60
I.4.1. Modules plans.....	61
I.4.2. Modules tubulaires.....	62
I.4.3. Modules spiralés.....	63
I.4.4. Modules fibres creuses.....	63
I.5. Membrane fréquemment utilisée en OI.....	64
II. Energies renouvelables dans le traitement des eaux	65
II.1. distillation solaire.....	65
II.2. dessalement solaire.....	67
Conclusion.....	67
✚ CHAPITRE 3. Dessalement Photovoltaïque Salaire desEaux Saumâtres par Osmose Inverse	
Introduction.....	70
I. Présentation de l'organisme d'accueil.....	70
I.1. Centre de Recherche en Technologie des Semi-conducteurs pour l'Energétique C.R.T.S.E d'Alger.....	70
I.2. Dar Chioukh.....	71
II. Méthodologie.....	73





II.1. Motifs du choix de l'énergie solaire.....	73
II.2. Motifs du choix l'osmose inverse	73
II.3. Typologie des variables à prendre en considération.....	73
II.4. Production d'eau potable.....	74
III. Etude d'unité de dessalement.....	74
III. 1. Situation géographique	74
III.2. Processus de dessalement.....	75
III.2. 1. Présentation de système photovoltaïque.....	76
III.2.1.1. Caractéristiques des panneaux solaires.....	76
III.2.1.2. Spi-lamineur™ 240.....	79
III.2.1.3. Four de cuisson.....	79
III.2.1.4. Spi-Sun Simulators™ 240.....	80
III.2.1.5. Testeur d'isolation à haute tension.....	81
III.2.1.6. Onduleur	82
III.2.1.7. Dimensionnement des câbles.....	82
III.2.1.8. Batterie.....	84
II.3. Dimensionnement de système l'osmose inverse.....	86
III.3.1. Membranes.....	86
III.3.2. Pompe.....	86
III.4. unité de dessalement solaire photovoltaïque par osmose inverse.....	88
III.4.1. Technique de dessalement solaire photovoltaïque par osmose inverse.....	89

CHAPITRE 4. Résultats et Discussions

I. Caractéristiques I-V de panneau solaire	94
--	----



II. Matériels utilisés pour le dessalement.....	99
II.1. Prélèvements et analyses.....	99
II.1.1. Prélèvements	99
II.1.2. Méthodes analytiques	99
II.2. Courbes d'évolution et interprétations.....	101
Conclusion.....	105
 Conclusion générale.....	106
 Reference bibliographique.....	107



Liste des figures

Figure 1. Zones du sol.....	[5]
Figure 2. Variation annuelle de la constante solaire.....	[7]
Figure 3. Mouvement de la terre autour du soleil.....	[8]
Figure 4. Sphère céleste.....	[8]
Figure 5. Coordonnées géographiques.....	[9]
Figure 6. Déclinaison du soleil en fonction des jours.....	[10]
Figure 7. Coordonnées horaires.....	[10]
Figure 8. Coordonnées horizontales.....	[11]
Figure 9. Type de rayonnement solaire.....	[15]
Figure 10. Rayonnement extraterrestre en fonction des jours.....	[16]
Figure 11. Pyrhéliomètre.....	[19]
Figure 12. Solarimètre type (KippZonen).....	[19]
Figure 13. Pyranomètre.....	[20]
Figure 14. Pyranomètre avec anneau d'ombrage.....	[20]
Figure 15. Albédo mètre.....	[21]
Figure 16. Tableau périodique des éléments de Mendeleïev.....	[23]
Figure 17. Structure cristalline de silicium.....	[25]
Figure 18. Diagramme de bandes d'énergie du silicium.....	[26]
Figure 19. Conduction dans le silicium.....	[27]
Figure 20. Courant généré par le champ électrique.....	[27]



Figure 21. Schéma représentatif des procédés de production du silicium pur.....	[28]
Figure 22. Mouvement électrons-trous dans un matériau semi-conducteur.....	[30]
Figure 23. Caractéristique J-V et P-V sous l'éclairement.....	[31]
Figure 24. Etapes de fabrication d'un module photovoltaïque au silicium cristallin...	[34]
Figure 25. Centrale solaire.....	[34]
Figure 26. Capteurs solaire concentrateur.....	[36]
Figure 27. Cloche du jardinier.....	[37]
Figure 28. Capteur à air.....	[37]
Figure 29. Capteur à air utilisé en climatisation "Mur Trombe- Michel".....	[38]
Figure 30. Distillateur solaire.....	[38]
Figure 31. Chauffage d'une piscine à l'aide d'un capteur sans vitrage.....	[39]
Figure 32. Capteur plan avec couverture "Double vitrage".....	[40]
Figure 33. Capteur couplé avec un ballon d'eau chaude "Chauffe-eau solaire".....	[40]
Figure 34. Capteur stockeur.....	[41]
Figure 35. Etang solaire.....	[41]
Figure 36. Capteurs à tube sous vide.....	[42]
Figure 37. Capteur à tube sous vide avec concentration.....	[43]
Figure 38. Capteur cylindro-parabolique nord-sud mobile autour d'un axe.....	[43]
Figure 39. Capteur COSS (à chaudière mobile).....	[44]
Figure 40. Capteur à concentration deux axes.....	[45]
Figure 41. Bilan thermique d'un capteur solaire plan.....	[47]



Figure 42. Gradient de température.....	[48]
Figure 43. Cycle hydrologique d'eau.....	[52]
Figure 44. Schéma général d'une installation de dessalement.....	[55]
Figure 45. Unité électrodialyse.....	[57]
Figure 46. (a) Osmose Directe (b) Osmose Inverse.....	[58]
Figure 47. Membranes symétriques et asymétriques.....	[59]
Figure 48. Fonction des différentes couches d'une membrane composite.....	[61]
Figure 49. Modules plans.....	[62]
Figure 50. Membranes de modules tubulaires.....	[62]
Figure 51. Modules spiralés.....	[63]
Figure 52. Membranes de modules fibres creuses.....	[63]
Figure 53. Couches constitutives d'une membrane d'osmose inverse.....	[64]
Figure 54. Limite géographique de la wilaya de Djelfa.....	[72]
Figure 55. Géographique la ville El-Harrach d'Alger.....	[75]
Figure 56. Dimensions de panneau solaire.....	[76]
Figure 57. Trois cellules photovoltaïques.....	[78]
Figure 58. Spi-laminator TM 240.....	[79]
Figure 59. Four de cuisson.....	[80]
Figure 60. Spi-Sun Simulators TM 240.....	[81]
Figure 61. Hipots AC / DC série 100.....	[82]
Figure 62. Hipots AC / DC série 100.....	[82]
Figure 63. Onduleur intégrée régulateur.....	[84]



Figure 64. Section des câbles.....	[84]
Figure 63. Batterie plomb CSB 12V 100 AH GPL 121000.....	[85]
Figure 64. Membrane micro-filtration.....	[86]
Figure 65. Membrane osmose inverse.....	[87]
Figure 66. Démontions de membrane.....	[87]
Figure 67. Schème représentatif d'unité de dessalement solaire photovoltaïque par osmose inverse.....	[88]
Figure 68. Photo réelle d'unité de dessalement solaire photovoltaïque par osmose inverse.....	[88]
Figure 69. Principe de l'osmose inverse.....	[89]
Figure 70.	[94]
Figure 71.	[95]
Figure 72	[96]
Figure 73.	[97]
Figure 74.	[98]
Figure 75. Conductimètre électrique (HI 2315).....	[99]
Figure 76. Turbidimètre (HACH 2100Q).....	[100]
Figure 77. PH-MÈTRE.....	[101]
Figure 78. Courbe d'évolution de conductivité électrique d'eau au mode continu en fonction du temps.....	[102]
Figure 79. Courbe d'évolution de conductivité électrique d'eau au mode discontinu en fonction du temps.....	[102]
Figure 80. Courbe d'évolution de pH au mode continu en fonction du temps.....	[102]
Figure 81. Courbe d'évolution de pH au mode discontinu en fonction du temps.....	[103]



Figure 82. Courbe d'évolution de turbidité on mode continue en fonction du temps.....	[103]
Figure 83. Courbe d'évolution de turbidité on mode discontinue en fonction du temps....	[103]
Figure 84 . Courbe d'évolution de flux de perméat J_v on mode continue en fonction du temps.....	[104]
Figure 85. Courbe d'évolution de flux de perméat J_v on mode discontinue en fonction du temps.....	[104]

Liste des tableaux

Tableau 1. Constantes empiriques de rayonnement direct.....	[17]
Tableau 2. Constante empirique de rayonnement diffus.....	[17]
Tableau 3. Constante empirique de rayonnement globale.....	[17]
Tableau 4. Distribution des ressources en eau dans le monde.....	[53]
Tableau 5. Classification des eaux selon la salinité.....	[54]
Tableau 6. Géographique de la commune Dar Chioukh.....	[72]
Tableau 7. Données électrique de panneau solaire.....	[76]
Tableau 8. Données mécaniques de panneau solaire.....	[77]
Tableau 9. Coefficient de température panneau solaire.....	[77]
Tableau 10. Valeurs limites de panneau solaire.....	[77]
Tableau 11. Données générales de panneau solaire.....	[78]
Tableau 12. Données d'emballage.....	[78]
Tableau 13. Valeurs des sections des câbles entre les panneaux photovoltaïques et la boîte de jonction et l'onduleur.....	[83]
Tableau 14. Valeur de section des câbles entre l'onduleur et la batterie.....	[83]



Tableau 15. Démentions de membrane.....	[78]
Tableau16. Irradiation journalière de lieux (AL-Harache) année 2017.....	[80]
Tableau 17. Valeur du Ration de performance PR d'une installation photovoltaïque autonome en fonction de la ventilation des modules.....	[91]
Tableau17.	[94]
Tableau 18.	[95]
Tableau 19.	[96]
Tableau 20.	[97]
Tableau 21.	[98]





INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les pays du sud méditerranéen sont confrontés à une pénurie d'eau croissante. Cette pénurie induit la nécessité d'augmenter l'alimentation traditionnelle en eau via des sources alternatives. Les régions rurales et isolées sont particulièrement désavantagées car elles sont souvent situées loin des systèmes municipaux d'alimentation en eau et des sources conventionnelles, et souvent, elles ne sont pas reliées au réseau d'électricité.

Il existe des possibilités d'aborder le problème de la pénurie d'eau en zones rurales et isolées grâce à des technologies durables de dessalement de l'eau salée. Le dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre est une industrie bien établie composée d'une large gamme des technologies disponibles avec une expérience de dizaines d'années.

Devant une crise d'eau certaine qui commence à se faire sentir à travers le monde, en plus des contraintes économiques pour un développement durable, des solutions appropriées nécessitent d'être élaborées afin de se préparer à faire face à ce défi qui menace l'existence même de l'homme.

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



De nos jours il existe de nombreux types de technologies pour le dessalement de l'eau saumâtre. Plusieurs de ces technologies sont déjà bien établies et maîtrisées ; d'autres se trouvent à des stades avancés de développement, tandis que de nouvelles technologies fondées sur des idées novatrices et de nouveaux développements scientifiques continuent de voir le jour.

INTRODUCTION GENERALE

Bien qu'elles soient considérables les ressources en eau ne sont pas infinies et même l'Algérie, qui fut longtemps un pays riche en eau, a dû prendre conscience du problème de l'eau. Une des solutions pour pallier le manque d'eau potable sont les stations de dessalement. Celles-ci permettent de produire de l'eau potable à partir d'eaux saumâtres grâce à des techniques particulières.

Nous traitons à travers ce mémoire un projet intégrant des énergies renouvelables. La technique de dessalement solaire des eaux souterraines par le processus d'osmose inverse alimenté par des panneaux photovoltaïques pour produit de l'eau potable destinée à d'application très vaste (à usage domestique, la production agricole et l'aquaculture, industrie...) de quelques habitants du petit village de Dar Chioukh située dans la willaya de Djelfa en Algérie. Cette étude est faite à Centre de Recherche en Technologie des Semi-conducteurs pour l'Energétique C.R.T.S.E d'Alger, au sein de ces laboratoires ou notre stage a été effectué.

Description du mémoire

Notre manuscrit est structuré en une introduction générale ainsi que quatre chapitres et des références bibliographiques. Technologie de l'énergie solaire a été résumée dans le premier chapitre. Le deuxième chapitre, technologie de dessalement des eaux a été développée. Dans le suivant, représentant le noyau du mémoire, dessalement solaire photovoltaïque de l'eau saumâtre de la commune de Dar Chioukh, par principe d'osmose inverse effectuée au Centre de Recherche en Technologie des Semi-conducteurs pour l'Energétique C.R.T.S.E d'Alger C.R.T.S.E.

Le dernier chapitre, résultats et discussions a été présentées. Finalement, se terminons ce mémoire par une conclusion générale qui illustre les principaux résultats obtenus à travers cette étude.



CHAPITRE I. Technologie de l'Energie Solaire

Introduction

Dans le monde, la production d'énergie électrique est faite principalement à base d'énergies fossiles et de combustible d'origine nucléaire. Un recours systématique aux carburants fossiles, tels que le pétrole, le charbon ou le gaz naturel, permet d'avoir de faibles coûts de production mais conduit à un dégagement massif de gaz polluant et de gaz à effet de serre. La production électrique à partir de combustibles fossiles est à l'origine de 40% des émissions mondiales de CO₂.

L'énergie d'origine nucléaire, qui ne rejette pas directement de gaz carbonique, souffre généralement d'une mauvaise image médiatique à cause des risques importants encourus. Certes, les risques d'accident liés à leur exploitation sont très faibles mais les conséquences d'un accident seraient désastreuses. Par ailleurs, le traitement des déchets issus de ce mode de production est très coûteux : la radioactivité des produits traités reste élevée durant de nombreuses années.

Enfin, les réserves d'uranium sont comme celles du pétrole, limitées (moins de 100 ans au rythme actuel de consommation). C'est pour cela tous les pays du monde cherche ou bien ils orientent leurs perspectives aux énergies renouvelable (propre, durable, etc ...). L'énergie solaire (le soleil) est l'un des solutions proposées selon leurs présences, il dure vraiment par rapport à l'axe de la vie de l'humanité.

I. Energie renouvelable

Le soleil, l'eau, le vent, le bois et les autres produits végétaux sont autant de ressources naturelles capables de générer de l'énergie grâce aux technologies développées par les hommes. Leur relatif faible impact sur l'environnement en fait des énergies au d'avenir face problème de la gestion des déchets du nucléaire et aux émissions de gaz à effet de serre. [1]

Les énergies renouvelables représentent par ailleurs une chance pour plus de 2 milliards de personnes isolées d'accéder enfin à l'électricité. Ces atouts, alliés à des technologies de plus en plus performantes, favorisent le développement des énergies renouvelables mais de manière encore très inégale selon le type de ressources considérées.

I.1. Différentes sortes d'exploitation

Les sources des énergies renouvelables les plus connus actuellement sont :

- **Energie solaire** : énergie solaire est l'énergie émise par le soleil sous forme d'ondes électromagnétiques (principalement entre 0,3 et 3 micromètres) ou toute autre énergie obtenue par captage du rayonnement solaire.
- **Energie géothermique** : énergie extraite à partir des eaux chaudes, de la vapeur ou de la chaleur présente dans certaines parties de la terre à fort degré géothermique. On distingue les gisements géothermiques suivant leur profondeur et leur température.
- **Energie de la biomasse** : produite par combustion, ou à partir des transformations énergétiques basés sur un processus vivant et par extension, les techniques produisant de l'énergie à partir du vivant.
- **Energie éolienne** : utilisation de l'énergie du vent. Une éolienne est un moteur actionné par le vent. Un aérogénérateur est un générateur de courant électrique utilisant l'énergie du vent.
- **Energie hydraulique** : énergie hydraulique vient d'un potentiel énergétique lié à l'exploitation de la chute d'un cours d'eau ou d'un barrage pour la transformer en énergie électrique à l'aide de turbines hydrauliques.
- **Energie marémotrice** : énergie marémotrice (énergie des marées ; houille bleue) peut être récupérée en exploitant le potentiel énergétique dû au déplacement vertical d'une masse d'eau à différents niveaux ou à l'énergie cinétique due au courant (courant des marées), provoqué par le flux et le reflux (marée haute et marée basse). L'énergie des marées résulte des forces de gravitation du soleil, de la lune et de la rotation terrestre.
- **Energie holométrique** : énergie holométrique (énergie de la houle) est une source d'énergie d'origine cinétique et potentielle liée au déplacement de la surface de la mer sous l'action de la houle. On peut récupérer une partie de cette énergie par différents dispositifs : flotteurs et radeaux oscillants, cloches à compression ou dépression, etc....

I.2. Gisement solaire

I.2.1. Soleil

Le soleil est une sphère gazeuse composée à 80%d'hydrogène, 19%d'hélium et 1%d'un mélange de 100 éléments, Son diamètre est de 1391000 km (soit un peu plus de 100 fois celui de la terre). Sa masse est de l'ordre de 2×10^{27} tonnes (soit environ 330 000 fois celle de la terre). [2]

Le soleil est formé de trois régions principales :

- **Noyau** : à l'intérieur qui est le siège de réactions thermonucléaires. Ces réactions émettent un rayonnement qui est entièrement absorbé par la couche photosphère. La température du noyau est de plusieurs millions de degrés et la pression de l'ordre de 10^9 bars (soit un milliard de fois la pression atmosphérique).
- **Photosphère** : c'est une couche opaque d'environ 300 km d'épaisseur. Sa température est de l'ordre de quelques millions de degrés, décroissant très rapidement dans l'épaisseur de la couche jusqu'à une température dite de surface de l'ordre de 4500°C .
- **Chromosphère** : c'est une région à faible densité où la matière est très diluée, elle représente l'atmosphère du soleil. Cette couche est caractérisée par un rayonnement émis très faible est très élevée.

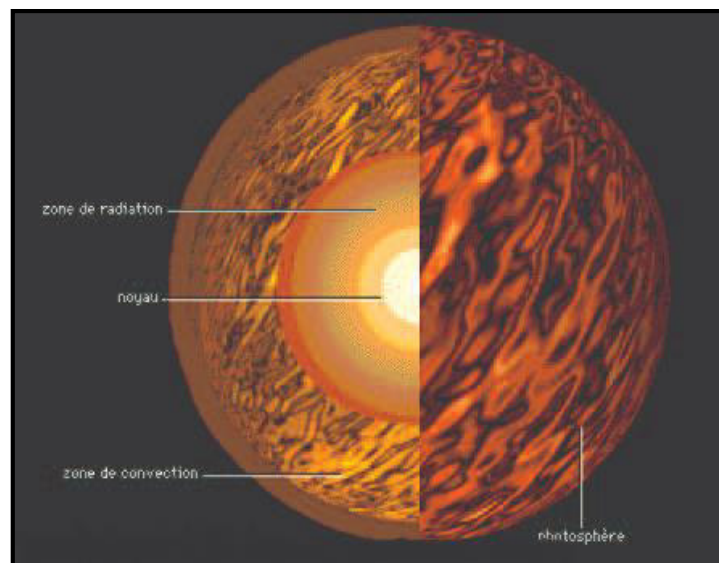


Figure 1. Zones du sol

I.2.2. Origine de l'énergie solaire

Toute l'énergie du soleil provient des réactions thermonucléaires du noyau. Elles ont lieu à des températures supérieures à 16×10^6 K. Cette énergie est transmise à la photo sphère, siège de mouvement de convection de l'hydrogène et de naissance du rayonnement électromagnétique émis par le soleil vers l'extérieure. Ce rayonnement est émis dans toute une gamme de longueurs d'onde, depuis le rayonnement γ ($\lambda = 10^{-4}$ mm) jusqu'à l'onde kilométrique. [3]

Le spectre du rayonnement solaire présente de nombreuses raies d'absorption et d'émission. Ce n'est donc qu'en première approximation et pour le domaine observable au sol, que l'on peut considérer le spectre du soleil comme celui du corps noir.

Les transformations nucléaires dont le noyau est le siège, transforment chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 million de tonnes d'hélium. La différence de 4 million de tonne est dissipée sous forme d'énergie, ce qui représente une énergie totale (loi d'Einstein : $E=mc^2$) de 36×10^{22} kW.

La terre étant à une distance d'environ 150 millions de kilomètre du soleil, soit 23400 rayons terrestres, elle reçoit une énergie de 18×10^{16} W. cette énergie met environ 8 minutes pour franchir la distance terre soleil. Vu de terre, le soleil se présente sous la forme d'un disque de luminance à peu près homogène et de diamètre angulaire apparent d'environ 0.5 degré d'arc.

I.2.3. Constante solaire

C'est la quantité d'énergie totale envoyée par le soleil à la limite de l'atmosphère terrestre sur une surface unité perpendiculaire au rayonnement solaire. [4]

La variation de la constante solaire suit la relation suivante :

$$C^* = C_0^* + 0.033 \times \cos(0.948 \times n) \quad (1)$$

$C_0^* = 1367$ W/m² est la valeur moyenne de la constante solaire actuellement retenue.

n: le numéro du jour de l'année.

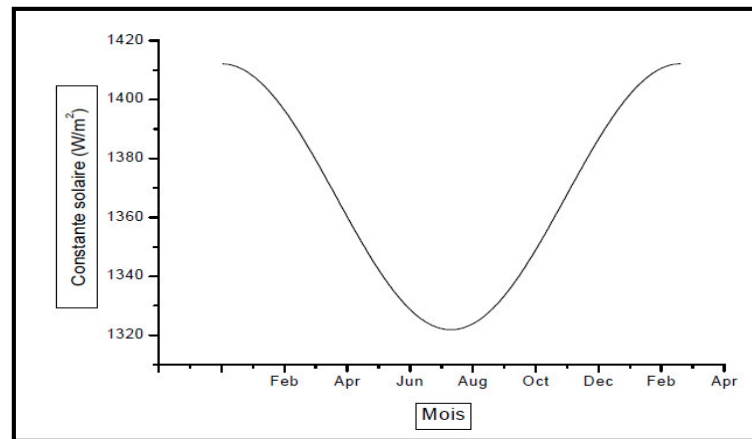


Figure 2. Variation annuelle de la constante solaire

I. 2.4. Terre

Les rayons du soleil, supposés parallèles au moment où ils atteignent la terre, déterminent sur celle-ci deux hémisphères, l'un éclairé, l'autre sombre, séparés par le cercle d'illumination. En réalité, les rayons ne sont pas tout à fait parallèles car le soleil est vu de la terre d'un diamètre de $32'$ d'arc (ce qui correspond à une bille de 6 mm de diamètre tenu à bout de bras). Le soleil intercepte ainsi un angle solide de 68×10^{-5} stéradians.

I.2.5. Mouvement de la terre autour du soleil

La trajectoire de la terre autour du Soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique, l'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre-Soleil ne varie que de $\pm 1.7\%$ par rapport à la distance moyenne. [5]

La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la terre est appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique, l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé inclinaison

Est qui vaut à $23^{\circ}27'$.

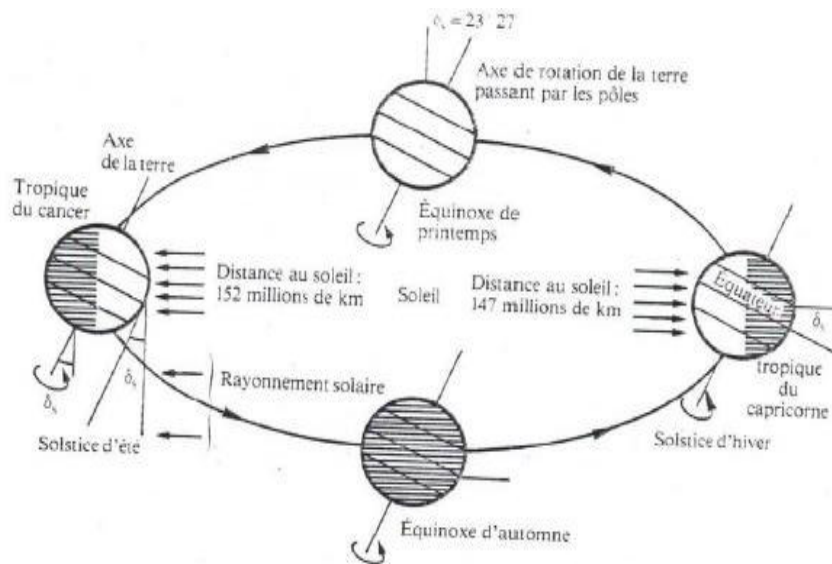


Figure 3. Mouvement de la terre autour du soleil

I.2.6. Sphère céleste

La sphère céleste est une sphère imaginaire de rayon indéfini, établie dans les cieux et ayant comme centre l'œil d'un observateur terrestre. La sphère est la base du système de coordonnées employé pour déterminer les positions des astres. Elle est également utilisée pour désigner les intervalles de temps. [6]

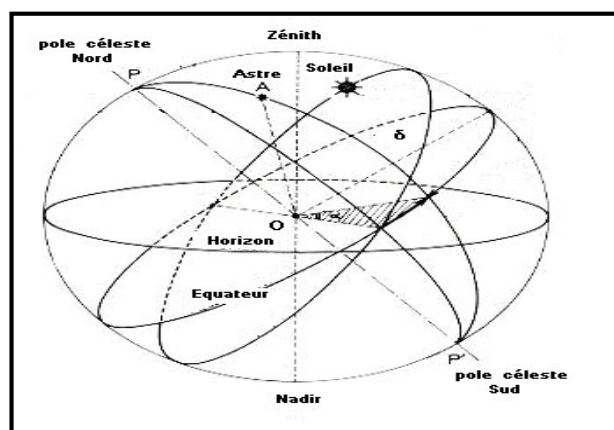


Figure 4. Sphère céleste

La direction des objets peut être déterminée de façon précise à l'aide d'un système de Coordonnées célestes.

I.2.6.1. Coordonnées célestes

I.2.6.1.1. Coordonnées géographiques

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre

- **Longitude L**

Est comptée positivement de 0° à +180° vers l'est et négativement de 0° à -180° vers l'ouest, à partir du méridien Greenwich.

- **Latitude Φ**

C'est l'éloignement d'un point sur la surface de la terre par rapport à l'équateur, mesuré en degré (mesurée à partir du centre de la terre), permettent de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle varie de 0° à 90° dans l'hémisphère nord et de 0° à -90° dans l'hémisphère sud. [7]

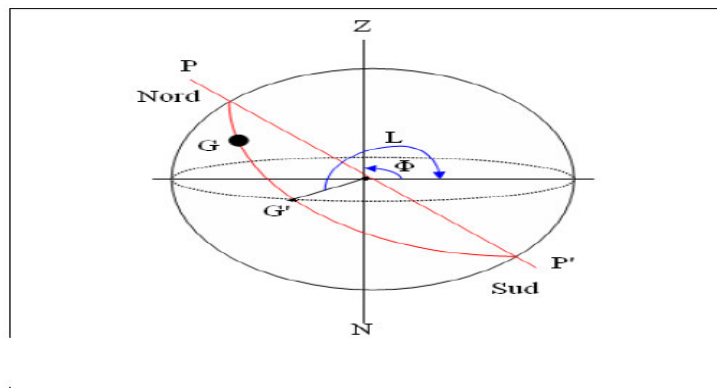


Figure 5. Coordonnées géographiques

I.2.6.1.2. Coordonnées horaires

- **La déclinaison δ**

C'est l'angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle est variée au cours de l'année de +23°27' à -23°27' et détermine l'inégalité des durées des jours.

$$\delta = 23.45 \times \sin \frac{284+n}{263} \times 363 \quad (2)$$

n : étant le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1er janvier.

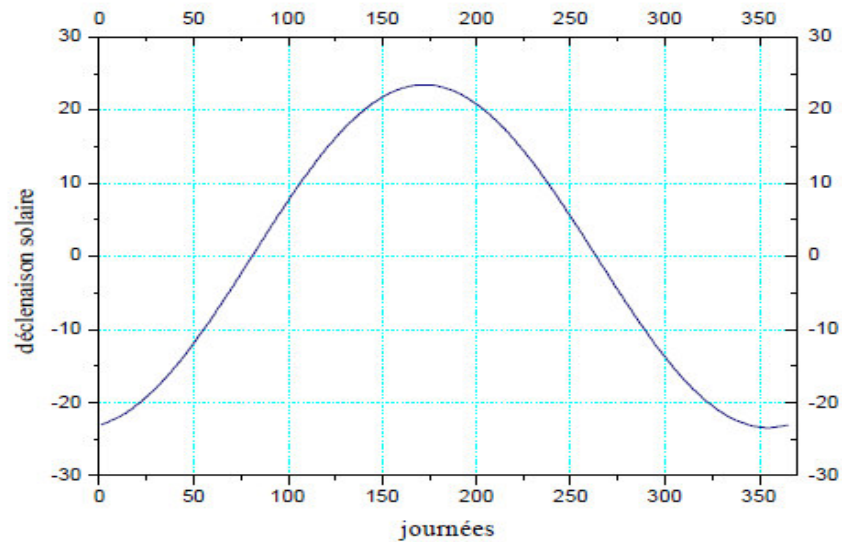


Figure 6. Déclinaison du soleil en fonction des jours

- **L'angle horaire ω**

C'est l'angle compris entre la méridienne origine passant par le sud et la projection du soleil sur le plan équatorial, il mesure la course du soleil dans le ciel. Il est donné par la relation suivante : [8]

$$\omega = 15 (\text{TSV}-12) \tag{3}$$

TSV : temps solaire vrai.

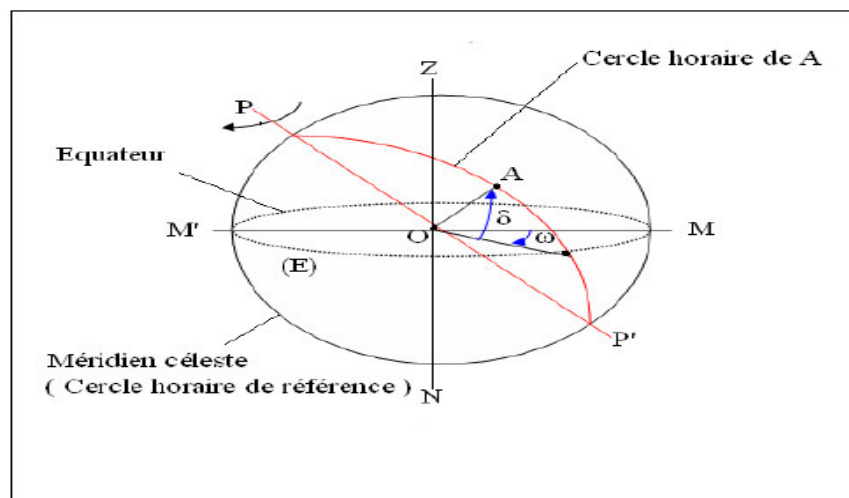


Figure 7. Coordonnées horaires

I.2.6.1.3 Coordonnées horizontales

- **L'azimut a**

C'est l'angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du sud. L'azimut du soleil varie à chaque instant de la journée selon la relation suivante : [9]

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (4)$$

a : varie entre -180° et $+180^\circ$

- **la hauteur du soleil h**

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur un plan horizontal. La hauteur du soleil varie à chaque instant de la journée et de l'année selon la relation suivante :

$$\sin h = \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \varphi \quad (5)$$

φ : Latitude du lieu.

h : varie entre $+90^\circ$ et -90° .

ω : L'angle horaire de soleil varie entre $+180^\circ$ et -180° .

On prend :

$h > 0$ le jour.

$h < 0$ la nuit.

$h = 0$ aux lever et couche.

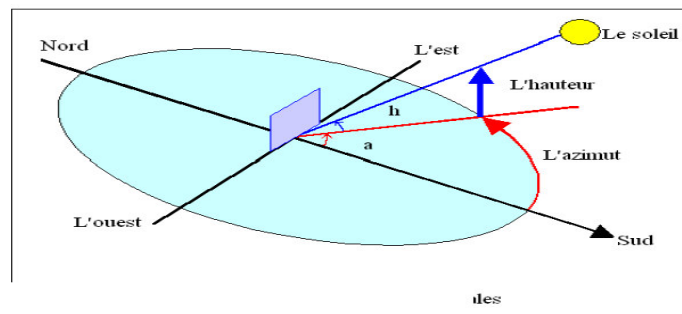


Figure 8. Coordonnées horizontales

I.2.7. Définition des différents temps

I.2.7.1. Temps solaire vrai (TSV)

En un instant et à un lieu donné, le temps solaire vrai est l'angle horaire du soleil w . Il est donné par l'expression :

$$\text{TSV} = 12 + \omega/15 \quad (6)$$

ω : Est exprimé en degré.

Si $\omega = 0$, TSV=12h.00

Si $\omega < 0$, la matinée.

Si $\omega > 0$, l'après-midi.

I.2.7.2. Le temps solaire moyen (TSM)

Il est donné par la relation :

$$\text{TSM} = \text{TSV} - E_t \quad (7)$$

E_t : est l'équation du temps, qui corrige le TSV par rapport au TSM, exprimée par la relation :

$$E_t = 9.87 \sin(2N') - 7.53 \cos(N') - 1.5 \sin(N') \text{ [min]}$$

$$N' = (n_j - 81) \times 360/365$$

n_j : est le numéro du jour dans l'année

I.2.7.3. Le temps universel (TU)

C'est le temps moyen du méridien de Greenwich :

$$\text{TU} = \text{TSM} - L/15 \quad (8)$$

L : est la longitude.

$L > 0$ pour les villes situées à l'Est de Greenwich.

CHAPITRE 1. Technologie de l'Energie Solaire

$L < 0$ pour les villes situées à l'Ouest de Greenwich.

$TU = TSM$ pour le méridien de Greenwich.

I.2.7.4. Le temps légal (TL)

C'est le temps officiel d'un état, il est donné par :

$$TL = TU + DH \quad (9)$$

DH : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré.

DH = 1 heure pour l'Algérie

I.2.7.5. Lever et coucher du soleil

On s'intéresse ici à deux instants particuliers de la journée, le « lever » et le « coucher » du soleil donné par les équations

$$(TSV)_{\text{lever}} = 12 - \frac{\omega S}{15} \quad (10)$$

Et

$$(TSV)_{\text{coucher}} = 12 + \frac{\omega S}{15} \quad (11)$$

Pour ($h=0$) dans la relation (I.9) on trouve :

$$\cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \varphi = 0 \quad (12)$$

$$\cos \omega = \frac{-\sin \delta \cdot \sin \varphi}{\cos \delta \cdot \cos \varphi} \quad (13)$$

$$\cos \omega = -\text{tg} \delta \cdot \text{tg} \varphi \quad (14)$$

$$\omega S = -\text{arc cos}(\text{tg} \delta - \text{tg} \varphi) \quad (15)$$

I.2.8. Durée du jour

En tant que paramètre métrologique le rayonnement solaire au niveau du sol est caractérisé par la durée du jour qui correspond à l'intervalle de temps durant lequel le disque solaire est visible. Elle dépend uniquement de la latitude du site et déclinaison. Elle est donnée par la relation suivante :

$$d = \frac{2}{15} \text{ arc cos}(-tg\delta . tg\varphi) \quad (16)$$

I.2.9. Fraction d'insolation

La durée d'insolation est une variable qui présente une grandeur non stationnaire, celle-ci trouve son explication dans la variation de sa moyenne au cours de l'année, à cause de la saisonnalité du processus. En effet, elle varie d'un jour à l'autre.

L'enseulement d'un site est exprimé par la fraction d'insolation (σ) définie par le rapport

$$\sigma = \frac{d}{n} \quad (17)$$

n : est le nombre d'heures ensoleillées ou durées d'insolation.

d : La durée du jour.

Pour :

Un jour très clair $\sigma = 1$

Un jour totalement couvert de (nuage) $\sigma = 0$

I.3. Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est une énergie électromagnétique libérée par les réactions thermonucléaires au sein du soleil. Il est assez proche de celui qui est émis par un corps noir porté à une température légèrement inférieure à 5800 Kelvins. Malgré la distance entre le soleil et notre planète, l'impact de ce rayonnement sur la terre représente un apport énergétique important. [10]

En effet, on peut estimer à 178 .1015 Watts puissance interceptée par 3l'hémisphère éclairée. Sa répartition n'est pas uniforme ; ni géographiquement, ni temporellement. En effet, la rotation de la Terre sur elle-même d'une part et de sa révolution au sein du système solaire d'autre part, produisent une mobilité apparente du soleil en tout site.

- *Rayonnement direct* : est la lumière parvenant directement du soleil par ciel clair.
- *Rayonnement diffus* : est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. La part du rayonnement diffus n'est pas négligeable et peut

atteindre 50% du rayonnement global (selon la situation géographique du lieu). Le rayonnement global sur la terre et sa part de rayonnement diffus varie au cours de l'année.

- **Rayonnement réfléchi** : est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (nuage, sable...). Il se caractérise par un coefficient propre de la nature de lieu appelé Albédo(ϵ) $0 \leq \epsilon \leq 1$.
- **Rayonnement global** : est la somme du rayonnement direct et diffus et réfléchi.

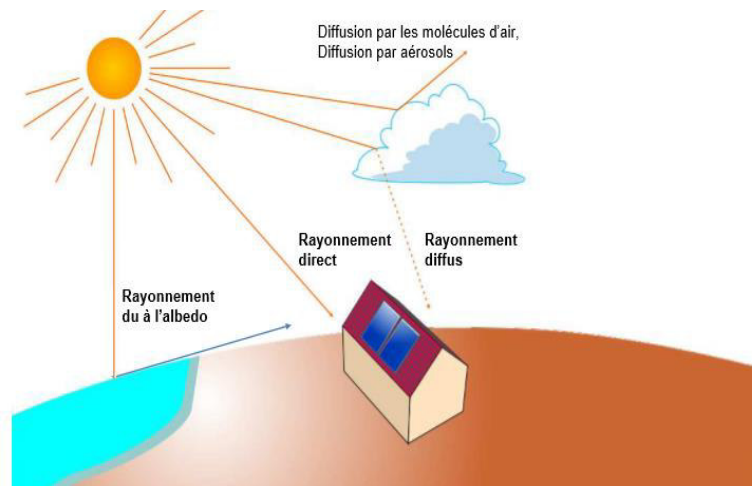


Figure 9.Type de rayonnement solaire

- **Rayonnement extraterrestre** : rayonnement extraterrestre est le rayonnement solaire en dehors de l'atmosphère. Pour un point donné, Il est formulé comme suit :

$$Ra_0 = \frac{86400C^*}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \left(2\pi \frac{n}{365} \right) \right) (\cos \lambda \cos \delta \sin \omega_{co} + \omega_{co} \sin \lambda \sin \delta) \quad (18)$$

Avec :

C^* : constante solaire. ($C^* = 1367$) (w/m^2).

δ : La déclinaison solaire.

λ : Latitude.

ω_{co} : Angle horaire du coucher du soleil.

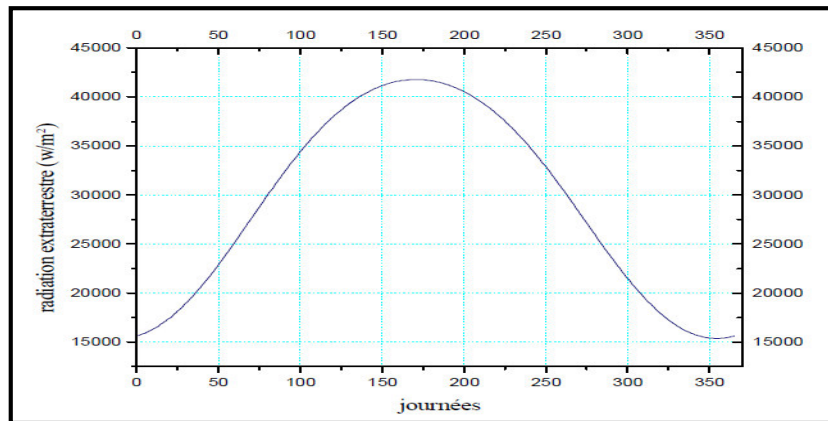


Figure 10. Rayonnement extraterrestre en fonction des jours

I.4. Coefficient de clarté

Avant d'atteindre le sol, le rayonnement solaire est atténué par l'atmosphère et les nuages. Le rapport entre le rayonnement au sol et le rayonnement extraterrestre est appelé coefficient de transmission, il est définie par : [11]

$$\overline{K_t} = \frac{\overline{Ra}}{\overline{Ra_0}} \quad (19)$$

\overline{Ra} : Le rayonnement solaire moyen, mensuel mesuré sur une surface horizontale.

$\overline{Ra_0}$: Le rayonnement solaire moyen, mensuel hors de l'atmosphère.

I.5. Estimation du rayonnement solaire

I.5.1. Sur un plan horizontal (modèle de PRINNE DE BRICHAMBEAUT)

Le rayonnement global sur un plan horizontal est la somme du rayonnement direct et diffus, donné par :

$$G_h = I_h \cdot \sin h + D_h \quad (20)$$

Où I_h : Le rayonnement direct reçu par une surface horizontale.

D_h : Le rayonnement diffus provenant du ciel, reçu par une surface horizontale.

G_h : Le rayonnement global reçu par une surface horizontale.

CHAPITRE 1. Technologie de l'Energie Solaire

- Rayonnement direct

Est donné par l'expression suivante

$$I_h = A \exp\left(\frac{-1}{B \sin(h+c)}\right) \quad (21)$$

Avec A, B et C sont des constantes empiriques qui dépendent de la nature du ciel, dont les valeurs sont:

Nature de ciel	Ciel très clair (CTC)	Conditions normales de ciel clair (CNCC)	Ciel clair pollué. (CCP)
A	1210	1230	1260
B	6	3.8	1.6
C	1	2.3	3

Tableau 1. Constantes empiriques de rayonnement direct

Rayonnement diffus

$$D_h = E. (\sin h)^{0.4} \quad (22)$$

Nature de ciel	Ciel très clair (CTC)	Conditions normales de ciel clair (CNCC)	Ciel clair pollué (CCP).
E	(3/4)125	125	(4/3) 125

Tableau 2. Constante empirique de rayonnement diffus

La formule globale de PERRINE DE BRICHAMBAUT est obtenue directement sous la forme :

$$G_h = A. (\sin h)^D \quad (23)$$

Nature de ciel	Ciel très clair (CTC).	Conditions normales de ciel clair (CNCC).	Ciel clair pollué (CCP).
A	1150	1080	990
D	1.15	1.22	1.25

Tableau 3. Constante empirique de rayonnement globale

I.5.2. Sur un plan incliné (Modèle de LIU et JORDAN)

Si l'éclairement direct et diffus est connu sur un plan horizontal, on peut calculer l'éclairement solaire sur des plans inclinés. Le rayonnement global sur un plan incliné donnée par l'équation suivante :

$$G_i = R_{d(\beta)} + D_{c(\beta)} + D_{s(\beta)} \quad (24)$$

- Rayonnement direct

$$R_{d(\beta)} = I_h \cdot R_b \quad (25)$$

Avec R_b : est le facteur d'inclinaison donné par la relation suivante

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin(\varphi - \beta) \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin\varphi \cdot \sin\delta} \quad (26)$$

- Rayonnement diffus

$$D_{c(\beta)} = D_h \cdot \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) \quad (27)$$

- Rayonnement diffus par le sol

$$D_{s(\beta)} = G_h = \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \cdot \rho \quad (28)$$

Avec :

β : Angle d'inclinaison du plan par rapport à l'horizontal.

ρ : Albédo du sol.

I.6. Mesure de rayonnement solaire

En climatologie, les rayonnements solaires sont mesurés à l'aide des radiomètres qui se retrouvent sous plusieurs formes selon le type de rayonnement étudié.

Radiomètre : L'appareil destiné à mesurer l'intensité d'ondes ou de radiations d'origine Électromagnétique.

I.6.1. Rayonnement solaire directe

Au sol, la mesure du rayonnement solaire direct est faite à l'aide d'un pyréliomètre. Cet instrument est en permanence orienté vers le soleil et ne mesure que le rayonnement provenant du seul disque solaire. Le rayonnement capté est absorbé par une surface noire. La différence de température entre cette surface et le corps de l'instrument est proportionnelle à l'éclairement énergétique du rayonnement direct. [12]



Figure 11. Pyréliomètre

I.6.2. Rayonnement global

Au sol, la mesure du rayonnement solaire globale est faite à l'aide d'un pyranomètre. Les pyranomètres les plus utilisés sont de type (KippZonen) pour la mesure de l'éclairement solaire global. Il peut être fixé sur une base collée parallèlement sur le capteur, ainsi il aura la même inclinaison du capteur. [13]



Figure 12. Solarimètre type (KippZonen)

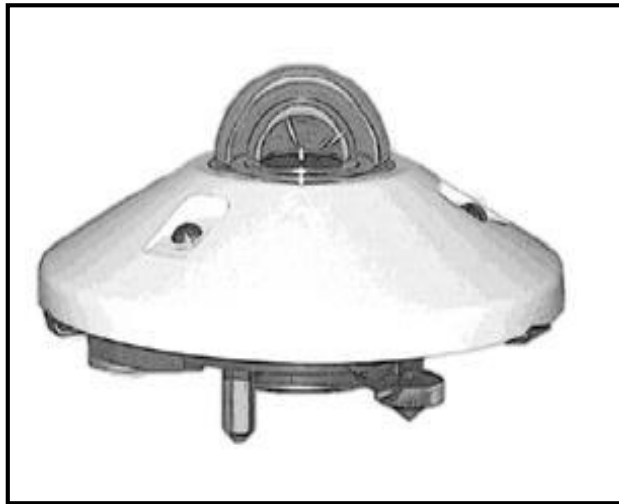


Figure 13. Pyranomètre

I.6.3. Rayonnement diffus

La mesure de l'éclairement diffus est assurée par un Pyranomètre avec un anneau d'ombrage appelé bande pare-soleil. Cette dernière permet d'occulter la partie sensible du pyranomètre de la part du rayonnement solaire provenant directement du disque solaire. Ce qui permet par conséquent de ne mesurer que l'éclairement du au rayonnement diffus.



Figure 14. Pyranomètre avec anneau d'ombrage

I.6.4. Albédo

L'albédo mètre est formé de deux pyranomètre identique opposés :un dirigé vers le haut (ciel) l'autre vers le bas (terre) le premier qui est dirigé vers le haut mesure le rayonnement globale (direct + diffus) incident sur le sol, le deuxième qui est dirigé vers le bas mesure le rayonnement globale réfléchi par le sol. [14]

L'albédo mètre représente la fraction du rayonnement globale réfléchi par le sol par rapport au rayonnement globale incident :



Figure 15. Albédo mètre

II. Semi-conducteurs

II.1. Définition

Les semi-conducteurs sont des éléments naturels. Sensibles à la lumière visible et invisible (rayon ultraviolet, infrarouge..) ; Ils conduisent le courant nettement moins bien que les métaux, mais d'autant mieux que la température est plus élevée (exemples types : le silicium Si, le germanium Ge). La bonne conductivité électrique des métaux est due à la présence des électrons libres du gaz électronique qui parcourent tout le réseau métallique. [15]

II.1.2 Structure

Les semi-conducteurs (exemple : le silicium Si) forment des réseaux atomiques (du type diamant) où les atomes sont reliés par covalence ; Il n'existe pas d'électron libre comme dans les métaux. La migration des électrons ne peut se faire que par « petits pas », les électrons sautant d'un atome à l'autre.

Le semi-conducteur est un matériau électriquement intermédiaire entre isolant et conducteur. En effet, les valeurs usuelles de la conductivité (σ) des isolants sont comprises entre $1.e^{-11}$ et $1.e^{-19}$ S/cm et celles des conducteurs entre $6.e^7$ et $1.e^4$ S/cm. Il existe pourtant des corps qui ont une résistivité intermédiaire comprise entre $1.e^3$ et $1.e^{-6}$ S/cm, on les appelle des semi-conducteurs.

On remarque qu'il y a quatre (4) électrons libres dans la couche m, pour cela on peut lui faire dopé avec des atomes de valence trois (3).

II.1.3. Types des semi-conducteurs et l'emplacement dans le tableau du Mendeleïev

Les semi-conducteurs sont essentiellement constitués d'éléments de la colonne IV et des colonnes voisines du tableau périodique de Mendeleïev. On en distingue plusieurs types :

– les semi-conducteurs élémentaires sont des cristaux constitués d'un seul élément chimique. On rencontre des structures cristallines dites "simples" si l'élément constituant est de la colonne IV. Les deux éléments les plus importants pour l'électronique sont le silicium (Si) et le germanium (Ge), qui se cristallisent en engageant des liaisons covalentes. Le premier est l'élément le plus utilisé dans l'industrie des composants. Le germanium, quant à lui, a été largement utilisé lors de fabrication des premières diodes et des premiers transistors, mais a été ensuite remplacé par le silicium. Il est néanmoins utilisé dans quelques applications (détection infrarouge, hétéro-structures, . . .).

On rencontre également des semi-conducteurs dits "élémentaires complexes" comme le Sélénium (Se, colonne VI), notamment employé pour ses propriétés photovoltaïques.

Cet élément se cristallise selon une structure différente de celle du Si, mais toujours avec des liaisons à prédominance covalente.

– Les semi-conducteurs composés sont constitués de plusieurs éléments. Par exemple, les composés binaires peuvent être constitués de deux éléments distincts de la colonne IV (SiC, SiGe), des éléments des colonnes III et V (composés III-V tels que le GaAs et le GaN) ou encore des éléments des colonnes II et VI (composés II-VI tels que le ZnS et le CdS).

La figure 16 nous présente l'emplacement de Silicium et le germanium dans le tableau périodique des éléments physique de Mendeleïev.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	VIII	VIII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A
1	1																	2
2	3	4											5	6	7	8	9	10
3	11	12											13	14	15	16	17	18
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
6	55	56	*	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
7	87	88	**	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
	Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uur	Uuh	Uus	Uuo

Lanthanides	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Actinides	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

⊕	Métaux alcalins	Métaux alcalino-terreux	Lanthanides	Actinides	Métaux de transition
	Métaux pauvres	Métalloïdes	Non-métaux	Halogènes	Gaz nobles

Figure 16. Tableau périodique des éléments de Mendeleïev

Ces matériaux sont des semi-conducteurs solides inorganiques. On peut également rencontrer des semi-conducteurs organiques, notamment utilisés pour la fabrication des écrans souples.

II.1.3.1. Silicium

Le silicium (Si) est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques, il est disponible à un niveau industriel. Le silicium est fabriqué à partir de sable quartzéux (dioxyde de silicium).

II.1.3.1.1. Différents types de silicium

Le silicium cristallin est une technologie éprouvée et robuste, dont l'espérance de vie est à peu près de trente ans, dont le rendement était de l'ordre de 13 % au début de la création de cette source d'énergie. On obtient désormais des rendements atteignant plus de 20 % pour certaines technologies. Ces cellules sont adaptées à des puissances de quelques centaines de watts à quelques dizaines de kilowatts. Elles représentaient près de 80 % de la production mondiale de panneaux photovoltaïques en 2000. Le silicium cristallin se divise lui-même en trois catégories : [16]

□ *Mono cristallin*

Tout d'abord, le silicium à l'état brut est fondu pour donner un barreau. Le refroidissement du silicium doit être lent et maîtrisé pour obtenir un mono cristal. Un wafer (tranche de silicium) est alors découpé dans le barreau de silicium. Après divers traitements (traitement de surface à l'acide, dopage et création de la jonction P-N que nous étudierons plus tard, dépôt de couche antireflet, pose des collecteurs), le wafer devient une cellule. Son procédé de fabrication est long, exigeant en énergie et onéreux. Il est cependant plus efficace que le silicium poly cristallin car son rendement est de 17.2%.

□ *Poly cristallin*

Le wafer est scié dans un barreau de silicium dont le refroidissement forcé a créé une structure poly-cristalline. Grâce à leur potentiel de gain de productivité, ces cellules se sont aujourd'hui imposées : elles représentaient 49 % de l'ensemble de la production mondiale en 2000. L'avantage de ces cellules par rapport au silicium mono cristallin est qu'elles produisent peu de déchets de coupe et qu'elles nécessitent 2 à 3 fois moins d'énergie pour leur fabrication. Le rendement des panneaux poly cristallins est d'environ 13%.

□ *Silicium amorphe*

Celui-ci a des coûts de fabrication bien inférieurs à ceux du silicium cristallin. Les atomes ou molécules qui constituent un matériau amorphe sont disposés aléatoirement les uns par rapport aux autres. La position relative des molécules ou atomes voisins est imposée par la nature des liaisons assurant la cohésion du solide. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une alternative économique est recherchée, ou, quand très peu d'électricité est nécessaire (alimentation des montres, calculatrices...).

Elles sont également souvent utilisées là où un fort échauffement des modules est à prévoir. Cependant, le rendement est de plus de 2 fois inférieur à celui du silicium cristallin et nécessite donc plus de surface pour la même puissance installée. Les cellules en silicium amorphe sont actuellement de moins en moins utilisées : 9,5 % de la production mondiale en 2000, alors qu'elles représentaient 12 % en 1999.

II.1.3.1.2 Structure cristalline du silicium

Une structure cristalline est constituée d'un assemblage régulier des atomes (figure 17) ; Ils mettent en commun des électrons de leur couche périphérique pour constituer des liaisons covalentes ; la couche électronique périphérique assure la stabilité de l'atome, Elle est complète lorsqu'elle comporte 8 électrons pour atteindre la saturation (la couche périphérique ne peut en comporter d'avantage).

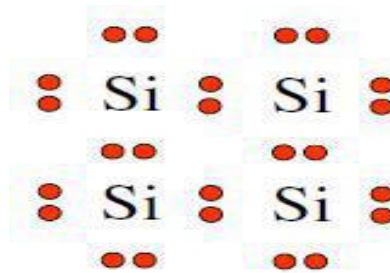


Figure 17. Structure cristalline de silicium

II.1.3.1.3 Diagramme de bande d'énergie

La situation peut être résumée au moyen du diagramme de bandes d'énergie illustré à la figure 18. Celle-ci montre les niveaux énergétiques que peuvent occuper les électrons périphériques issus des atomes du cristal. Les niveaux sont repartis en deux bandes : la bande inférieure, appelée bande de valence est réservée aux électrons participant aux liaisons covalentes.

La bande supérieure, ou bande de conduction, est occupée par les électrons de conduction.

Les bandes sont séparées par une région inoccupée appelée bande interdite, dont la largeur correspond à l'énergie du gap E_g , au zéro absolu de la température, les électrons participent tous aux liaisons covalentes et occupent la bande de valence, cf. figure 18(a). La bande de conduction est vide et le matériau ne peut conduire un courant électrique.

Lorsque la température augmente, des paires électron-trou sont générées : plusieurs électrons de la bande de valence gagnent de l'énergie et transitent vers la bande de conduction. Les vacances de charge des résultantes dans la bande de valence correspondent aux trous, cf. figure. 18 (b).

Sous l'action d'un champ électrique, les électrons de conduction peuvent gagner de l'énergie cinétique : ils transitent alors, au sein de la bande de conduction, vers des niveaux d'énergie E plus élevés. Les trous peuvent également gagner de l'énergie cinétique en transitant au sein de la bande de valence.

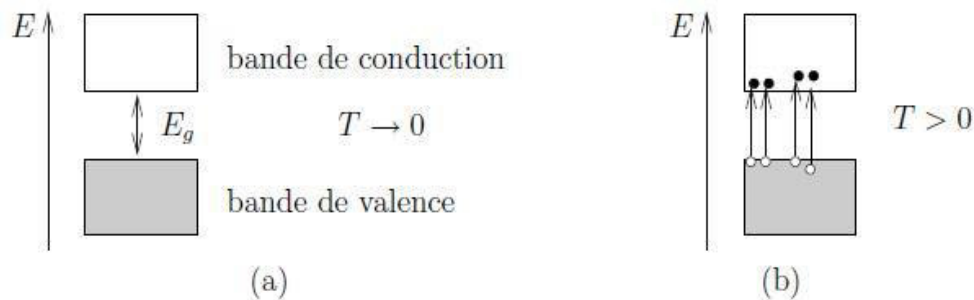


Figure 18. Diagramme de bandes d'énergie du silicium

II.1.3.1.4. Conduction dans le silicium et le niveau de Fermi

Conduction par électron et par trou

Si une liaison de valence est brisée (agitation thermique, photon ...) les électrons devient mobile : il laisse un excès de charge positive le « trou » (symbolisé par un + dans un carré).

Cette lacune va être comblée par un électron voisin libéré par agitation thermique et qui va à son tour laisser un trou : ceux-ci semblent se déplacer dans le réseau. Aux électrons (masse positive, charge négative) correspondent des trous (masse négative, charge positive). Le

déplacement des trous étant un processus à deux étapes, leur mobilité dans le réseau est plus faible que celle des électrons.

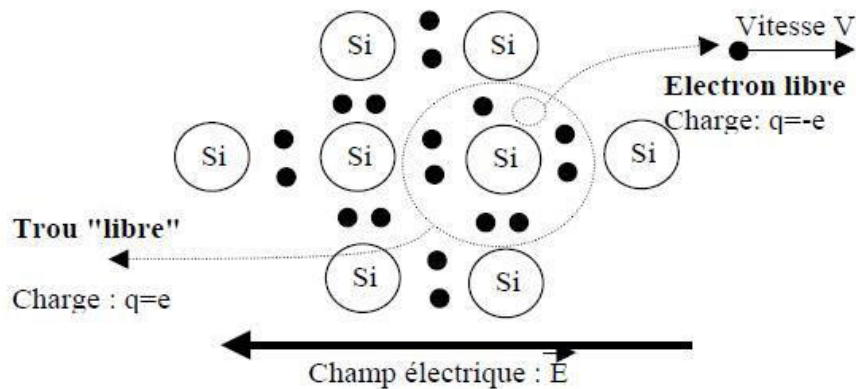


Figure 19. Conduction dans le silicium

Dans la matière, le courant généré par le champ électrique sera la somme du courant d'électrons et du courant de trous. Comme elle représente la figure 20.

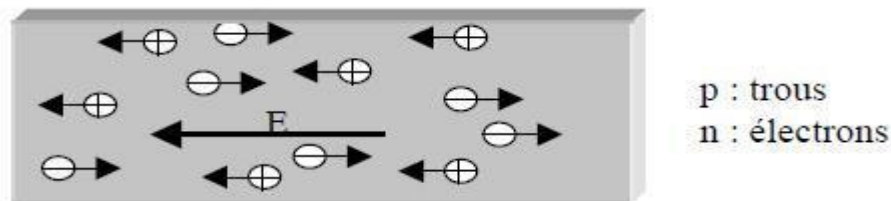


Figure 20. Courant généré par le champ électrique

Niveau de Fermi E_F

La valeur E_f s'appelle Énergie de Fermi. C'est l'énergie maximale des états occupés par les électrons au zéro absolu. Sa valeur dépend du nombre d'électrons de valence et de la densité d'états accessibles ; elle est donc caractéristique du matériau. Dans les semi-conducteurs, le niveau correspondant à cette énergie (le niveau de Fermi) se trouve dans le gap. Cela a pour conséquence qu'à 0 K, la bande de valence est pleine tandis que la bande de conduction est vide. Lorsque la température augmente, certains électrons sont capables de dépasser le niveau de Fermi et donc d'atteindre la bande de conduction.

II.1.3.1.5. Procédés de production du silicium pur

L'état initial du silicium est le Quartz, et pour passer de l'état origine (quartz) vers le silicium pur il faut suivre plusieurs étapes dans un niveau élevé de conversion.

Le silicium pur se divise en deux types :

- Si qualité solaire
- Si qualité semi-conducteur

Les procédés conduisant à la qualité solaire sont résumés au schéma de la figure 21 par comparaison à la réduction carbochimique à la base de la production du silicium de qualité semi-conducteur (l'utilisation électronique).

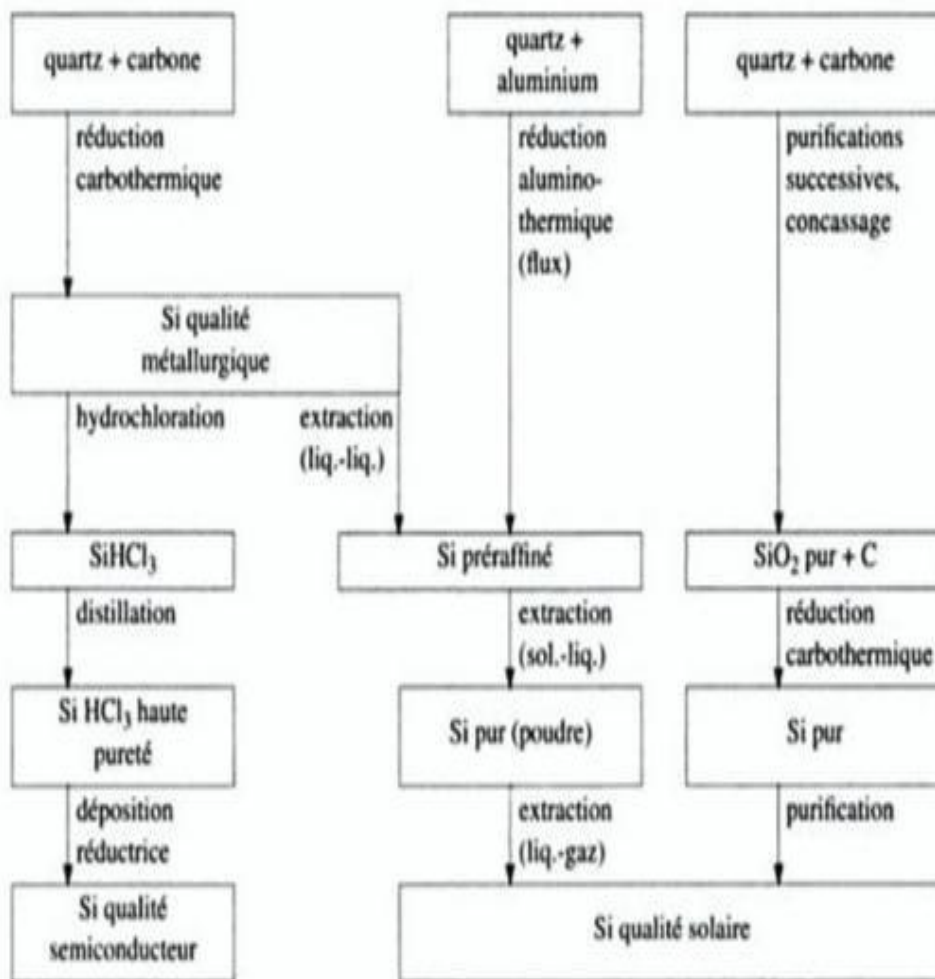


Figure 21. Schéma représentatif des procédés de production du silicium pur

II.2. Cellule photovoltaïque

Considéré dans l'Antiquité comme un dieu, le soleil est aujourd'hui réduit au statut d'énergie, une énergie qu'il nous faut apprendre à capter, à transformer, à stocker... [17]

Au cours des années 80, la technologie photovoltaïque terrestre a progressé régulièrement par la mise en place de plusieurs centrales de quelques mégawatts. La croissance de l'industrie fut spectaculaire, et notamment à travers de nombreux produits de faible puissance fonctionnant grâce à l'énergie solaire, tel que : montres, calculatrices, balises radio et météorologiques, pompes et réfrigérateurs solaires. En **1983** la première voiture, alimentée par énergie photovoltaïque, parcourt une distance de 4 000 km en Austra.

En **1995**, des programmes de toits photovoltaïques raccordés au réseau ont été lancés, au Japon et en Allemagne, et se généralisent depuis 2001. Bien que le prix se soit peu stabilisé, la quantité de modules photovoltaïques expédiés chaque année ne cesse d'augmenter.

II.2.1 Définition

Une cellule photovoltaïque est un dispositif qui transforme l'énergie lumineuse en courant électrique.

II.2.2 Principe de fonctionnement

a – Absorption de la lumière dans matériau

La lumière est composée de photons .Les photons sont des éléments capables de traverser la lumière de pénétrer .Plus généralement un rayon lumineux qui arrive sur un objet Peut subir trois évènements optiques :

-**Réflexion** : la lumière renvoyée par la surface de l'objet.

-**Transmission** : la lumière traverse l'objet.

-**Absorption** : la lumière pénètre dans l'objet et n'en ressort pas, l'énergie est alors restituée

Sous une autre forme.

b- Transfert de l'énergie lumineuse aux électrons

Les charges élémentaires qui vont produire le courant électrique sous illumination sont des électrons, (de charge $1.6 \cdot 10^{-19}$) charges négatives élémentaires contenues dans la matière semi-conductrice. Tout solide est en effet constitué d'atome qui comprennent chacun un noyau et un ensemble d'électrons gravitant autour. Ce sont des électrons des couches électroniques périphérique qui vont absorber l'énergie des photons, ce qui libères de l'attraction électrostatique (et gravitationnelle) du noyau de l'atome.

L'énergie d'un photon d'un certain rayonnement est donnée par une relation simple puisqu'elle proportionnelle à la fréquence rayonnement utilisée. La constante universelle qui lie ces deux grandeurs est "h" la constante de Planck. La constante de Planck a pour unité la fraction de l'énergie sur un temps, c'est-à-dire le joule-seconde

On a donc la formule : $E = h \cdot f$

L'effet photoélectrique est donc l'émission d'électrons par un métal quand il est exposé à des radiations lumineuses.

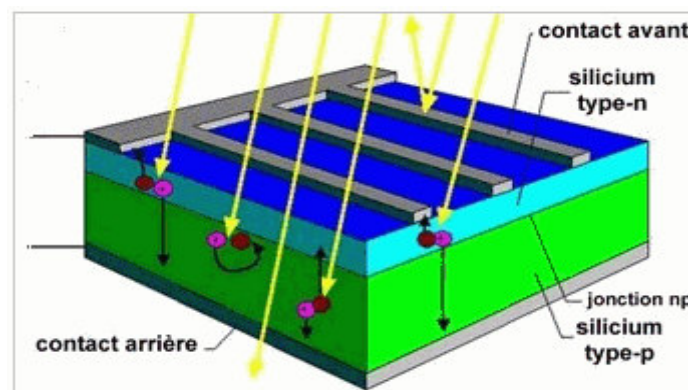


Figure 22. Mouvement électrons-trous dans un matériau semi-conducteur

II.2.3 Caractéristique électrique d'une cellule photovoltaïque

II.2.3.1. Tension de circuit ouvert

C'est la tension pour laquelle la diode à l'obscurité ($I = 0$) fournit un courant égal au courant de court-circuit I_{cc} . Elle est obtenue à partir de l'équation :

II.2.3.3 Courant de court-circuit

Si on court-circuite une cellule photovoltaïque on obtient une tension nulle ($V=0$) et un courant qui s'appelle le courant de court-circuit I_{CC} .

II.2.3.3 Puissance maximale

La puissance électrique produite par une diode sous éclairement est égale au produit de l'intensité délivrée et de la tension à ses bornes. Il faut ainsi adapter la charge aux bornes du dispositif afin de la faire fonctionner au point de puissance maximale $P_{max}(V_{max}, I_{max})$.

P_{max} : c'est la puissance maximum qui peut produire par une cellule photovoltaïque.

J : la densité de courant.

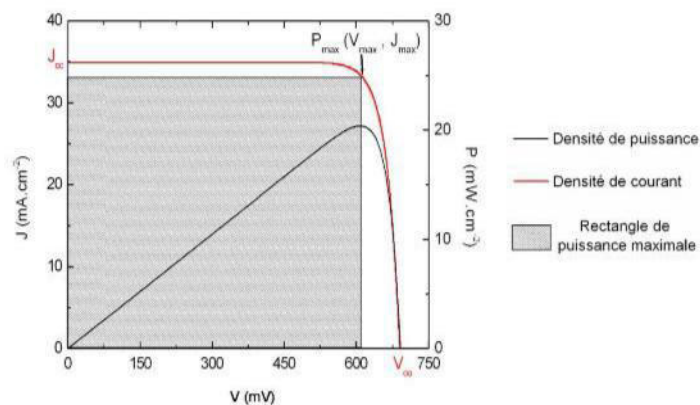


Figure 23. Caractéristique J-V et P-V sous l'éclairement

II.2.4. Différentes technologies de cellules photovoltaïques

Deux grands familles de technologies existent actuellement : la première à base de silicium cristallin comprenant le mono et le multi-cristallin, couvre de l'ordre de 85% de la production mondiale. La deuxième famille, celle des couches minces comprend les cellules au silicium amorphe, polycristallin ou microcristallin, celle au tellure de cadmium, au cuivre indium sélénium et à l'arséniure de gallium. En outre, d'autres technologies sont en cours d'expérimentation comme les cellules organiques (polymères ou à base de fullerènes).

Le silicium mono cristallin (mono c-Si) : la technologie mono cristalline est coûteuse car elle nécessite des barres de silicium pur. Son rendement est le plus élevé (14 à 16%), ce qui a l'avantage de réduire la taille des modules pour une même puissance, chose utile lorsqu'un gain de place est nécessaire.

Le silicium multi cristallin (multi c-Si) : la technologie multi cristalline est obtenue par la refonte de chute de cristaux de silicium de l'industrie électronique et elle nécessite deux à trois fois moins d'énergie que la technologie précédente. Son rendement est un peu moindre (12 à 14 %) mais son coût est plus avantageux, ce qui permet à cette technologie de dominer actuellement le marché.

Le silicium en ruban (EFG) : cette technique permet de s'affranchir des lingots et de la perte de silicium lors de la découpe. Il s'agit de cristalliser du silicium fondu (quelques dizaines de micromètre) sur un ruban souple. La consommation de silicium est divisée par deux (8 g par Wc contre 16 g par Wc). Une solution, EFG (Edge defined film Fed Growth), est testée de longue date et industrialisée par certains fabricants (RWE et Evergreen).

Les couches minces : les principales filières couches minces sont le silicium amorphe (Sia) - utilisé depuis de longues années, dans les montres et calculatrices notamment le CdTe (hétéro jonction tellurure de cadmium, sulfure de cadmium) et le CIS (hétéro jonction de diséléniure cuivre indium/ sulfure de cadmium). La fabrication se réalise en automatique, avec tunnels pour les dépôts de couches et à l'aide de laser pour les connexions. Elle est adaptée aux grosses productions. Ces premières technologies ouvrent actuellement d'autres voies, sans que l'on sache laquelle dominera.

Le silicium amorphe (a-Si) : c'est un matériau composé de silicium hydrogéné (état non cristallin) déposé sur un substrat de verre. D'un rendement moins bon que le cristallin (5-7%), le silicium amorphe est souvent appliqué à des appareils de petite puissance (calculatrices, lampes ou horodateurs), mais des firmes comme Solarex, Phototronix, Canon ou Fortum proposent des modules de tailles équivalentes à celles des modules cristallins. Sanyo a mis au point une technologie de silicium amorphe sur une couche de silicium mono-cristallin (technologie HIT) dont les rendements sont supérieurs à celui du silicium mono-cristallin (rendement de l'ordre de 19%).

- **Le silicium poly cristallin (Poly c-Si) ou micro cristallin (micro c-Si)** : il s'agit de déposer une couche mince (de l'ordre de 10 micromètres) sur un substrat de verre ou de céramique. Cette technologie, essentiellement développée par la société américaine Astropower (USA), est encore à l'étape de production pilote.
- **Le tellurure de cadmium (CdTe)** : ou encore appelé hétéro jonction cadmium telluride sulfure de cadmium : composé poly-cristallin déposé sur substrat de verre. Les premières cellules ont été développées en 1972. Il y a quelques années, cette technologie semblait être la plus adaptée pour les couches minces. Mais les problèmes de coût et de toxicité posés par le cadmium ont pesé lourdement sur son développement, utilisation de 7 g.m^{-3} de cadmium (une batterie nickel-cadmium NiCd de taille standard en contient 10 g).
- **Le diséléniure de cuivre et indium (CIS ou CIGS)** : matériau composé de diséléniure de cuivre et d'indium combinés avec du sulfure de cadmium. Cette technologie de couches minces, qui permet d'atteindre des épaisseurs inférieures au micromètre, est présente aujourd'hui dans de nombreux *projets industriels*.
- **L'arséniure de gallium (GaAs)** : matériau mono-cristallin combiné avec différents matériaux. Les cellules photovoltaïques en couches minces qui intègrent cette technologie sont caractérisées par un haut rendement mais leur coût étant encore très élevé, leur utilisation reste cantonnée à des applications très spécifiques comme le domaine spatial.

II.5.1. Fabrication des cellules

Les lingots monocristallins et les briques multi cristallines sont ensuite découpés en tranches par une scie à fil, à une épaisseur d'environ 250 μm . Une fois les plaques découpées viennent la fabrication des cellules, qui va permettre d'exploiter les propriétés de semi-conducteur du silicium et de transformer l'énergie lumineuse captée en énergie électrique. [18]

II.5.1.1. Assemblage des modules et la réalisation du système PV

Cela fait par l'assemblage des modules et de les mettre en série ou en parallèle pour réaliser le système photovoltaïque. [19]

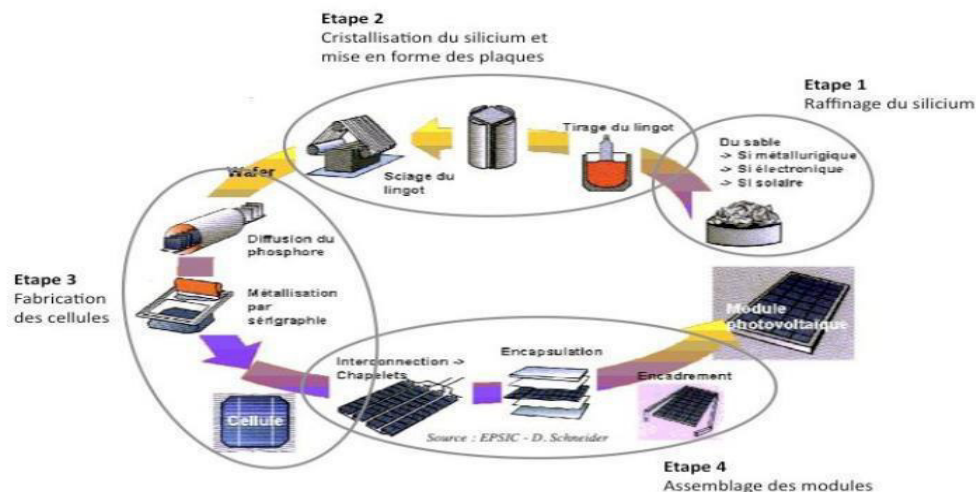


Figure 24. Etapes de fabrication d'un module photovoltaïque au silicium cristallin.

II.5.2. Centrales solaires ou photovoltaïques

Cet autre moyen de fabriquer de l'électricité avec l'énergie solaire utilise les rayonnements lumineux du soleil, qui sont directement transformés en un courant électrique par des cellules à base de silicium ou autre matériau ayant des propriétés de conversion lumière/électricité. Chaque cellule délivrant une faible tension, les cellules sont assemblées en panneaux.



Figure 25. Centrale solaire

Avantages

- Acceptation du public
- Adapté aux pays chauds et aux sites isolés
- L'énergie solaire présente, outre tous les avantages des énergies renouvelables, ses propres avantages, à savoir : énergie maîtrisable et adaptable aux situations de toutes les régions.
- Frais de maintenance relativement faibles.

Inconvénients

- Coût encore élevé
- Puissance assez faible
- Disponibilité

IV. Conversion de l'énergie solaire

Le rayonnement solaire peut être converti en trois formes distinctes : [20]

Conversion par photosynthèse

Photosynthèse, processus par lequel la plupart des végétaux (dont les algues) et certaines bactéries transforment l'énergie lumineuse en énergie chimique (molécules carbonées). Le principe de base de la photosynthèse est de se servir de l'énergie lumineuse pour fabriquer des glucides ($C(H_2O)$) à partir d'eau et de dioxyde de carbone, avec production d'oxygène (O_2). Cette réaction peut s'écrire sous l'équation simplifiée suivante :



Conversion par photovoltaïque

Énergie solaire photovoltaïque est l'énergie des photons dans la lumière transformée directement en électricité grâce à des cellules solaires qui sont fabriqués avec des matériaux semi-conducteurs. Une cellule photovoltaïque (ou photopile) est un dispositif qui transforme l'énergie lumineuse en courant électrique.

Conversion par photo thermique

La conversion de l'énergie rayonnante en énergie thermique (chaleur). L'absorption du rayonnement se fait par le corps par une couche dont l'épaisseur est approximativement de $1\mu m$. L'énergie photonique $En = hv$ se transforme en agitation moléculaires et dont en chaleur (se propage dans tous le corps) ce qui se traduit dans la plus part du temps par une augmentation de température de ce corps. Cependant, un apport de chaleur peut également provoquer un changement d'état.

IV.2. Convertisseurs photo thermique de l'énergie solaire (Solaire thermique)

Les convertisseurs photo thermique sont des capteurs solaires conçu pour convertir l'énergie des rayonnements solaire capter par une surface que l'appelle surface absorbante en énergie calorifique, cette énergie est transférer à travers la paroi de la surface absorbante vers un fluide caloporteur (liquide ou gaz) pour l'exploiter.

On peut diviser les convertisseurs photo thermiques (capteur solaire) suivant :

forme de construction.

niveau de température.

Capteur solaire suivant leur forme : On trouve deux filières de capteurs solaires

Capteurs plans : Le rayon solaire frappe directement sur une surface plane qui constitue l'élément de base (Absorbeur) du capteur.

Capteurs concentrateurs : Des surfaces planes ou de forme parabolique réfléchis les rayons solaires vers un foyer qui constitue l'absorbeur.

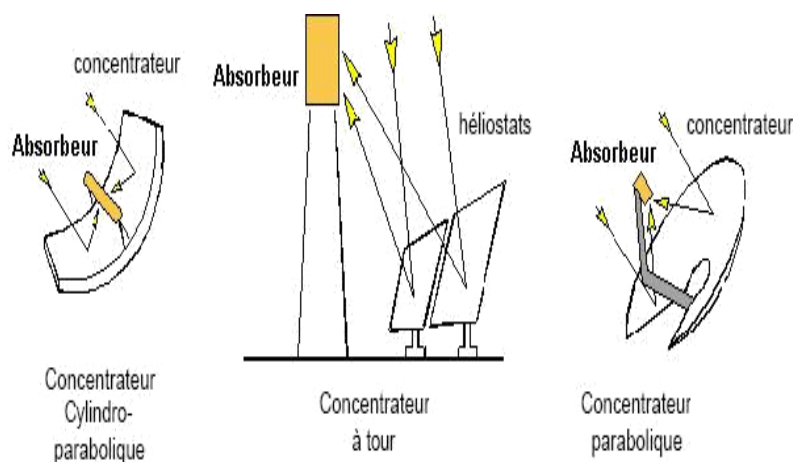


Figure 26. Capteurs solaire concentrateur

• Capteur solaire suivant le niveau de température

Cinq catégories d'applications se dégagent en fonction des niveaux des températures

Niveau de température atteinte par le capteur solaire 20° à 50°C

Cloche de jardinier : Le principe de fonctionnement se base sur le phénomène de l'effet de serre. Une surface transparente vitrée ou en plastique (pour permettre le passage des rayons incidents) piège l'énergie thermique remise sous forme des rayons infrarouges, ce qui augmente la température de l'enceinte

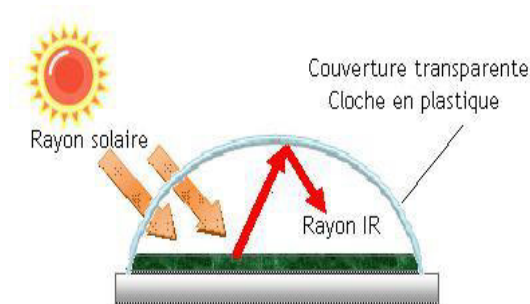


Figure 27. Cloche du jardinier.

L'effet de serre permet d'obtenir des températures moyennes de plus de 20°C même par temps froid.

• Capteurs à air

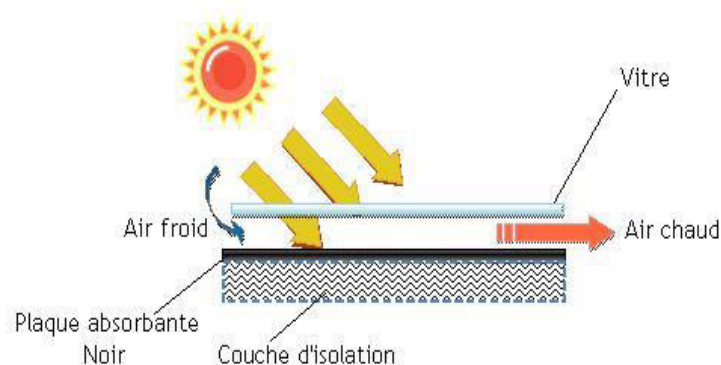


Figure 28. Capteur à air

Sous un vitrage une plaque noire exposée aux rayons solaires s'échauffe d'autant plus qu'un isolant arrête les pertes arrière de chaleur. A cause de la différence de

CHAPITRE 1. Technologie de l'Énergie Solaire

température entre l'ambient et l'intérieur du capteur l'air circule entre le verre et la tôle noire (Absorbeur) et s'échauffe.

L'échauffement de l'air peut atteindre 20 à 40°C de plus que la température ambiante, le rendement du capteur est de l'ordre de 40 à 50% en fonction des dimensions du capteur.

Usage :

- Le séchage agricole.
- L'habitat solaire par utilisation de l'air chaud (Mur Trombe Michel...

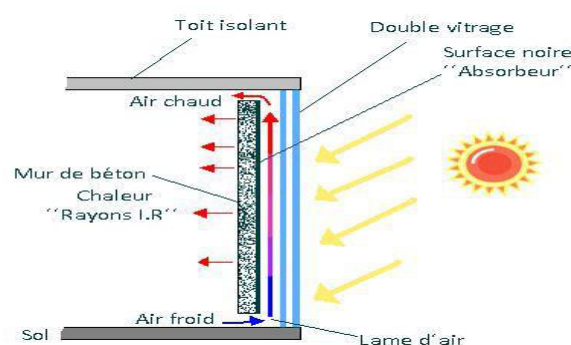


Figure 29. Capteur a air utilisé en climatisation " Mur Trombe- Michel"

Distillateurs solaires

L'eau à distiller se trouve dans un bac à fond noir (Absorbeur). Au-dessus on dispose un vitrage (Couverture) incliné. L'eau se condense sur la face inférieure du vitrage. On recueille le condensat dans une rigole placée latéralement. Le rendement moyen est de 4 à 5 litres d'eau distillée par m² et par jour.

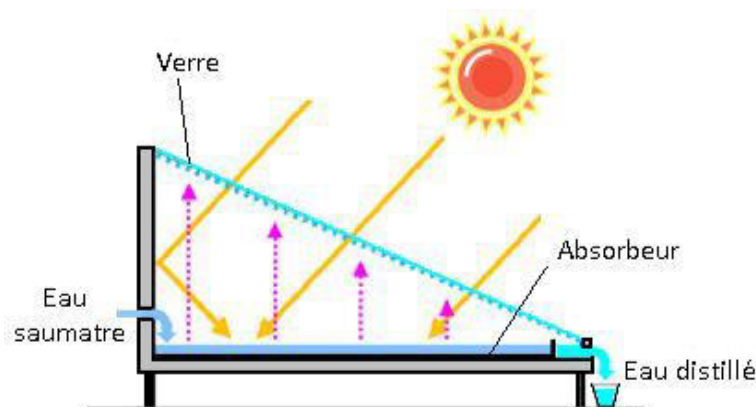


Figure 30. Distillateur solaire

Usage :

- Alimentation en eau potable à partir de l'eau de mer : quelques m³/jour pour les hôtels, dispensaires etc.
- Eau distillée pour les garages ou l'industrie.
- **Capteurs à eau (sans vitrage)**

Ces capteurs sont composés d'un simple absorbeur constitué d'un réseau de tubes accolés soit en plastique soit en caoutchouc de couleur noire. L'eau à chauffer circule dans les tubes. La température pouvant être atteinte (sans vent) environ 45°C. Le rendement est de l'ordre de 30%

Usage :

- Préchauffage des eaux sanitaire dans les centrales de chauffe.
- Chauffage des piscines.

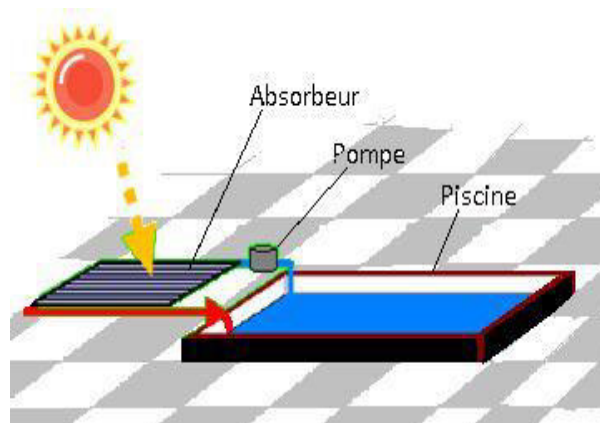


Figure 31. Chauffage d'une piscine à l'aide d'un capteur sans vitrage

Il est à remarquer qu'à ce niveau thermique le stockage de l'eau chaude est très efficace.

Niveau de température atteinte par le capteur solaire 50 à 100°C

- **Capteurs plans avec couverture**

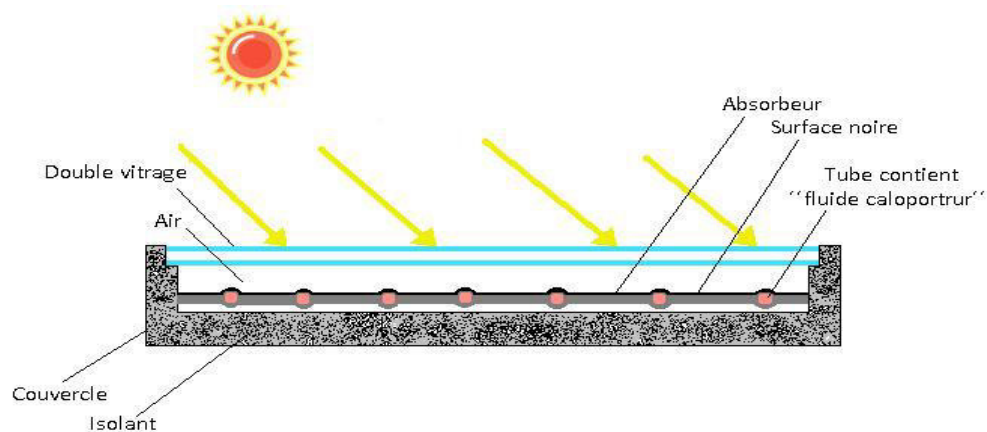


Figure 32. Capteur plan avec couverture "Double vitrage"

Dans ce type de capteur on utilise l'effet de serre associé à une bonne isolation thermique de l'élément chauffant. Le capteur est constitué :

- D'un élément chauffant (Absorbeur) métallique comprenant des tubes à eau ou une lame d'eau comprise entre 2 plaques ; la partie supérieure est noire.
- Au-dessus on dispose un ou deux vitres.
- Sur les côtés et en dessous un isolant (laine de verre, polyuréthane, etc.).
- Le tout est enfermé dans un boîtier rigide.

On peut augmenter la température en utilisant des revêtements sélectifs au niveau de l'absorbeur. Par exemple un capteur de rendement 50 % avec une bonne isolation on atteint une température de l'ordre de 65°C sans revêtement sélectif et 95°C avec revêtement sélectif.

Usage :

1) Les chauffe-eau solaire : Utilisé pour l'eau chaude sanitaire.

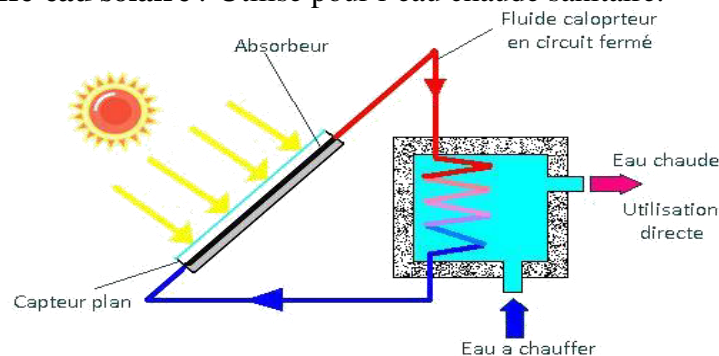


Figure 33. Capteur couplé avec un ballon d'eau chaude "Chauffe-eau solaire"

- Capteur stockeur

Une enceinte joue le rôle entouré d'une couche d'isolation thermique enveloppe à l'intérieur en trouve les panneaux solaires (l'absorbeur) d'une disposition verticale ou horizontale émergé dans fluide pour stoker la chaleur.

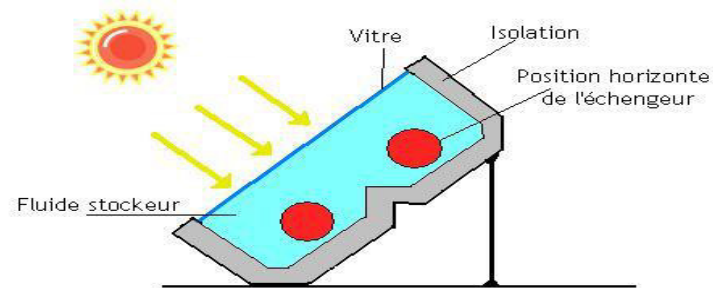


Figure 34. Capteur stockeur

Les rayons solaires traversent la vitre pour chauffer le milieu de stockage ainsi que l'absorbeur

- Etangs solaires

Un Étang solaire est un capteur solaire de grande dimension avec stockage de chaleur intégré. Dans un étang normal, l'eau chauffée par le soleil devient plus légère et monte à la surface où la chaleur se dégage dans l'air ambiant. Ainsi, l'eau de l'étang reste à la température moyenne de l'air.

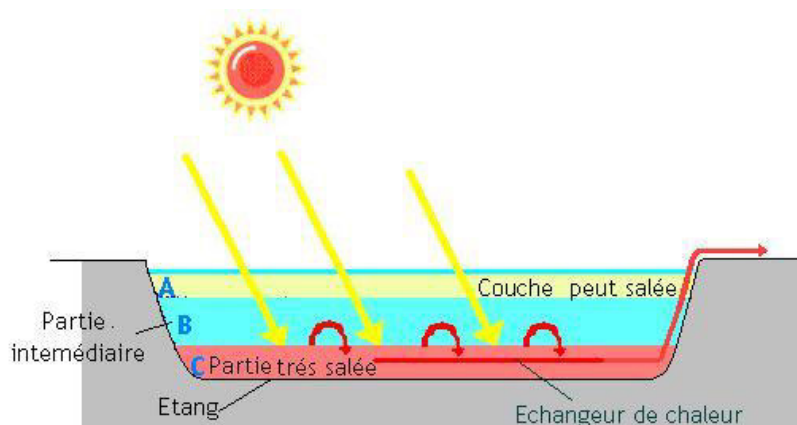


Figure 35. Etang solaire

CHAPITRE 1. Technologie de l'Energie Solaire

Dans un « étang solaire » la thermo-circulation de l'eau est empêchée par le sel dissous au fond du bassin. En effet, l'eau salée chauffée par le soleil est trop lourde pour monter à la surface avec l'augmentation de la température.

Un étang solaire est un bassin d'eau salée, naturel ou artificiel, composé de trois zones :

- *Zone A* : La partie haute est peu salée, l'eau réagit comme dans un étang normal et la température reste proche de l'air ambiant.
- *Zone B* : La partie basse est très salée, exposée au rayonnement solaire, elle peut devenir très chaude (60 à 100°C)
- *Zone C* : La partie intermédiaire, où la salinité augmente avec la profondeur et crée un gradient de densité qui empêche la thermo-circulation. Cette zone réagit comme une isolation thermique transparente, elle est traversée par le rayonnement solaire qui est absorbé et piégé par l'eau très salée en partie basse.

Niveau de température atteinte par le capteur solaire 100 à 150°C

- Capteurs à tube sous vide

Le corps noir est constitué par exemple d'une tôle recouverte par un revêtement sélectif et sur laquelle on a soudé un tube où circule le fluide à chauffer voir la figure suivante. L'ensemble est placé dans un tube en verre sous vide, évitant ainsi les pertes thermiques par convection et par conduction.

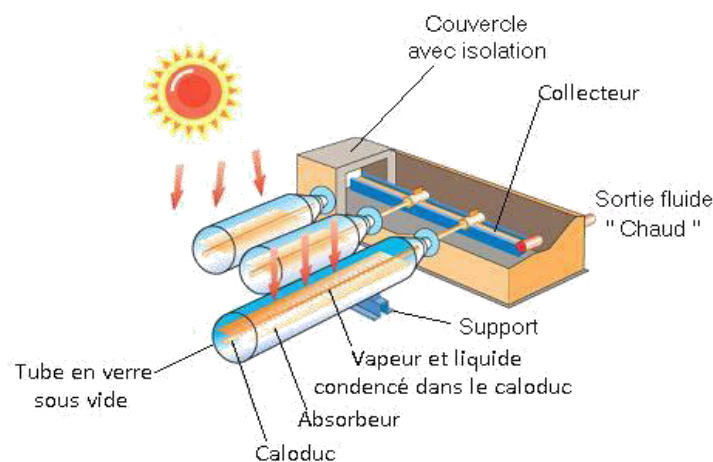


Figure 36. Capteurs à tube sous vide

Un tel tube exposé au soleil peut atteindre des températures d'équilibre de 250°C. En fonctionnement dynamique, on peut obtenir 150°C avec 50 % de rendement.

Capteurs à tube sous vide avec concentration

Avec une orientation est-sud, on peut, grâce à des développantes de cercle ou paraboles, concentrer le rayonnement solaire au fond du capteur m par exemple sur un capteur à tube sous vide.

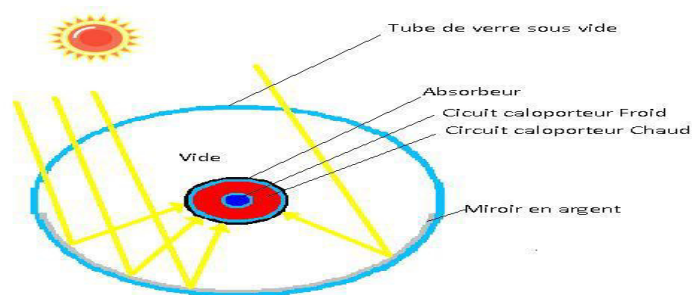


Figure 37. Capteur a tube sous vide avec concentration

Mêmes performances que les capteurs à tube sous vide.

Niveau de température atteinte par le capteur solaire 150 à 250°C :

- Capteurs mobiles autour d'un axe

La surface réfléchissante est cylindro-parabolique. L'ensemble tourne avec le soleil autour d'un axe nord-sud. Les rayons sont concentrés sur un tube ou un foyer de la parabole.

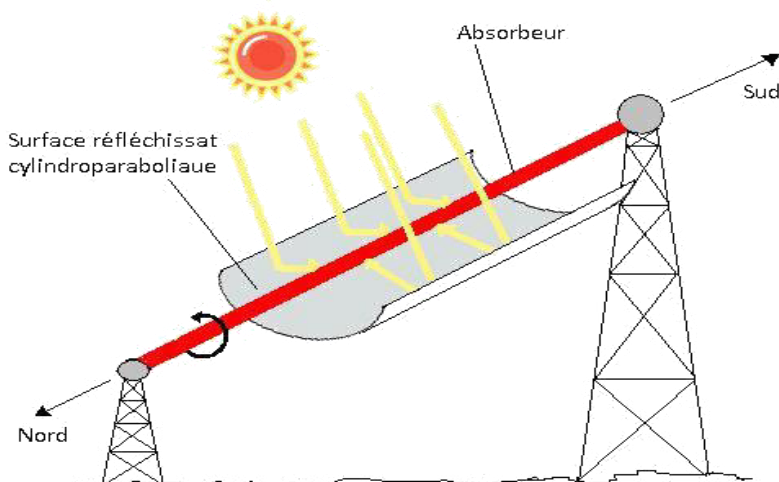


Figure 38. Capteur cylindro-parabolique nord-sud mobile autour d'un axe

Sous réserve d'un ensoleillement direct le rendement de ce type d'installation peut atteindre 600 W/m^2

- Capteurs fixe (a chaudière mobile)

Dans ce capteur, la surface réfléchissante est composée de lames de verre collées sur support béton Est-ouest. Les rayons se concentrent sur un cercle que suit la chaudière. Ces deux types de capteurs donnent des températures de 250°C avec un rendement d'environ 50 %.

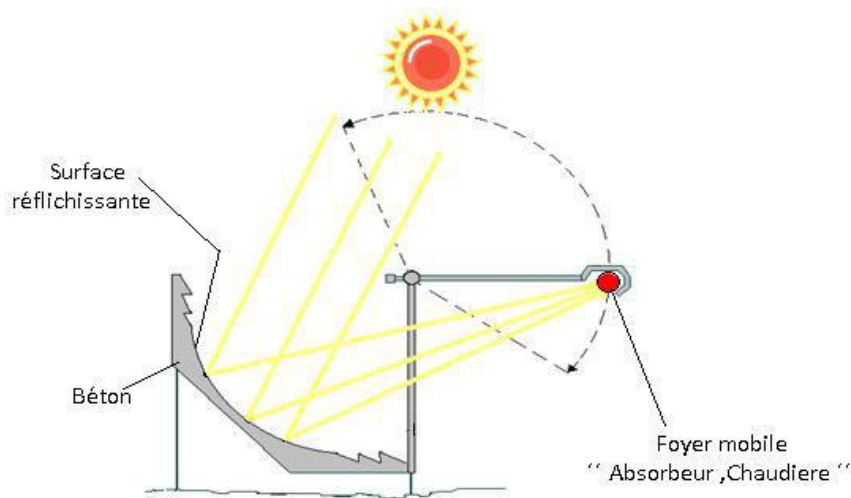


Figure 39. Capteur COSS (a chaudière mobile)

Usages :

- Production de vapeur.
- Centrale électro-solaires (ex : Type CORSE dans la gamme de puissance de 100 KW a 1000 KW).

Niveau de température atteinte par le capteur solaire de 250 et jusqu'à 3000°C

- Capteurs a concentration deux axes

Un paraboloïde axé sur le soleil concentre les rayons à son foyer où l'on peut donc placer une chaudière.

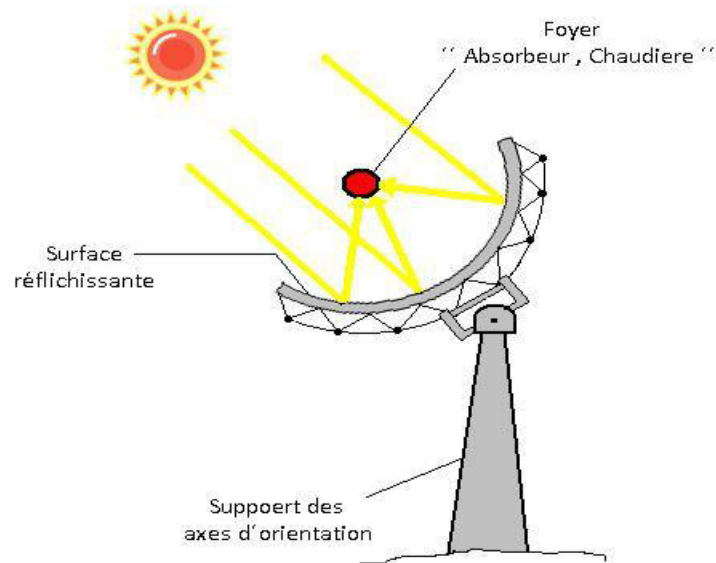


Figure 40. Capteur a concentration deux axes

- **Capteurs à concentration deux axes " Chaudière fixe "**

Une autre solution consiste à avoir une chaudière fixe qui reçoit le rayonnement d'un champ de paraboloides qui eux sont orientables par fois en le trouve sous le nom Concentrateur a tour ou tour solaire. Toujours sous réserve d'un ensoleillement direct le rendement peut dépasser les 600 W/m^2 . Les températures peuvent atteindre 500 à 600°C , voire 3000°C dans le cas du four solaire d'Odeillo.

Usage :

- Utilisation directe : production de vapeur industrielle.
- Utilisation indirecte : avec cycle thermodynamique associé, centrale électro-solaire.

Remarque

Le but de notre thème est l'étude des facteurs et les paramètres qui ont une influence sur le rendement de la conversion photo thermique de l'énergie solaire d'un capteur solaire plan. Les domaines d'application du capteur à étudier sont : les installations de chauffage d'eau sanitaire, la climatisation. Le niveau de température de ces domaines varié entre 20 et 100°C .

IV.3. Bilan thermique d'un capteur solaire plan

La modélisation d'un capteur plan solaire passe par l'établissement d'un bilan thermique, pour l'évaluation des gains et des pertes du système. [21]

Le bilan thermique d'un capteur solaire plan, s'obtient simplement en écrivant que l'énergie absorbée pendant l'intervalle de temps d_t , soit q_{abs} donne par la relation suivant :

$$q_{abs} = q_u + q_p + \frac{d_{ec}}{d_t} \quad (29)$$

Avec :

q_u : Énergie extraite du capteur par le fluide caloporteur.

q_p : Énergie perdue par le capteur dans l'environnement.

d_{ec} : Accroissement de l'énergie ec emmagasinée dans le capteur.

- Puissance d'un capteur solaire plan

➤ *En régime transitoire*

$$P_{abs} = P_u + P_p + P_c \quad (30)$$

➤ *En régime permanent*

$$P_{abs} = P_u + P_p \quad (31)$$

Avec :

P_{abs} : Puissance incidente du rayonnement solaire absorbé par unité de surface.

P_u : Puissance utile récupérée par le fluide caloporteur.

P_p : Pertes thermiques.

P_c : Puissance stockée sous forme de chaleur vive dans les différents éléments du capteur lorsque le régime est transitoire.

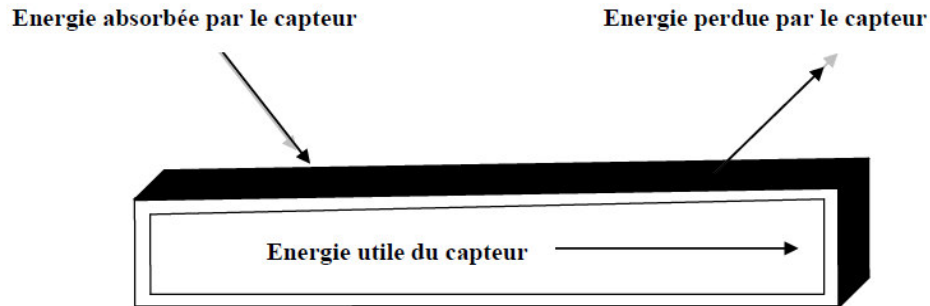


Figure 41. Bilan thermique d'un capteur solaire plan

- Transfère thermique

Les transferts thermiques entre fluide et paroi revêtent une grande importance dans beaucoup de domaines tel que : la mécanique des fluides, l'énergie solaire, les systèmes d'isolations, ainsi que dans la conception des échangeurs de chaleurs.

Le transfert de chaleur entre deux corps est une interaction énergétique qui résulte d'une différence de température entre deux corps.

- Champ de température

Les transferts d'énergie sont déterminés à partir de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température :

$$T=f(x, y, z, t) \quad (32)$$

La valeur instantanée de la température en tout point de l'espace est un scalaire appelé *champ de température*. Nous distinguerons deux cas :

- champ de température indépendant du temps : le régime est dit *permanent* ou *stationnaire*.
- évolution du champ de température avec le temps : le régime est dit *variable* ou *instationnaire*.

- Gradient de température

Si l'on réunit tous les points de l'espace qui ont la même température, on obtient une surface dit *surface isotherme*. La variation de température par unité de longueur est maximale le long

de la normale à la surface isotherme. Cette variation est caractérisée par le gradient de température.

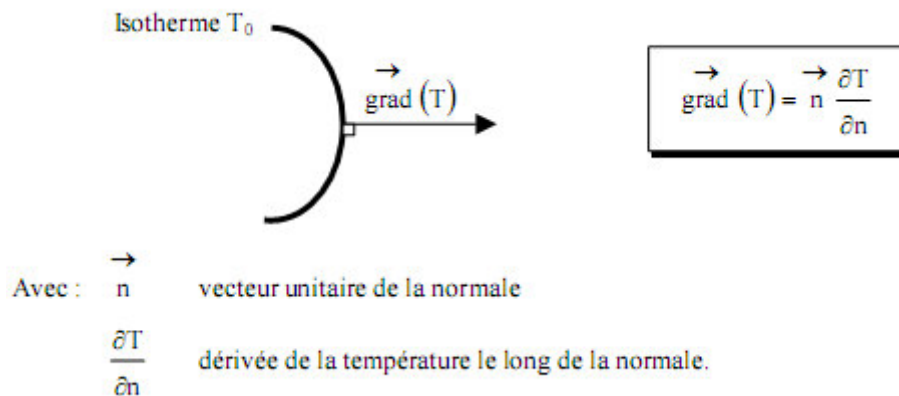


Figure 42. Gradient de température

On distingue habituellement trois modes de transfert de chaleur

- ✓ La conduction thermique,
- ✓ Le rayonnement thermique
- ✓ La convection thermique.

- **Transfert de chaleur par convection**

La convection est un mode de transfert de chaleur qui met en jeu, en plus de la conduction, le mouvement macroscopique de la matière. Ce phénomène se produit au sein des milieux fluides en écoulement ou entre une paroi solide et un fluide en mouvement. On distingue deux types de convection :

- **Convection naturelle**

Ce type résulte des variations de masse volumique du fluide, il en résulte une convection laminaire ou turbulente, suivant la valeur du nombre de Grachof ou de Rayleigh.

- **Convection forcée**

Ce type est un résultat quand le mouvement du fluide est créé par une différence de pression.

Compte tenu du lien entre le transfert de masse et le transfert de chaleur, il est nécessaire de considérer la nature du régime d'écoulement (régime turbulent ou régime laminaire).

- On parlera de convection mixte lorsque les deux types de convection coexistent dans un système.

L'équation qui régit le transfert de chaleur par convection est connue sous le nom de loi de Newton, elle a la forme suivante :

$$\phi = h.S(T_e - T_f) \quad (33)$$

h : Coefficient d'échange par convection dont l'unité est (w/m². c°).

- **Transfert de chaleur par conduction**

C'est un transfert moléculaire de la chaleur dans les corps (ou bien entre les corps), conditionné par la différence des températures dans le milieu considéré. La chaleur se transmet de proche en proche dans tout le milieu, des parties chaudes vers les parties plus froides. Cette progression s'effectue sans mouvement de matière.

La loi fondamentale de la conduction **Loi de Fourier** exprime le flux de chaleur transmis dans un milieu de conductivité thermique λ à travers une surface S, elle s'écrit :

$$\varphi = -\lambda S \text{grad}(T) \quad (34)$$

Le flux de chaleur par conduction est proportionnel au gradient de température.

Sous forme algébrique et suivant la direction x perpendiculaire à la surface S, le flux s'écrit :

$$\varphi = -\lambda S dT/dx \quad (35)$$

λ : Est le coefficient de conductivité thermique du milieu de transmission w /m.C

φ : Flux de chaleur transmis par conduction (w)

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m²)

x : Variable d'espace dans la direction du flux de chaleur (m)

- **Transfert de chaleur par rayonnement**

Tout corps matériel émet et absorbe de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique. Le transfert de chaleur par rayonnement entre deux corps séparés par du

vide ou un milieu semi transparent se produit par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques, donc sans support matériel. Le phénomène d'émission d'un corps correspond à la conversion d'énergie matérielle (agitation des électrons constituant la matière dont l'intensité dépend de la température) en énergie radiative. Le phénomène d'absorption est la conversion inverse.

$$\varphi = \sigma \cdot \varepsilon_p \cdot S(T_p^4 - T_\infty^4) \quad (36)$$

Avec :

φ : Flux de chaleur transmis par rayonnement (w).

σ : Constante de Stefan ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ w m}^2 \text{ k}^{-4}$).

ε_p : Facteur d'émission de la surface (l'émissivité de la surface).

T_p : Température de la surface (k).

T_∞ : Température du milieu environnant la surface (k).

S : Aire de la surface (m^2).

Conclusion

Les énergies renouvelables sont propres et constituent une solution alternative pour subvenir aux besoins de la société actuelle. Longtemps négligées ces énergies reprennent la place qui leur est dû, grâce aux recherches et études qui se font de plus en plus diversifiées et pluridisciplinaires.

Ce chapitre a été consacré à la présentation des notions générales relatives au rayonnement solaire. L'étude du rayonnement solaire s'avère nécessaire pour le choix du meilleur site en vue d'une installation d'un système de captation solaire.



CHAPITRE 2. Technologie de Dessalement des Eaux

Introduction

Assurément, l'eau est une des richesses du globe des plus abondantes et des plus rares. Elle est des plus abondantes car (97,5%) des ressources naturelles ne trouvent sous forme d'eau salée dans les océans et les mers qui couvrent plus des trois quarts de la surface terrestre. La quantité totale, allant des océans aux glaciers, en passant par les mers, les lacs, les fleuves et les eaux souterraines, est estimée à 1.400.000 km³, soit $14 \cdot 10^{17}$ m³ d'eau.

Pourtant, elle est rare et précieuse si l'on en juge par la famine du sud d'Algérie, par les énormes problèmes du Mexique, par la pénurie généralisée dans les pays industrialisés, bref, par l'influence déterminante de son rôle primordial sur la destinée des hommes. L'eau existe en effet, mais le plus souvent, elle ne répond pas aux exigences des normes de potabilité, ce qui la rend impropre à la consommation humaine.

I. Dessalement des eaux saumâtres

I.1 Cycle d'eau

Le cycle hydrologique décrit le mouvement continu de l'eau au-dessus, sur et sous la surface de la terre. L'eau sur la surface de la terre est présentée par des cours d'eau, des lacs et des zones humides, ainsi que des océans. L'eau de surface comprend également les formes solides de l'eau, la neige et la glace. L'eau sous la surface de la terre est principalement une eau souterraine, mais elle comprend aussi l'eau du sol. [22]

La figure 43 représente le cycle hydrologique ou cycle naturel d'eau, qui est un diagramme simplifié qui montre les transferts d'eau. Ce cycle présente quatre grandes étapes :

- Évaporation : c'est le renvoi de l'eau sous forme de vapeur dans l'atmosphère, lorsque le soleil chauffe l'eau des mers, océans, lacs et rivières, et le transforme en vapeur.

- Condensation : c'est la transformation d'eau de l'état vapeur causé par l'échauffement sous l'action du soleil, en gouttelettes à cause du contact des couches d'air froid de l'atmosphère et forment les nuages
- Précipitation : c'est pratiquement la source de toutes les eaux douces dans le cycle hydrologique. Les nuages formés lors de la condensation déversent leur contenu sur la terre (océans et continents).
- Écoulement : quand les précipitations tombent sur les continents, en ce moment elles vont ruisseler et alimenter les eaux des rivières et des lacs, ainsi qu'elles vont s'infiltrer pour alimenter les nappes souterraines

Le cycle hydrologique de l'eau est répété selon ces 4 étapes

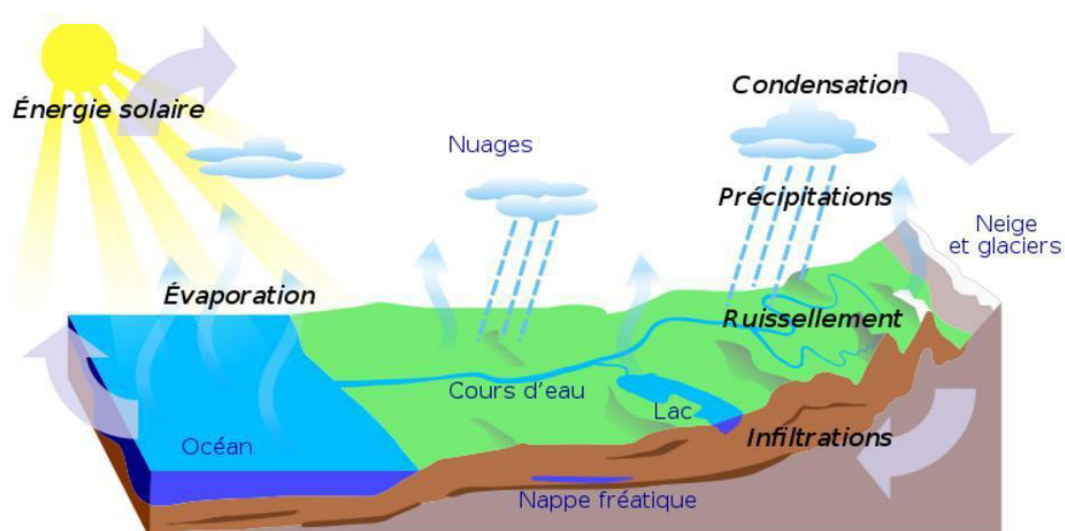


Figure 43. Cycle hydrologique d'eau

I. 2. Besoins et les ressources d'eau

Sur le plan mondial, la demande en eau potable de bonne qualité est plus en plus forte. En effet, la population augmente rapidement et les besoins en eau de l'industrie de l'agriculture sont de plus en plus élevés. Selon le Laboratoire de Contrôle des Eaux (LCE), Assistance Publique Hôpitaux de Marseille, les besoins en eau sont principalement répartis entre 4 types de consommation : [23]

CHAPITRE 2. Technique de Dessalement des Eaux

- 55% de l'eau consommée sert à fournir de l'énergie (barrage hydroélectrique, refroidissement des centrales nucléaires, énergie géométrique, etc....).
- 18% est consommée par les particuliers.
- 15% est utilisée par l'agriculture.
- 12% est consacrée par un usage industriel.

Les principales ressources en eau distribuées dans le monde entier représentent dans le tableau suivant :

Ressources	Volume (m3)	Total pour cent De l'eau	Pou cent de l'eau douce
Eau atmosphérique	12900	0.001	0.01
Glaciers	24064000	1.72	68.7
La glace de sol	300000	0.021	0.86
Rivières	2120	0.0002	0.006
Lacs	176400	0.013	0.026
Marais	11470	0.0008	0.03
l'humidité du sol	16500	0.0012	0.05
Aquifères	10530000	0.75	30.1
Lithosphère	23400000	1.68	
Océans	1338000000	95.81	
Totale	1396513390		

Tableau 4. Distribution des ressources en eau dans le monde

I. 3. Classification des eaux

Lorsqu' on classe les eaux en fonction des quantités de matières dissoutes qu'elles contiennent, on obtient les données présentées au tableau 5. Les eaux saumâtres, qui proviennent habituellement des nappes souterraines, contiennent le plus souvent de 2000 à

CHAPITRE 2. Technique de Dessalement des Eaux

10000 mg/L de matières dissoutes. Signalons au passage que l'effluent d'une usine d'épuration (traitement biologique) contient environ 750 mg/L de matières dissoutes.

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

Tableau 5. Classification des eaux selon la salinité

I. 4. Qualité de l'eau potable

Dans la majorité des cas, l'eau est exclusivement destinée à la consommation humaine et doit dans ce cas être conforme à la réglementation des eaux potable. Il arrive, cependant qu'une partie de la production soit destinée à une usine à proximité. L'exemple le plus fréquent est celui de la centrale thermique qui exige une eau complètement déminéralisée. L'avantage des procédés se déterminera souvent par la qualité de l'eau douce qu'on veut produire, ainsi le procédé de distillation aura l'avantage par rapport au procédé membranaire lorsqu'il s'agit de produire une eau déminéralisée.

Comme valeur guide, l'OMS fixe par exemple :

- ✓ Salinité inférieure ou égale à 1000 mg/l ;
- ✓ Les chlorures inférieurs ou égaux à 250 mg/l.

Outre les critères de potabilité, il faut vérifier que l'eau potable n'est ni agressive, ni entartrant vis-à-vis du réseau de distribution aux usagers. Or quel que soit le type de procédé de dessalement retenu, l'eau produite est pratiquement dépourvue de bicarbonate de calcium et montre donc un caractère agressif marqué. Cette agressivité doit être neutralisée par un post-traitement à déterminer en fonction de la nature des matériaux du réseau et de sa longueur. Il peut prendre des formes allant d'une simple correction de pH jusqu'à une reminéralisations partielle par introduction simultanée de chaux et de dioxyde de carbone.

I.5. Schéma général d'une installation de dessalement

Une installation dessalement quel que soit le type de procédé peut être schématiquement subdivisée en quatre postes (figure 44).

- Une prise d'eau de mer,
- Un poste de traitement éventuellement,
- L'installation de dessalement proprement dite,
- Un post-traitement.

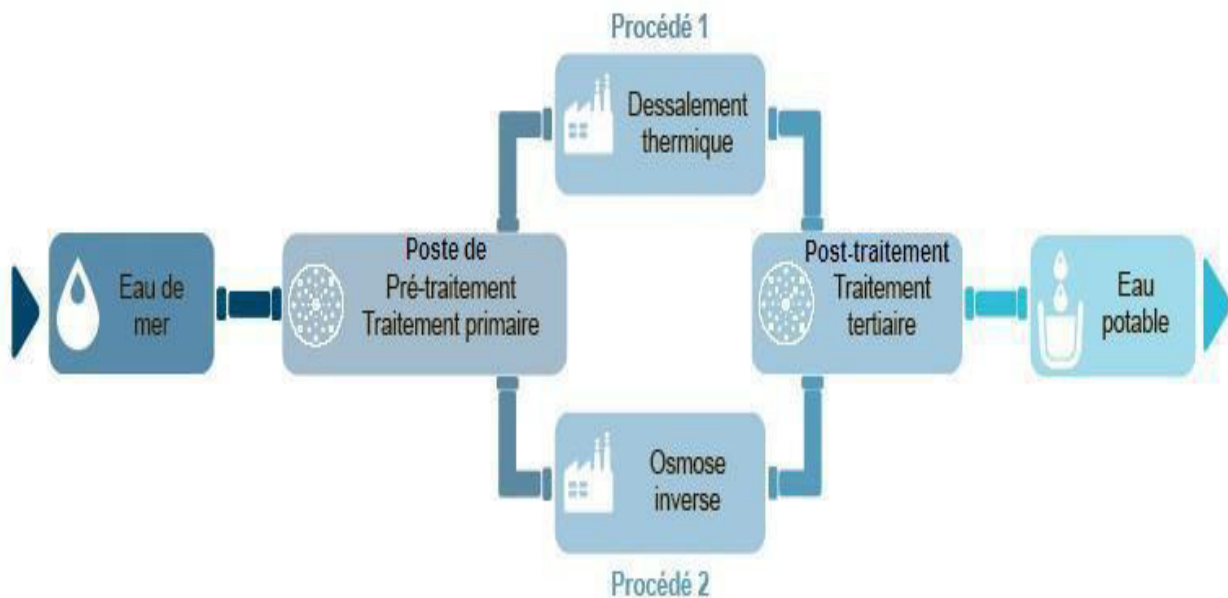


Figure 44. Schéma général d'une installation de dessalement

I.6. Techniques de dessalement

Il existe essentiellement deux familles de technologies de dessalements utilisés dans le monde d'aujourd'hui. Il s'agit notamment de technologies thermiques et de technologies à membrane.

- Les technologies thermiques sont celles que le chauffage de l'eau fait le recueil de la vapeur condensée (distillation) pour produire de l'eau pure. [24]

Elles sont rarement utilisées pour dessaler l'eau saumâtre (eau de moins de 10000 mg/L de matières en suspension), comme il n'est pas rentable pour cette application. Les technologies thermiques contiennent les éléments de processus de types :

- Distillation à multi stage flash (**MSF**).
- Distillation à effets multiples (**MED**).
- Distillation par compression de la vapeur (**VC**).

Les technologies à membranes minces, qui utilisent une membrane semi-perméable les alimentant en deux flux de divergents de concentration, un produit courant et de se concentrer. Dans les applications de dessalement, l'alimentation est soit l'eau de mer ou saumâtre. Les technologies de membrane comportent des spécifiques processus suivants :

- ❖ Osmose inverse (**RO**).
- ❖ Electrodialyse (**ED**).

I.6.1. Procédés à membranes

Les principaux procédés à membrane utilisés dans le domaine de dessalements sont :

L'électrodialyse et l'osmose inverse.

I.6.1.1. Electrodialyse

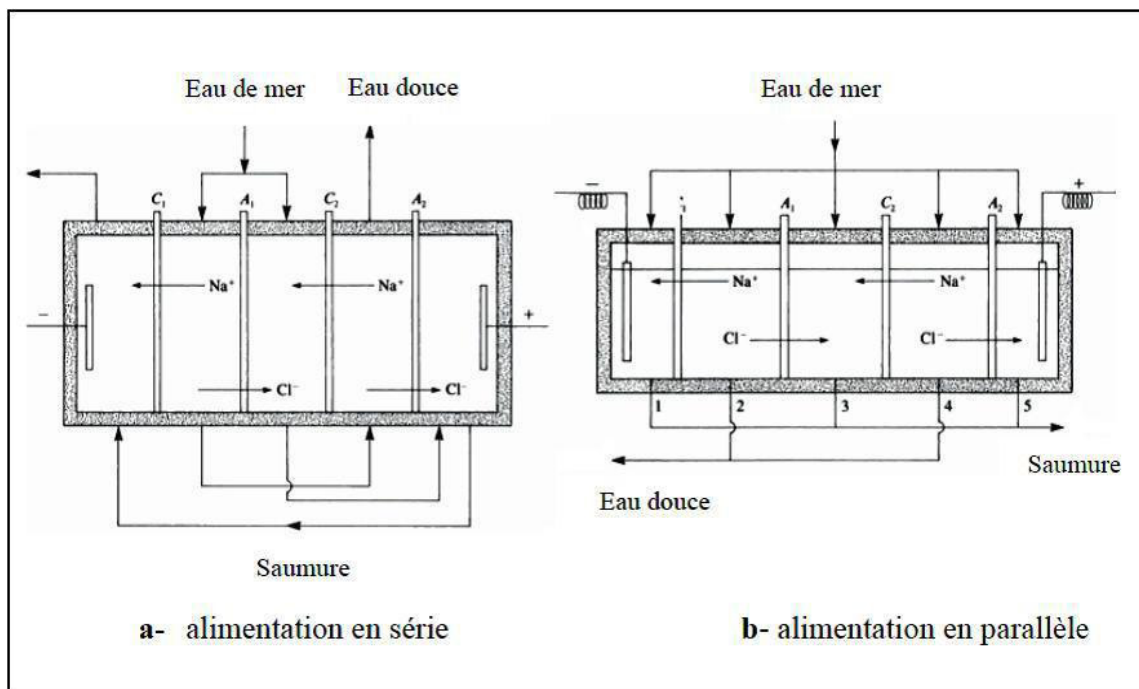
L'électrodialyse repose sur la mise au point et l'utilisation de membranes semi-perméables à l'eau sélectives pour les ions. Ainsi. Seuls les anions peuvent traverser une membrane anionique. Et seuls les cations peuvent traverser une membrane cationique.

CHAPITRE 2. Technique de Dessalement des Eaux

Pour construire un électro dialyseur ; on place dans un bac des membranes anioniques en alternance avec des membranes cationiques.

Lorsque le bac est rempli d'une solution ; on crée une différence de potentiel continue entre le premier et le dernier compartiment. Le fonctionnement d'un tel électro dialyseur est illustré dans la figure 45. On remarque que les ions du sodium, Na^+ de la cellule n°2, attirés vers l'électrode négative, traversent la membrane cationique C_1 . Tandis que les ions de chlorures, Cl^- , attirés vers l'électrode positive, traversant la membrane anionique A_1 , les ions Na^+ et Cl^- sont ainsi concentrés dans la cellule n°3.

En effet dans cette dernière, les ions Na^+ sont attirés vers l'électrode négative, mais ils ne peuvent pas traverser la membrane anionique A_1 et les ions Cl^- , attirés vers l'électrode positive, ne peuvent pas traverser la membrane cationique C_2 . Après un certain temps, on retrouve donc une solution plus concentrée dans les cellules n° 2 et 4. En pratique, on multiplie le nombre de cellules. L'alimentation de ces cellules en eau salée peut avoir lieu en parallèle (figure 45.b) ou en série (figure 45.a).



I.6.1.2. Osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de filtration tangentielle qui permet l'extraction d'un solvant, le plus souvent l'eau, par perméation sélective à travers une membrane dense, et sous l'action d'un gradient de pression.

Considérons un système de deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable sélective et contenant deux solutions de concentration différentes (Figure 46). Le solvant (généralement l'eau) s'écoule à travers la membrane du compartiment de la solution moins concentrée vers le compartiment contenant la solution la plus concentrée, c'est le phénomène d'*Osmose Directe*.

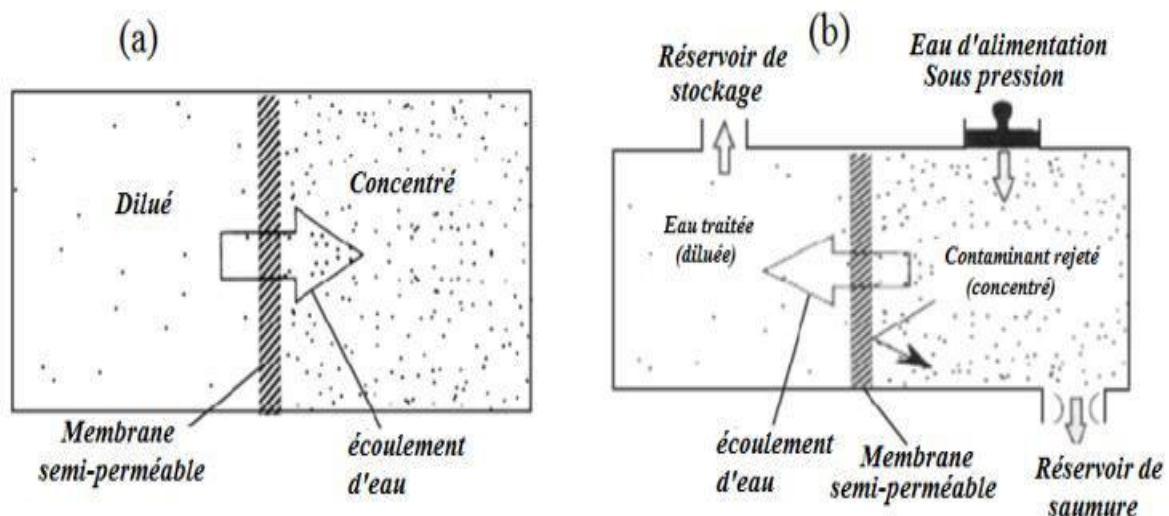


Figure 46. (a) Osmose Directe (b) Osmose Inverse

Si on applique progressivement une pression sur le compartiment de la solution la plus concentrée, le flux d'eau qui traverse la membrane va diminuer, puis s'annuler quand la pression appliquée atteint la pression osmotique. Si on applique une pression supérieure à la pression osmotique, l'eau va traverser la membrane dans le sens inverse du flux osmotique, c'est le phénomène d'*Osmose Inverse*.

I.3. Structure membranaire

Les membranes de séparation sont également divisées en deux types par rapport à la symétrie structurale : membranes symétriques et membranes asymétriques.

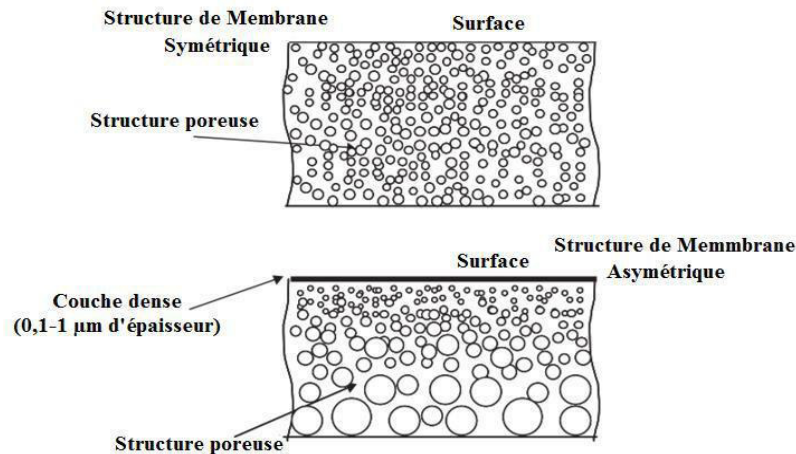


Figure 47. Membranes symétriques et asymétriques

I.3.1. Membranes symétriques

Les membranes symétriques ou isotropes sont des membranes qui possèdent une structure homogène, comme la montre la (figures 47). La porosité dans ces membranes est uniforme et sa distribution ne dépend pas de la direction, ni de l'orientation, ni de l'épaisseur de la membrane. Dans ce cas, la membrane, dans toute son épaisseur, forme la couche sélective.

I.3.2. Membranes asymétriques

Au contraire, dans une membrane asymétrique (figure 47) la porosité n'est pas uniforme et sa distribution dépend de l'orientation et de l'épaisseur dans la membrane. Elles sont préparées en une seule étape à partir d'un seul matériau. Ce n'est qu'avec l'apparition de ces membranes que les procédés de filtration membranaires ont réussi à s'implanter réellement dans le monde de l'industrie.

Les membranes asymétriques sont des membranes homogènes constituées d'un seul et même polymère, mais qui présente deux structures différentes, une partie poreuse qui est la sous-couche et une partie dense qui est la peau.

I.3.3. Membranes composites

Dans une membrane asymétrique, les couches denses et de support sont généralement constituées du même matériau ; si la composition du matériau diffère entre ces deux couches, la membrane asymétrique s'appelle une membrane composite. Elles sont donc fabriquées en plusieurs étapes à la différence des membranes asymétriques.

Elles ont été développées afin d'augmenter la perméabilité des membranes en diminuant l'épaisseur de la couche active sélective. Des épaisseurs de l'ordre de 10 à 100 nm sont utilisées.

Les différentes couches constituant une membrane composite possèdent toutes une fonction bien définie (comme dans le cas des membranes asymétriques) (figure 47). On distingue :

- **La couche support** : elle est macroporeuse et relativement épaisse (100 à 200 micromètres dans le cas des membranes organiques et quelques millimètres pour les membranes céramiques) ; elle représente en général au moins 99 % de l'épaisseur totale de la membrane ; son rôle est d'assurer la résistance mécanique de la membrane.
- **La couche active** : on parle également de couches filtrantes ou de la peau. Elle peut être poreuse ou dense et représente la partie sensible de la membrane en matière de séparation, puisque c'est elle qui régit la sélectivité, il s'agit d'une couche très mince dont l'épaisseur varie de quelques dizaines à quelques centaines de nanomètres dans les membranes organiques et n'excédant pas quelques micromètres dans les membranes céramiques.
- **La couche intermédiaire** : il s'agit d'une couche de faible épaisseur et très perméable dont le rôle est de permettre le dépôt de la couche active en évitant notamment que celle-ci n'interpénètre la couche de support lors du processus de filtration.

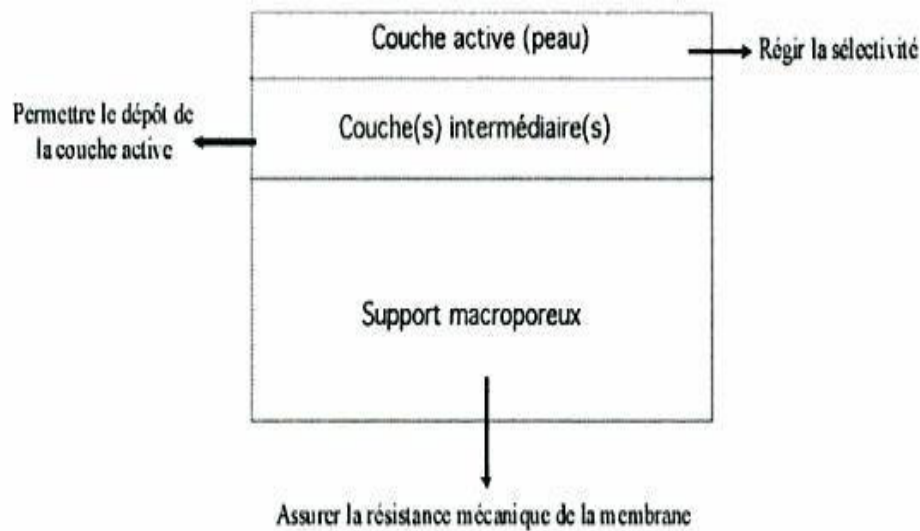


Figure 48. Fonction des différentes couches d'une membrane composite

I.4. Modules membranaires

Les modules d'osmose inverse sont disponibles en quatre configurations, en plat (plaque et cadre), en spirale, en fibres creuses et tubulaires. Pour le traitement de l'eau, comme le dessalement de l'eau de mer et les applications de purification de l'eau, les modules à fibres creuses et spirales sont principalement utilisés.

On utilise rarement les modules à feuilles plates et les modules tubulaires, en particulier dans des applications typiques utilisant des liquides à fortes concentrations de solides en suspension, ou des liquides hautement visqueux comme ceux des boissons, des produits alimentaires, des produits pharmaceutiques et des eaux usées.

I.4.1. Modules plans

Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples. Dans ce type de modules (figure 49), les membranes sont empilées en mille-feuilles séparés par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides.

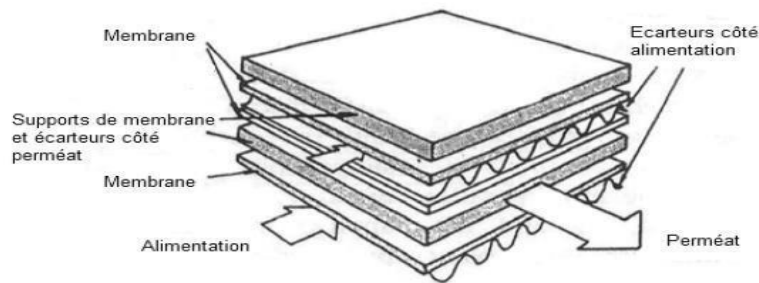
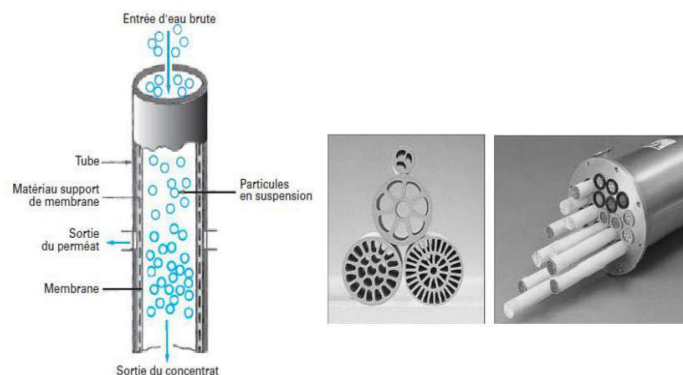


Figure 49. Modules plans

L'assemblage élémentaire est constitué d'un espaceur coté alimentation, d'une première membrane, d'un espaceur coté perméat et d'une deuxième membrane. Les membranes utilisées sont généralement des membranes organiques.

I.4.2. Modules tubulaires

Les membranes de modules tubulaires ont une géométrie cylindrique, avec un diamètre interne supérieur au centimètre. Elles peuvent être monocanaux ou multicanaux (figure 50). Elles sont constituées d'un support poreux dans lequel circule le perméat et sur lequel est déposée la couche active. Celle-ci est généralement située à la surface interne des canaux. Elles sont basées sur une technique simple, facile d'utilisation et de nettoyage.



(a) : membrane tubulaire monocanal (b) : membranes tubulaires multicanaux

Figure 50. Membranes de modules tubulaires

I.4.3. Modules spiralés

La membrane de module spiralé est une membrane plane. Elle est enroulée sur elle-même, autour d'un tube poreux qui recueille le filtrat (figure 51). On obtient ainsi un cylindre multicouche où le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux. La densité de l'ensemble est plus élevée. Les membranes spiralées sont uniquement utilisées pour les applications de nanofiltration et d'osmose inverse.

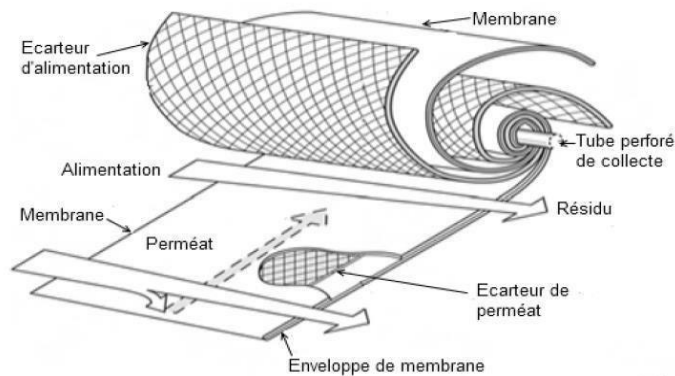


Figure 51. Modules spiralés

I.4.4. Modules fibres creuses

Les membranes de modules à fibres creuses rassemblent en faisceau un ensemble de fibres creuses, de diamètre externe inférieur à environ un millimètre (figure 52). Cette configuration leur procure la plus forte densité d'écoulement possible.

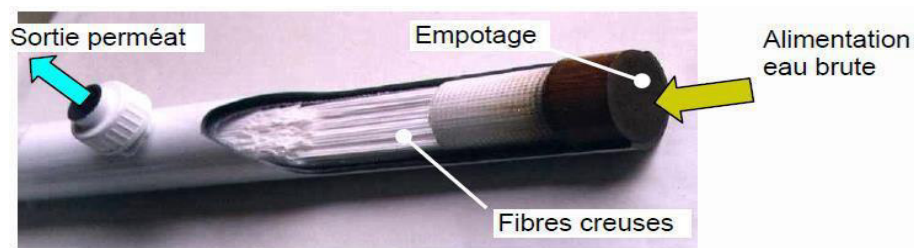


Figure 52. Membranes de modules fibres creuses

I.5. Membrane fréquemment utilisée en OI

Les membranes utilisées dans l'osmose inverse sont des membranes asymétriques (plusieurs couches d'épaisseurs différentes) et composites (plusieurs matériaux différents). Les premières membranes d'osmose inverse étaient constituées d'acétate de cellulose asymétrique. Aujourd'hui, la majorité des membranes d'osmose inverse se composent d'un film de matériau polymère composé de trois couches (figure 53) :

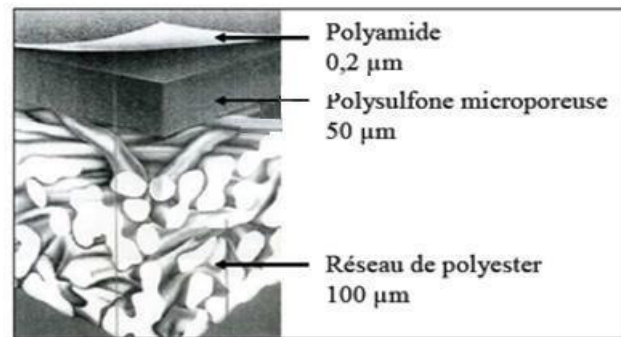


Figure 53. Couches constitutives d'une membrane d'osmose inverse

- La base : elle est formée d'un matériau inerte (ex. polyester téréphtalique), son rôle est d'assurer la résistance physique du film, ainsi elle permet le dépôt en couche mince de la partie active.
- Une couche de support : assure la résistance mécanique de l'ensemble, et permet une perméabilité élevée à l'eau. Sa taille des pores est correspondante à une membrane d'ultrafiltration. (ex. polysulfone).
- La couche active superficielle : cette couche permet la séparation des espèces.

Généralement, le polymère le plus utilisé est le polyamide aromatique.

Pour être mises en œuvre, les membranes doivent être montées dans des modules qui leur tiennent lieu de support mécanique. En osmose inverse, les modules les plus utilisés sont les modules spiralés et les fibres creuses. Ces deux types de modules ont l'avantage d'être compacts et peu chers, ils nécessitent une faible consommation énergétique.

II. Energies renouvelables dans le traitement des eaux

II.1. distillation solaire

La distillation solaire a été utilisée depuis plusieurs siècles ; mais la plus grande réalisation est apparue en 1872 près de Las- Salinas dans le nord du Chili. Le modèle a été fabriqué par Carlos Wilson, un ingénieur suédois avec une surface vitrée de 5000m², produisant jusqu'à 20 m³ d'eau douce par jour à partir d'une eau saline contenant 140g/l. Ce système fonctionna jusqu'en 1910 à cause d'un problème d'accumulation rapide des sels dans le bassin, nécessitant un nettoyage régulier du distillateur.

La distillation solaire connut une période creuse entre 1880 et la première guerre mondiale. En 1920, Kaush utilisa des réflecteurs en métal pour concentrer les rayons solaires ; il en résulte l'apparition de nouveaux appareils (types toit, couverture en V, plateau incliné...etc.). Une installation due à Ginistous groupant 30 appareils de 1 m² fut réalisée et exploitée à Bengardane en Tunisie en 1929.

Au début des années 30, Trifinov proposa un distillateur inclinée ; en 1938 Abbot utilisa des réflecteurs cylindriques paraboliques pour concentrer les rayons solaires, le tout est acheminé dans des tubes contenant de l'eau.

Maria Telks inventa en 1945 un nouveau type de distillateur solaire appelé distillateur sphérique, qui fut utilisé par la marine américaine ; un grand nombre de ce modèle, environ 2000 a été utilisé pendant la 2ème guerre mondiale. En 1969, Cooper proposa une simulation pour analyser les performances d'un distillateur solaire type serre.

Depuis les années 70, plusieurs autres types de distillateurs ont été élaborés et étudiés, Parmi lesquels :

- le distillateur à effet multiple ;
- le plateau incliné ou le distillateur solaire incliné ;
- le distillateur solaire type mèche inclinée ou type multiple mèches ;
- combinaison du distillateur solaire serre.

Plusieurs pays se sont intéressés à la distillation solaire parmi lesquels :

L'Algérie : En 1953 Cyril Gomela a développé différents types de distillateurs solaires ; plus de 20 distillateurs solaires d'une dizaine de types ont été testés et certains d'entre eux ont été commercialisés à travers l'Afrique du Nord, le Sénégal et l'Australie. Des essais ont été effectués au Sahara de Biskra, à Tamanrasset et Adrar.

L'Australie : Le CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) a entrepris des recherches sur ce type de distillation, une unité similaire à celle de Gomela a été développée. Entre 1963 et 1967 le CSIRO a construit et testé plus de 8 distillateurs. Le but de ces tests était d'améliorer l'efficacité du distillateur. Une variété de matériaux a été utilisée pour la construction du distillateur.

Le Chili : En plus de l'installation du premier distillateur construit en 1872, d'autres sites de distillateurs inclinés ont été installés entre 1969 et 1970. Le but de ce travail était de prédire les caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur sous différentes conditions atmosphériques.

L'Inde : En 1957, deux petits distillateurs solaires à effet de serre ont été construits pour étudier les effets de l'inclinaison de la vitre. Il a été constaté qu'un distillateur en verre avec une faible épaisseur de la solution donnait de bon rendement.

Les USA : Des centres de recherche, dont l'université de Californie ont entrepris, juste après la deuxième guerre mondiale, des recherches sur la distillation solaire. Plusieurs configurations d'un distillateur solaire simple ont été construites et testées pour essayer de réduire d'une part le coût et d'augmenter le rendement d'autre part; les effets de nombreux paramètres, différents matériaux d'isolation ont été étudiés

Plusieurs autres pays (Grèce, Tunisie, Maroc) se sont également consacrés à l'étude de la distillation solaire et ont ainsi réussi à améliorer la production.

II.2. dessalement solaire

Une combinaison des sources d'énergie renouvelable et de la technologie du dessalement pourrait offrir une source durable d'eau potable. Le potentiel technique et économique des ressources d'énergie renouvelable pour la production d'électricité varie considérablement d'un pays à l'autre. Le potentiel annuel combiné de l'énergie éolienne, géothermique, hydraulique et l'énergie tirée de la biomasse équivaut à environ 830 billions de wattheures. L'irradiance solaire est de loin la plus grande ressource disponible. L'énergie solaire présente une potentielle 1 000 fois plus grand que les autres sources renouvelables combinées et est de plusieurs ordres de grandeur supérieur à la demande actuelle totale d'électricité au niveau mondial.

Cette ressource abondante peut être employée à la fois dans les systèmes photovoltaïques (PV) distribués et les grandes centrales solaires thermiques. Alors que les systèmes PV peuvent uniquement produire de l'électricité, l'énergie solaire captée et redirigée à l'aide de miroirs pour réchauffer des liquides ce que l'on appelle concentration de l'énergie solaire permet de générer à la fois de la chaleur et de l'électricité. La chaleur produite peut être stockée, au contraire de l'électricité.

La concentration de l'énergie solaire a été sélectionnée pour une analyse pour deux raisons : elle présente le potentiel de stocker la chaleur de sorte qu'elle peut fournir l'énergie de base nécessaire au dessalement (ce qui constitue un facteur critique pour les technologies de dessalement à grande échelle actuellement disponibles).

❖ elle renferme un potentiel important d'amélioration technologique. Avec une capacité de stockage thermique suffisante, la concentration de l'énergie solaire pourrait fournir l'électricité de base 24 heures sur 24. Actuellement, l'efficacité des capteurs solaires varie de 8 à 16 %, mais dès 2050, les améliorations techniques devraient porter le taux d'efficacité à 15 à 25 %. Aujourd'hui, le champ de capteurs solaires représente plus de la moitié du coût d'investissement.

Cependant, des améliorations en matière de captage du rayonnement solaire devraient permettre de réduire fortement les coûts.

❖ Les coûts de l'eau douce produite par les centrales thermiques avec concentration de l'énergie solaire et les usines de dessalement par osmose inverse varient considérablement dans les régions autour de la Mer méditerranée, du Golfe et de la Mer rouge, principalement en raison des différences de salinité de l'eau de mer.

La concentration de l'énergie solaire au service de l'osmose inverse permet d'obtenir de l'eau au coût le plus bas dans les régions méditerranéennes et de la Mer rouge, allant de 1,5 à 1,7 dollar/m³. Ces coûts varient également en fonction de l'emplacement en zone côtière ou à l'intérieur du pays. À l'intérieur des terres, le rayonnement solaire peut réduire les coûts de près de 0,15 dollar/m³ dans la zone méditerranéenne, mais la différence ailleurs est négligeable. En 2050, les coûts de l'osmose inverse devraient diminuer d'environ 1, 2 dollar/m³.

❖ Actuellement, le dessalement thermique par concentration d'énergie solaire est plus cher que le processus d'osmose inverse, selon les estimations, sauf dans le Golfe où l'énergie supplémentaire est assurée par le carburant bon marché. Aux prix actuels, les coûts indicatifs de l'eau par centrale thermique avec concentration de l'énergie solaire varient de 1,8 à 2,1 dollars/m³.

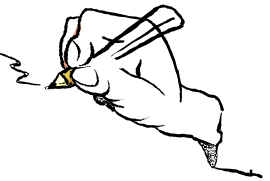
Les innovations technologiques devraient réduire les coûts du dessalement thermique par concentration d'énergie solaire à environ 0,9 dollar/m³ dès 2050. L'adoption du système de concentration d'énergie solaire apportera des avantages considérables sur le plan de l'environnement. La part accrue du dessalement par concentration d'énergie solaire et osmose inverse allié au dessalement thermique par concentration d'énergie solaire plus efficace réduira la production annuelle de saumure de près de la moitié de 240 à 140 km³.

Conclusion

Le dessalement de l'eau est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce (potable ou, plus rarement en raison du coût, utilisable pour l'irrigation) à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer notamment). En dépit du nom, il s'agit rarement de retirer les sels de l'eau, mais plutôt, à l'inverse, d'extraire de l'eau douce.

Très généralement, il est plus simple et plus économique de rechercher des sources d'eau douce à traiter (eaux de surface, telles que lac et rivière, ou eau souterraine), que de dessaler l'eau de mer. Cependant, dans de nombreuses régions du monde, les sources d'eau douce sont inexistantes ou deviennent insuffisantes au regard de la croissance démographique ou de la production industrielle.

**CHAPITRE 3. DESSALEMENT PHOTOVOLTAÏQUE SALAIRE
DES EAUX SAUMATRES PAR OSMOSE INVERSE**



Introduction

Les hommes ont été alimentés en eau depuis des siècles. Avant, l'eau de surface fournissait directement l'eau dans le but d'être potable. Lorsque les gens restaient en permanence à un certain endroit, c'était toujours près d'un lac ou d'une rivière. Lorsqu'il n'y avait pas de rivière ni de lacs, les peuples utilisaient les eaux souterraines pour avoir de l'eau potable. Elle était pompée depuis des puits. De nos jours, le dessalement est devenu une solution tout à fait abordable pour faire face au manque d'eau douce en particulier dans les zones isolées.

I. Présentation de l'organisme d'accueil

I.1. Centre de Recherche en Technologie des Semi-conducteurs pour l'Energétique

C.R.T.S.E d'Alger

Le Centre de Recherche en Technologie des Semi-conducteurs pour l'Energétique (CRTSE) est une entité de R&D sous tutelle du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique et de la Direction Générale de la Recherche et du Développement Technologique (DGRSDT).

Créé par Décret exécutif N°12-316 du 21 Août 2012 et ce, dans le prolongement des entités suivantes : Unité de Développement de la Technologie du Silicium (UDTS, arrêté du 24 Janvier 1988- UDTS-CDTA 1988-2012), Laboratoire des Matériaux Solaires (LMS-Centre de Développement des Matériaux 1984-1988) de l'ex. Commissariat aux Energies Nouvelles (CEN) évoluant ensuite en Haut-Commissariat à la Recherche), Laboratoire des Cristaux et Couches Minces (LCCM-Centre des Sciences et de la Technologie Nucléaire 1972-1984) et Laboratoire de Physique de IEN (1962-1972).



- **1962 – 1972** : Laboratoire de Physique d'IEN,

- **1972 – 1984** : Laboratoire des Cristaux et Couches Minces : LCCM – Centre des Sciences et de la Technologie Nucléaire,
- **1984 – 1988** : Laboratoire des Matériaux Solaires : LMS – Centre de Développement des Matériaux de l'ex. Commissariat aux Energies Nouvelles (CEN) évoluant ensuite en Haut-Commissariat à la Recherche
- **1988 – 2012** : Création de l'Unité de Développement de la Technologie du Silicium (UDTS), arrêté du 24 Janvier 1988- UDTS – CDTA
- **21 Août 2012** : Création du Centre de Recherche en Technologie des Semi-conducteurs pour l'Energétique (CRTSE), décret exécutif N°12-316 du

I.2. Dar Chioukh

Wilaya de Djelfa est située dans la partie centrale de l'Algérie du Nord au-delà des piémonts Sud de l'Atlas Tellien en venant du Nord dont le chef-lieu de Wilaya est à 300 kilomètres au Sud de la capitale Elle est comprise entre 2° et 5° de longitude Est et entre 33° et 35° de latitude Nord.

La Wilaya de Djelfa est limitée :

- Au Nord par les Wilayas de Médéa et de Tissemsilt
- A l'Est par les Wilayas de M'Sila et Biskra
- A l'Ouest par les Wilayas de Laghouat et de Tiaret
- Au Sud par les Wilayas d'Ouargla, d'El Oued et de Ghardaïa

Au 31/12/2011, la Wilaya comptait une population estimée à 1.205.357 habitants. La commune du chef lieu de Wilaya compte une population de l'ordre de 341.248 habitants représentant 28.31% de la population totale. La densité moyenne de la wilaya s'élève à 37.37 habitants /km².

Erigée au rang de Wilaya à la faveur du découpage administratif de 1974, cette partie du territoire d'une superficie totale de 32.256,35 km² représentant 1,36% de la superficie totale du pays se compose actuellement de 36 communes regroupées en 12 Daïras. Dar Chioukh est une commune de la wilaya de Djelfa en Algérie. La figure ci-dessous montre sa situation géographique.

Nombre d'habitants	30 372 habitants
Densité de population	89,7 /km ²
Coordonnées géographiques	Latitude : 34.8935, Longitude : 3.49048 34° 53' 37" Nord, 3° 29' 26" Est
Superficie	33 870 hectares 338,70 km ² (130,77 sq mi)
Altitude	1 103 m
Climat	Climat semi-aride sec et froid (Classification de Köppen:BSk)

Tableau 6. Géographique de la commune Dar Chioukh

Localisation de la commune dans la wilaya de Djelfa

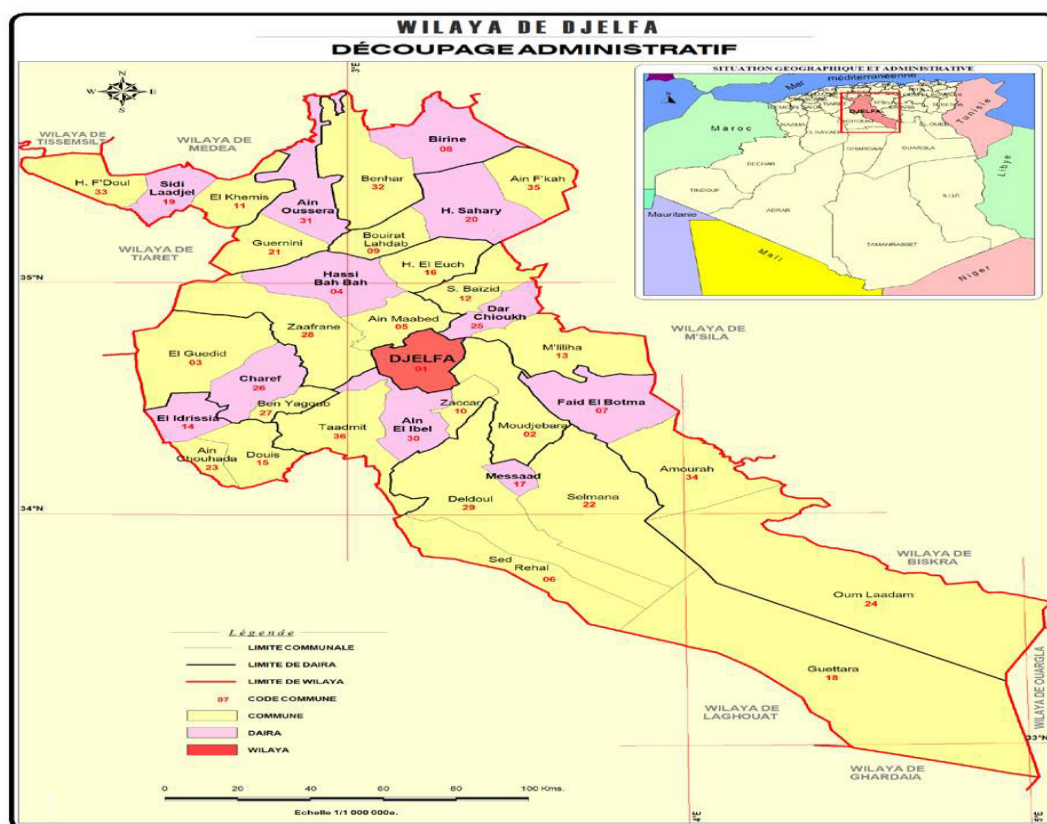


Figure 54. Limite géographique de la wilaya de Djelfa

II. Méthodologie

II.1. Motifs du choix de l'énergie solaire

Pour répondre aux besoins humains en énergie de nombreuses voies de recherches se sont orientées vers l'utilisation des ressources des énergies renouvelables, au premier rang desquelles l'énergie solaire. Les principaux avantages qui rendent cette source d'énergie renouvelable très intéressante sont les points suivantes :

- Energie gratuite.
- Disponibilité sur une grande partie du globe (gisement solaire).
- Absence des risques d'épuisement (au moins à l'échelle humaine).
- Pas de rejets polluants.
- Pas de danger radioactif et déchets encombrants.

II.2. Motifs du choix l'osmose inverse

- Compacité et faible occupation de l'espace ;
- Faible consommation d'énergie ;
- Entretien simple : pas de problème de corrosion et d'entartrage ;
- Faible coût des membranes ;
- Haute sélectivité des membranes ;
- garantir les meilleures performances de ses membranes.

II.3. Typologie des variables à prendre en considération

Pour tout projet de production d'énergies d'origine solaire assez proche (et, en particulier, dépendant de la météo), les différentes grandeurs concernées doivent être classés en cinq catégories :

- caractéristiques physiques des immobilisations ;
- coûts de construction correspondants ;
- variables purement physiques à l'intérieur du système (la vitesse de l'air, sa température,...) ;
- contraintes de temps : la probabilité qu'à telle date, à telle heure, il fasse beau ou mauvais, chaud ou froid, que le gradient de température $\partial T/\partial z$ à l'extérieur soit faible ou élevé ; la demande en électricité liée à la date et à l'heure mais pas au climat ; la demande en électricité liée au climat (chauffage, climatisation, demande globale dont on soustrait l'offre d'autres sources d'énergies liées au temps, telles que l'énergie éolienne) ;

- et variables d'optimisation économique (si on n'a pas de stock de chaleur à gérer, on a simplement à additionner les revenus obtenus à différents moments, éventuellement actualisés ; s'il existe des stocks à gérer, alors il faut introduire une fonction de valeur économique, à chaque instant, des différentes quantités de chaleur que l'on peut imaginer avoir en stock).

II.4. Production d'eau potable

Diverses sources naturelles telles que les eaux souterraines, eaux de surface, ou eau de mer sont à l'origine de l'eau potable. Les normes de l'eau potable sont établies par l'Organisation Mondiale de la Santé ou par l'Union Européenne.

- L'eau potable doit être exempte de matières en suspension, micro-organismes et produits toxiques. Les recommandations quant aux concentrations en minéraux varient de pays à pays avec toutefois pour la plupart des minéraux une concentration maximale afin de garantir une eau équilibrée et agréable à boire.
- Pour l'eau potable municipale, une attention particulière doit être apportée à la corrosivité ainsi qu'au potentiel de colmatage de l'eau de façon à maintenir la conduite de distribution en bon état.
- Le goût de l'eau embouteillée peut varier avec la concentration en calcium, magnésium, sulfate et fer.

III. Etude d'unité de dessalement

III. 1. Situation géographique

Notre unité de dessalement est située à la ville d'Alger, El-Harrach. Ses coordonnées sont :

25 m d'altitude, une latitude de $36,38^\circ$ Nord et une longitude égale à : 3.22° Est. Ci-dessous montre sa situation géographique.



Figure 55. Géographique la ville El-Harrach d'Alger

Données climatiques

✚ Type de climat : modéré à chaud

Température ambiante à l'ombre :

- ✓ T maximal : 31.2 C°
- ✓ T minimal : 8.1 C°
- ✓ L'irradiation solaire atteint, en été des valeurs de l'ordre à 720 W/m²

✚ Vitesse maximum du vent : 17.78 m/s.

✚ Humidité relative maximum annuel : 69 %

III.2. Processus de dessalement

Les étapes de dessalement du système étudié, utilise la méthode osmose inverse par l'énergie solaire sont compose essentiellement des parties suivantes :

- Eau de souterraine (Réservoir d'eau souterraine est équipé d'un robinet) ;
- Cellules photovoltaïques ;
- Prétraitement : Membrane micro-filtration ;
- Unité de dessalement par osmose inverse (membrane) ;
- Rejet.

III.2. 1. Présentation de système photovoltaïque

III.2.1.1. Caractéristiques des panneaux solaires

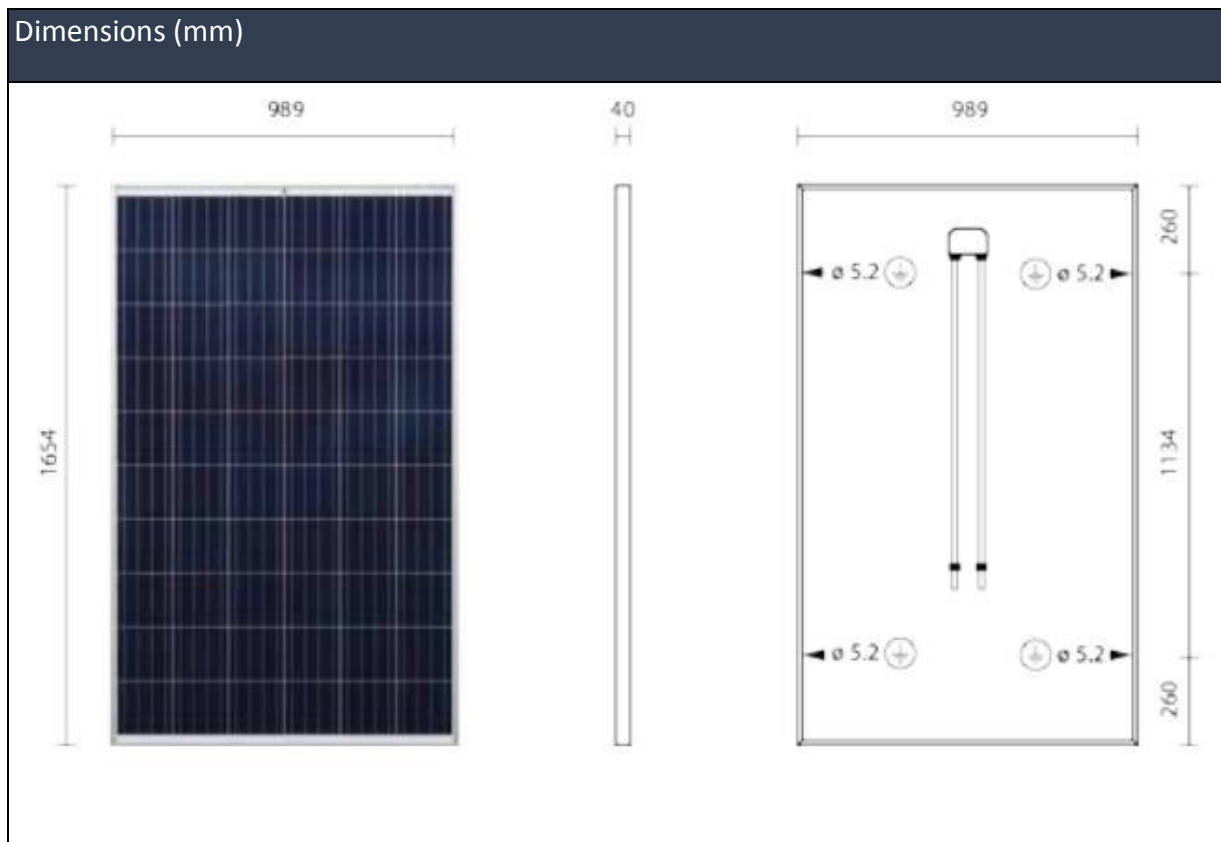


Figure 56. Dimensions de panneau solaire

Données électrique (STC)					
		ND-RJ270	ND-RJ265	ND-RJ260	
Puissance maximale	P_{max}	270	265	260	W_p
Tension de circuit ouvert	U_{oc}	37.99	37.72	37.45	V
Courant de court-circuit	I_{sc}	9.15	9.06	8.98	A
Tension de puissance maximale	U_{mpp}	31.29	31.04	30.79	V
Courant de puissance maximale	I_{mpp}	8.70	8.61	8.52	A
Efficacité de module	η_m	16.5	16.2	15.9	%

Tableau 7. Données électrique de panneau solaire

STC= Conditions standards de test : irradiance 1000 W/m², AM 1.5, température de cellule 25 °C. Caractéristique électriques nominales sous ±10% des valeurs indiquée de I_{sc} et U_{oc} et 0 à +5% de P_{max} (tolérance de mesure de puissance ±3%). La réduction de l'efficacité d'une irradiance de 1000 W/m² à 200 W/m² (T_{module}=25°C) est de moins de 4%.

Données mécaniques	
Longueur	1654 mm
Largeur	989 mm
Profondeur	40 mm
Poids	18.2 kg

Tableau 8. Données mécaniques de panneau solaire

Coefficient de température	
P _{max}	-0.42%/°C
U _{oc}	-0.32 %/°C
I _{sc}	0.044%/°C

Tableau 9. Coefficient de température panneau solaire.

Valeurs limites	
Tension maximale du système	1000 V _{cc}
Protection surintensité	15 A
Gamme de température	-40 à +85 °C
Charge mécanique max. (neige/vent)	2.400 Pa
Charge de neige testée (passage du test IEC1215*)	5.400 Pa

Tableau 10. Valeurs limites de panneau solaire

Donnée générales	
Cellules	Polycristallines, 156 mm x 156 mm, 60 cellule en série
Verre avant	Verre trempé à faible teneur en fer, 3.2 mm
Cadre	Alliage d'aluminium anodisé, argent
Boîtier de raccordement	Résine PPE+PS, classe protection IP67, 90 x 72 x 16 mm, 3 diodes de dérivation
Câble	Câble PV 1-f 4.0 mm, longueur 1000 mm
Connecteur	MC4

Tableau 11. Données générales de panneau solaire

Données d'emballage	
Modules par palette	22 pièces
Taille de palette (L x W x H)	1.70 m x 1.03 m x 1.25 m
Poids de palette	420 kg

Tableau 12. Données d'emballage



Figure 57. Trois cellules photovoltaïques

III.2.1.2. Spi-lamineur™ 240

Présentation du Lamineur

Le spi-laminator™ 240 est un lamineur de module photovoltaïque automatisé qui produit des modules photovoltaïques de différentes dimensions allant jusqu'à 140 cm x 74 cm. Ces lamineurs lient de multiples couches entre elles à travers la chaleur. La chambre de traitement de chaque pelliculeuse possède des résistances de température, de vide et de pression atmosphérique, contrôlées indépendamment pour fournir des conditions de traitement optimales pour des matériaux et des configurations particuliers souhaitées.

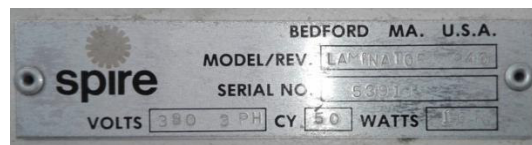


Figure 58. Spi-laminator™ 240

Principaux composants du lamineur

- la chambre à vide ;
- le diaphragme de pression ;
- la platine de stratification ;
- le système de vide ;
- système de refroidissement.

III.2.1.3. Four de cuisson

Présentation du four

Le four utilise des systèmes de contrôle de température et il est alimenté électriquement pour atteindre une température maximale allant jusqu'à 164° C.

Les principaux composants du four

- Les résistances chauffante « SPIRE CURING OVEN » Heater 1000w.220v.
- Les gaines isolantes.
- Les fusibles.
- Système minuterie électrique.
- Bloque d'alimentation.



Figure 59. Four de cuisson

III.2.1.4. Spi-Sun Simulators™ 240

Présentation du Simulateur

L'équipement de simulateur solaire est un outil critique pour les lignes de production de module photovoltaïque et les laboratoires d'essai/certification. Dans un environnement de production, les modules doivent réussir une série appropriée de tests de simulation solaire pour être certifiés et expédiés. Les Spi-Sun Simulators™ et comme mentionné sur son guide pratique, sont les simulateurs les plus stables et les plus précis de l'industrie. Il est devenu le standard de l'industrie pour les agences de test et les laboratoires de recherche dans le monde entier, y compris NREL, UL, TÜV, FSEC, CSA, KIER et Bodycote.



Figure 60. Spi-Sun Simulators™ 240

Principaux composants du simulateur

- La lampe Xénon
- la charge électronique
- le tiroir de montage
- instrumentation de manipulation des données.
- Un petit ordinateur et l'imprimer

III.2.1.5. Testeur d'isolation à haute tension

Présentation du testeur

Les Hipots AC / DC série 100 sont des instruments précis et durables conçus pour effectuer des tests de hipot sur tous les types de produits, systèmes et composants électriques. Ils sont conçus pour effectuer des essais diélectriques AC et des essais diélectriques DC. Les applications les plus courantes sont pour tester: Tubes à haute tension, Les panneaux photovoltaïques, condensateurs, transformateurs, fils et câbles, bobines et bobines, moteurs et générateurs, connecteurs, équipements médical, appareils électroménagers, commutateurs et relais.

Ce dispositif est utilisé dans notre cas, pour les tests de haute tension pour les panneaux photovoltaïques, et qui consistent en un examen d'isolation entre le cadre en aluminium et le tissu cellulaire.



Figure 61. Hipots AC / DC série 100

III.2.1.6. Onduleur

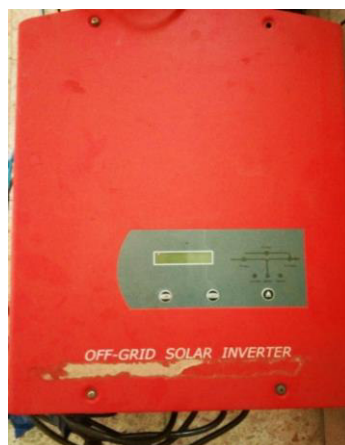


Figure 62. Hipots AC / DC série 100

III.2.1.7. Dimensionnement des câbles

Pour assurer le transport de l'énergie des modules jusqu'au régulateur de charge, on ne peut pas utiliser n'importe quel câble électrique, on peut choisir les câbles qui convient à notre installation à l'aide de ces tableaux ci-dessous :

La section des câbles entre les panneaux photovoltaïque et la boîte de jonction et l'onduleur (courant direct). Notre cas on a une tension de **31.29** et courant de **26.1 A.**

Pour 48V continue Ampérage max en ampère	Section en mm ²													
	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	70	95	120	150
0,5	85,71	114,29	171,43	285,71	457,14	685,71	1142,86	1828,57	2857,14	4000,00	8000,00	10857,1	13714,3	17142,9
1	42,86	57,14	85,71	142,86	228,57	342,86	571,43	914,29	1428,57	2000,00	4000,00	5428,57	6857,14	8571,43
2	21,43	28,57	42,86	71,43	114,29	171,43	285,71	457,14	714,29	1000,00	2000,00	2714,29	3428,57	4285,71
5	8,57	11,43	17,14	28,57	45,71	68,57	114,29	182,86	285,71	400,00	800,00	1085,71	1371,43	1714,29
10	4,29	5,71	8,57	14,29	22,86	34,29	57,14	91,43	142,86	200,00	400,00	542,86	685,71	857,14
15	2,86	3,81	5,71	9,52	15,24	22,86	38,10	60,95	95,24	133,33	266,67	361,90	457,14	571,43
20	2,14	2,86	4,29	7,14	11,43	17,14	28,57	45,71	71,43	100,00	200,00	271,43	342,86	428,57
25	1,71	2,29	3,43	5,71	9,14	13,71	22,86	36,57	57,14	80,00	160,00	217,14	274,29	342,86
30	1,43	1,90	2,86	4,76	7,62	11,43	19,05	30,48	47,62	66,67	133,33	180,95	228,57	285,71
35	1,22	1,63	2,45	4,08	6,53	9,80	16,33	26,12	40,82	57,14	114,29	155,10	195,92	244,90
40	1,07	1,43	2,14	3,57	5,71	8,57	14,29	22,86	35,71	50,00	100,00	135,71	171,43	214,29
45	NA	1,27	1,90	3,17	5,08	7,62	12,70	20,32	31,75	44,44	88,89	120,63	152,38	190,48
50	NA	1,14	1,71	2,86	4,57	6,86	11,43	18,29	28,57	40,00	80,00	108,57	137,14	171,43
60	NA	NA	1,43	2,38	3,81	5,71	9,52	15,24	23,81	33,33	66,67	90,48	114,29	142,86
70	NA	NA	1,22	2,04	3,27	4,90	8,16	13,06	20,41	28,57	57,14	77,55	97,96	122,45
80	NA	NA	1,07	1,79	2,86	4,29	7,14	11,43	17,86	25,00	50,00	67,86	85,71	107,14
100	NA	NA	NA	1,43	2,29	3,43	5,71	9,14	14,29	20,00	40,00	54,29	68,57	85,71
120	NA	NA	NA	1,19	1,90	2,86	4,76	7,62	11,90	16,67	33,33	45,24	57,14	71,43
150	NA	NA	NA	NA	1,52	2,29	3,81	6,10	9,52	13,33	26,67	36,19	45,71	57,14
200	NA	NA	NA	NA	1,14	1,71	2,86	4,57	7,14	10,00	20,00	27,14	34,29	42,86
250	NA	NA	NA	NA	NA	1,37	2,29	3,66	5,71	8,00	16,00	21,71	27,43	34,29
300	NA	NA	NA	NA	NA	1,14	1,90	3,05	4,76	6,67	13,33	18,10	22,86	28,57
350	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1,63	2,61	4,08	5,71	11,43	15,51	19,59	24,49
400	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1,43	2,29	3,57	5,00	10,00	13,57	17,14	21,43

Tableau 13. Valeurs des sections des câbles entre les panneaux photovoltaïques et la boîte de jonction et l'onduleur

A partir du tableau la section du câble est **10 mm²**.

Section des câbles entre l'onduleur et la batterie (courant alternative)

Dans notre cas on a une tension du **230 V** et courant de **3.52 A**

Puissance	Intensité	Section							
		1,5mm ²	2,5mm ²	4mm ²	6mm ²	10mm ²	16mm ²	25mm ²	35mm ²
500 W	2,3 A	100 M	165 M	265 M	395 M				
1 000 W	4,6 A	30 M	84 M	135 M	200 M	335 M	530 M		
1 500W	6,8 A	33 M	57 M	90 M	130 M	225 M	355 M	565 M	
2 000 W	9 A	25 M	43 M	68 M	100 M	170 M	265 M	430 M	595 M
2 500 W	11,5 A	20 M	34 M	54 M	80 M	135 M	210 M	340 M	470 M
3 000 W	13,5 A	17 M	29 M	45 M	66 M	110 M	180 M	285 M	395 M
3 500 W	16 A	14 M	24 M	39 M	56 M	96 M	155 M	245 M	335 M
4 000 W	18 A	-	21 M	34 M	49 M	84 M	135 M	210 M	295 M
4 500 W	20 A	-	19 M	30 M	44 M	75 M	120 M	190 M	260 M
5 000 W	23 A	-	-	27 M	39 M	68 M	105 M	170 M	235 M
6 000 W	27 A	-	-	23 M	32 M	56 M	90 M	140 M	195 M
7 000 W	32 A	-	-	-	28 M	48 M	76 M	120 M	170 M
8 000 W	36 A	-	-	-	-	42 M	67 M	105 M	145 M
9 000 W	41 A	-	-	-	-	38 M	60 M	94 M	130 M
10 kW	45 A	-	-	-	-	34 M	54 M	84 M	120 M
12 kW	55 A	-	-	-	-	-	45 M	70 M	98 M
14 kW	64 A	-	-	-	-	-	38 M	60 M	84 M
16 kW	73 A	-	-	-	-	-	-	53 M	74 M
18 kW	82 A	-	-	-	-	-	-	47 M	65 M
20 kW	91 A	-	-	-	-	-	-	-	59 M

Tableau 14. Valeur de section des câbles entre l'onduleur et la batterie

A partir du tableau la section du câble est **1.5 mm²**.

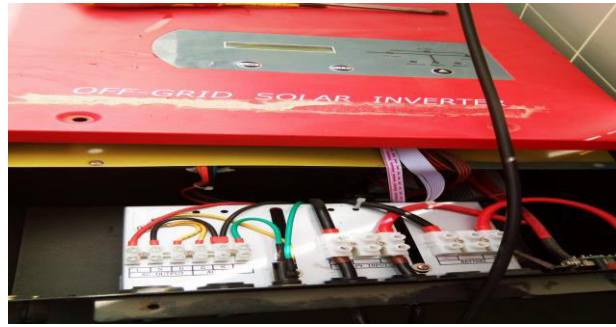


Figure 63. Onduleur intégrée régulateur

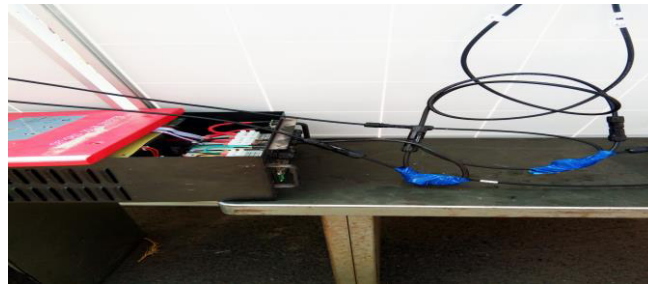


Figure 64. Section des câbles

III.2.1.8. Batterie

BATTERIE PLOMB CSB 12V 100 AH GPL 121000

Référence : GPL 12100

Technologie : Plomb

Cellules par unité : 6

Tension par unité : 12 V

Capacité : 100 Ah à un taux de 20 heures à 1.75 volt par cellule à 25 °C (77°F)

Poids (kg): Environ. 33.5 Kg. (73.83 lbs.)

Courant de décharge maximal (A) : 800 A (5 sec.)

Résistance interne env. (mΩ) : Environ. 3.2 mΩ

Plage de température de fonctionnement : Décharge : -15°C ~ 50°C (5°F ~ 122°F)

Charge: $-15^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ ($5^{\circ}\text{F} \sim 104^{\circ}\text{F}$)

Stockade: $-15^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ ($5^{\circ}\text{F} \sim 104^{\circ}\text{F}$)

Plage de température de fonctionnement nominale : $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($77^{\circ}\text{F} \pm 3^{\circ}\text{F}$)

Tension de charge de flotteur : 13.5 à 13.8 VDC/ unité Moyenne à 25°C (77°F)

Limite de courant de charge maximale recommandée : 30 A

Service d'égalisation et de cycle : 14.4 à 15.0 VDC/ unité Moyenne à 25°C (77°F)

Auto décharge : Il devrait représenter plus de 75% de la capacité avant stockage après stockage pendant 6 mois à température ambiante. 25°C

Terminal : Borne encastrée en alliage de plomb I2-Thread pour accepter le boulon M6

Matériau du conteneur : polypropylène (UL 94-HB) et résistance à l'inflammabilité (UL 94-V0)

Peuvent être disponibles sur demande.

***La GPL 121000** est une batterie à usage général d'une durée de vie jusqu'à 10 ans dans des conditions de charge normale.

Comme toutes les batteries CSB, toutes sont rechargeables, très efficaces, étanches et ne nécessitent aucun entretien.



Figure 63. Batterie plomb CSB 12V 100 AH GPL 121000

II.3. Dimensionnement de système l'osmose inverse

III.3.1. Membranes

On a utilisé une membrane micro-filtration avant enter d'eau dans la membrane OI pour séparer les microparticules, les macromolécules (polymères), les micro-organismes et quelques virus afin de pas abîmer la membrane OI .



Figure 64. Membrane micro-filtration

III.3.2. Pompe

Une pompe haute de pression permet d'injecter l'eau saumâtre dans le module d'injection inverse ou se trouve les membranes.

III. 3.3. Caractéristiques de membrane osmose inverse

Débit de perméat : 1 050 GPD (4,0 m³ / jour)

Rejet nominal de sel : 99,2%

Surface de membrane efficace : 35ft² (3.3 m²)

Type de membrane : Composite à couche mince

Matériau de la membrane : Polyamide (PA)

Configuration de l'élément : enroulement en spirale, emballage



Figure 65. Membrane osmose inverse

Démontions de la membrane



Figure 66. Démontions de membrane

Nom de modele	A	B	C	D	E	Numéro d'article	
						Inter - connecteur	Phoque de saumure
RE40 21- BLN	21.0 inch (534 mm)	4.0 inch (102 mm)	0.75 inch (19.1 mm)	1.05 inch (26.7 mm)	1.05 inch (26.7 mm)	40000305	40000306

Tableau 15. Démentions de membrane

III.4. unité de dessalement solaire photovoltaïque par osmose inverse

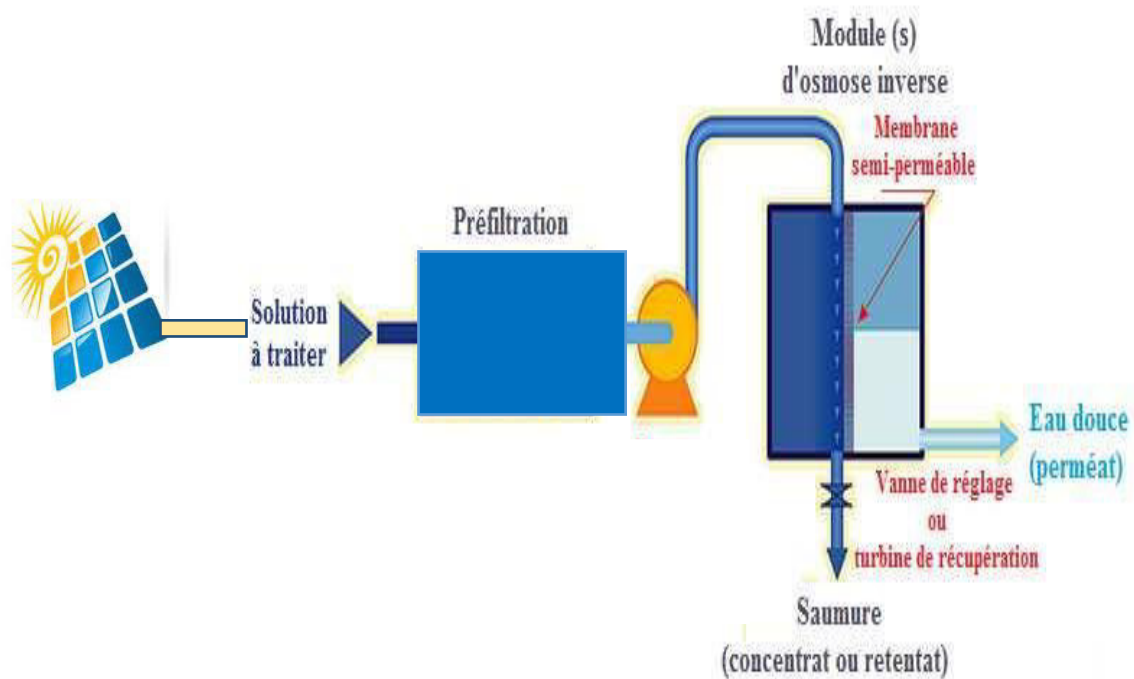


Figure 67. Schème représentatif d'unité de dessalement solaire photovoltaïque par osmose inverse



Figure 68. Photo réelle d'unité de dessalement solaire photovoltaïque par osmose inverse

III.4.1. Technique de dessalement solaire photovoltaïque par osmose inverse

Principe de l'osmose inverse

L'osmose est le transfert de solvant de concentration. Si on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes (Figure 69), l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigé 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.

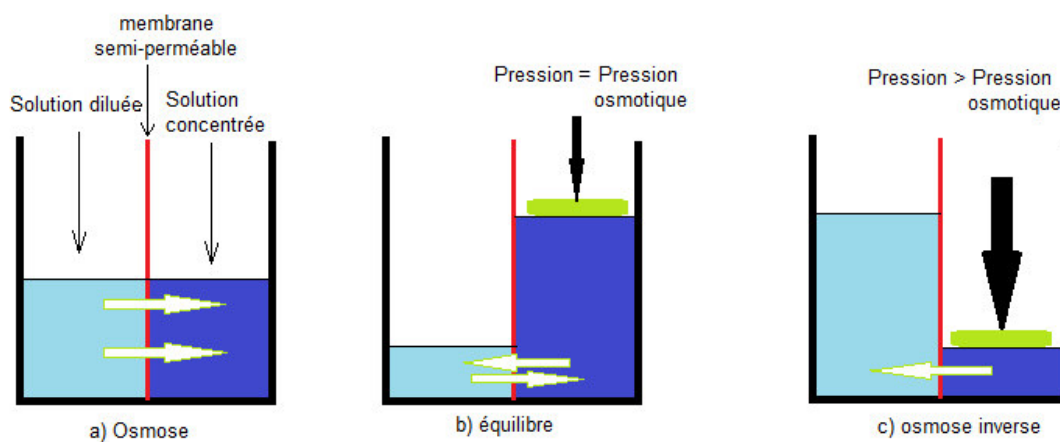


Figure 69. Principe de l'osmose inverse

Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau va s'annuler. En faisant l'hypothèse que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est nommée la 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 le phénomène d'osmose inverse.

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par perméation à travers des membranes semi-sélectives sous l'effet d'un gradient de pression. L'écoulement s'effectue en continu tangentiellement à la membrane. Une partie de la solution à traiter se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes :

- une partie passe à travers la membrane (perméat).

- une partie qui ne passe pas à travers la membrane (concentrat ou rétentat) et qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane et qu'il faut rejeter à la mer par moyen d'un canal.

III. 5. Dimensionnements de l'installation

Détermination de l'irradiation journalière annuelle (kWh /m².J)

Le mois	Plan d'inclinaison à la titude H(36.38°)
Janvier	3.72
Février	4.79
Mars	5.90
Avril	6.92
Mais	7.38
Juin	7.66
Juillet	7.69
Aoûte	7.06
Septembre	6.05
Octobre	4.84
Novembre	3.85
Décembre	2.47

Tableau 16. Irradiation journalière de lieux (AL-Harache) année 2017

- $P_i = 1000$ (W/m²)
- $P_{max} = 270$ (Wc)
- $P_M = 650$ (Wc)
- $N = 2$ (h)

Calcul l'énergie totale consommée par jour (Wh/J)

$$E_c = P_M * N(h) \quad (\text{Wh/J})$$

$$E_c = 650 * 2$$

$$E_c = 1300 \text{ (Wh/J)}$$

$$E_c = 1.3 \text{ (KW/h)}$$

- Concevant l'irradiation en (El-Harrach) et pour la période estivale :

$$I_r = E_i = 2.47 \text{ (kw/h)/J}$$

La puissance crête (kw/h)

$$P_c = (E_c * P_i) / (E_i * P_R)$$

- PR (Ration de performance)

	Modules très peu ventilés	Modules peu ventilés	Modules ventilés	Modules bien ventilés
Ration de performance	0.55	0.60	0.65	0.70

Tableau 17. Valeur du Ration de performance PR d'une installation photovoltaïque autonome en fonction de la ventilation des modules

- Modules ventilés PR = 0.65

$$P_c = (1.3 * 1000) / (2.47 * 0.65)$$

$$P_c = 809.7 \text{ (Wc)}$$

Nombre de panneaux solaire

$$N = P_c / P_{max}$$

$$N = 809.7 / 270$$

$$N = 3 \text{ panneaux}$$

Dimensionnement de batterie

- La Capacité de batterie

$$C = (E_c \cdot N_j) / (D \cdot U) \quad (\text{Ah})$$

- $E_c = 1300 \dots \dots \dots (\text{Wh})$
- $N = 2 \dots \dots \dots (\text{h/J})$
- D : décharge maximale admissible (0.8 pour la batterie au plomb)
- $U = 12 \dots \dots \dots (\text{V})$

$$C = (1300 * 2) / (0.8 * 12)$$

$$C = 270.83 \dots \dots \dots (\text{Ah})$$

- Nombre de batterie

$$N = C_p / C_B$$

$$N = 270.83 / 100$$

$$N = 2 \text{ batterie}$$

Dimensionnement de Régulateur

- Tension nominale 24 V
- Courant d'entrée : en pratique $1.5 * I_{cc}$ de panneaux photovoltaïque
Donc : $I_{\text{entrée}} = 9.15 * 1.5 = 13.72 \quad (\text{A})$

- Courant de sortie : I_{max} de récepteurs
- Choisi le régulateur de 24 V par pour les deux batteries 12 V branché en série et par pour onduleur 24 V

$$V_b = 12 + 12$$

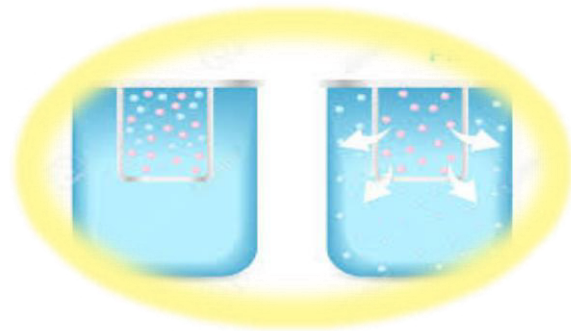
$$V_b = 24 \text{ V}$$

Dimensionnement d'Onduleur

- Tension de entrée 24 V DC entrée
- Tension de sortie 230 V VAC
- Puissance nominale 1000 W

Dimensionnement la Machine

- Puissance 650 W
- Tension 220 / 240 V



CHAPITRE 4. Résultats et Discussions

I. Caractéristiques I-V de panneau solaire

Les caractéristiques I-V de panneau solaire 270 sont mesurés au Centre de Développement des Equipements Solaires U.D.E.S à Bou Ismail d'Alger.

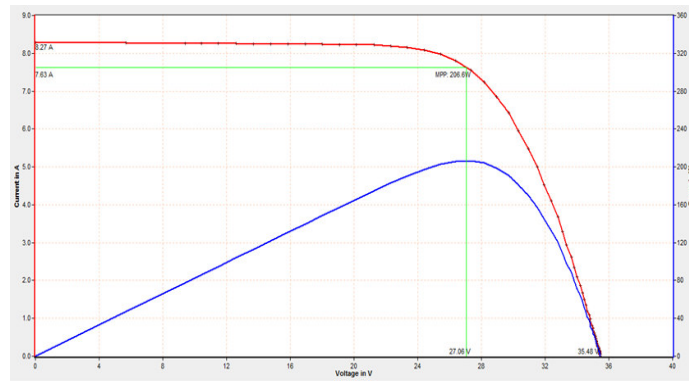


Figure 70. Courbe de la puissance en fonction de la tension et le courant mesurée

	Mesurée	STC
P_{max} [W, W _p]	206.6	666.6
I_{pmax} [A]	7.63	8.62
U_{PMAX} [V]	27.1	77.4
I_{sc} [A]	8.27	9.33
U_{oc} [V]	35.5	68.28
E_{eff} [W/m ²]	886	1000
T_{ref} [Deg C]	40.5	
T_{mod} [Deg C]	172.9	25.0
T_{amb} [Deg C]	20.0	

Tableau 17. Caractéristique I-V mesuré d'un panneau PV

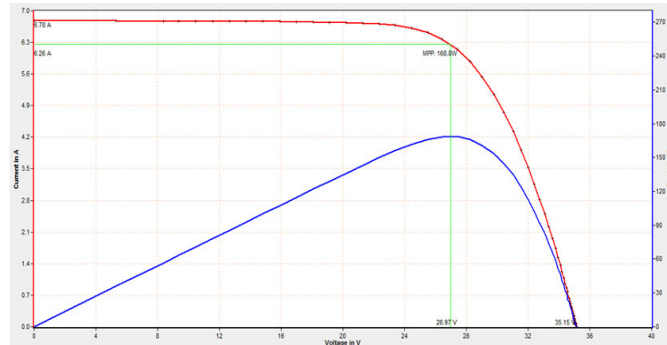


Figure 71. Courbe de la puissance en fonction de la tension et le courant mesurée

	Mesurée	STC
P_{max} [W, W_p]	168.8	660.7
I_{Pmax} [A]	6.26	8.62
U_{PMAX} [V]	27.0	76.6
I_{sc} [A]	6.78	9.33
U_{oc} [V]	35.1	67.96
E_{eff} [W/m²]	726	1000
T_{ref} [Deg C]	40.3	
T_{mod} [Deg C]	172.9	25.0
T_{amb} [Deg C]	20.0	

Tableau 18. Caractéristique I-V mesuré d'un panneau PV

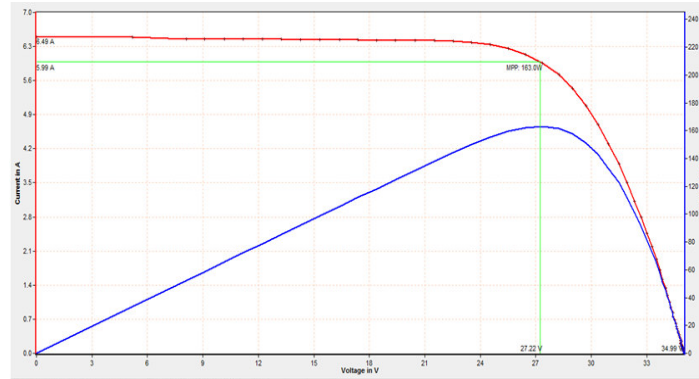


Figure 72. Courbe de la puissance en fonction de la tension et le courant mesurée

	Mesurée	STC
P_{max} [W, W _p]	163.0	661.8
I_{pmax} [A]	5.99	8.54
U_{PMAX} [V]	27.2	77.5
I_{sc} [A]	6.49	9.25
U_{oc} [V]	35.0	68.09
E_{eff} [W/m ²]	702	1000
T_{ref} [Deg C]	40.7	
T_{mod} [Deg C]	172.9	25.0
T_{amb} [Deg C]	20.0	

Tableau 19 Caractéristique I-V mesuré d'un panneau PV

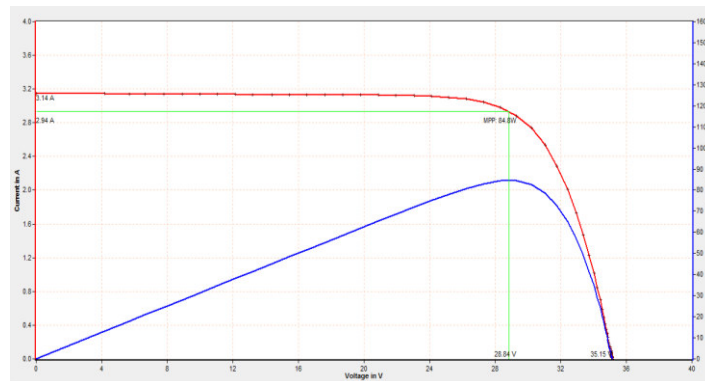


Figure 73. Courbe de la puissance en fonction de la tension et le courant mesurée

	Mesurée	STC
P_{max} [W, W _p]	84.8	n.a.
I_{pmax} [A]	2.94	
U_{PMAX} [V]	20.04	
I_{sc} [A]	3.14	
U_{oc} [V]	35.15	
E_{eff} [W/m ²]	450	
T_{ref} [Deg C]	37.4	
T_{mod} [Deg C]	172.9	
T_{amb} [Deg C]	20.0	

Tableau 20. Caractéristique I-V mesuré d'un panneau PV

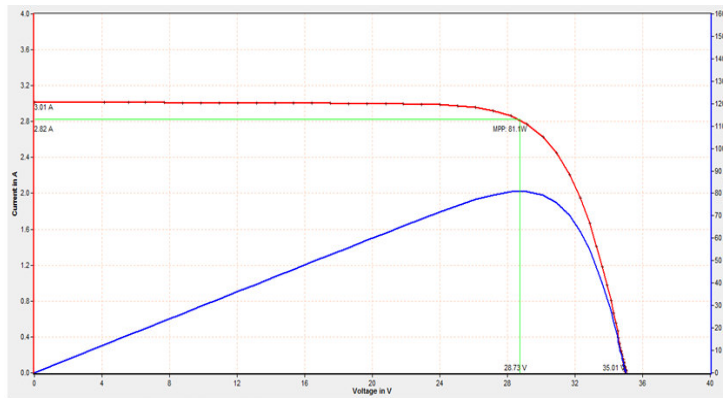


Figure 74. Courbe de la puissance en fonction de la tension et le courant mesurée

	Mesurée	STC
P_{max} [W, W _p]	81.1	n.a.
I_{Pmax} [A]	2.82	
U_{Pmax} [V]	28.7	
I_{sc} [A]	3.01	
U_{oc} [V]	35.0	
E_{eff} [W/m ²]	325	
T_{ref} [Deg C]	31.1	
T_{mod} [Deg C]	172.9	
T_{amb} [Deg C]	20.0	

Tableau 21. Caractéristique I-V mesuré d'un panneau PV

Les caractéristique I-V de panneaux solaire varie par rapport de l'clairement solaire et la température de module.

II. Matériels utilisés pour le dessalement

II.1. Prélèvements et analyses

II.1.1. Prélèvements

Les prélèvements hebdomadaires ont été réalisés durant le deux jours :

- ☀ 14 Août 2018 entre 12h et 14h au mode continue.
- ☀ 15 Août 2018 entre 10h et 12h au mode discontinue.

II.1.2. Méthodes analytiques

Paramètres physico-chimiques

Quatre paramètres physico-chimiques (la conductivité électrique, la turbidité, le pH et le flux de perméat) ont été mesurés, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon ; Aout 2018.

a. Conductivité

La conductivité de l'eau est une mesure de sa capacité à conduire le courant électrique, et est exprimée par $\mu\text{S}/\text{cm}$. La mesure de la conductivité de l'eau constitue un bon indicateur sur le degré de minéralisation globale d'eau. La conductivité électrique a été déterminée à l'aide d'un conductimètre électrique (HI 2315).



Figure 75. Conductimètre électrique (HI 2315).

La mesure de la conductivité nécessite :

Matériels et réactifs

- Becher de 200 mL ;
- Conductimètre ;
- Solution.

Mode opératoire

Après avoir étalonné le conductimètre, on met environ 50 mL d'eau à analyser dans un bécher, dans lequel on plonge l'électrode du conductimètre.

b. Turbidité

La turbidité de l'eau vient de la présence de diverses matières en suspension ; matière organique et minérale, particules...etc. Les matières en suspension sont définies comme étant l'ensemble du matériel particulaire entraîné passivement dans l'eau (vivant ou détritique, minérale ou organique). La turbidité est exprimée par NTA.



Figure 76. Turbidimètre (HACH 2100Q)

Matériels et réactifs

- Becher de 200 mL ;
- Turbidimètre ;
- Solution ;
- Solution d'étalonnage.

Mode opératoire

Pour savoir les caractéristiques optiques de l'eau On a utilisé un turbidimètre (HACH 2100Q)

c. Flux de perméation

Le flux de perméat d'une membrane est une grandeur spécifique qui représente le débit de solution traversant la membrane par unité de surface, et qui s'exprime en $\text{m}^3 / (\text{h m}^2)$.

d. pH

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H^+ contenue dans l'eau. C'est une mesure d'acidité ou d'alcalinité. Il donne une idée sur l'équilibre de l'eau, ainsi que sur la qualité de l'eau produite. Le PH est mesuré à l'aide d'un PH-MÈTRE.

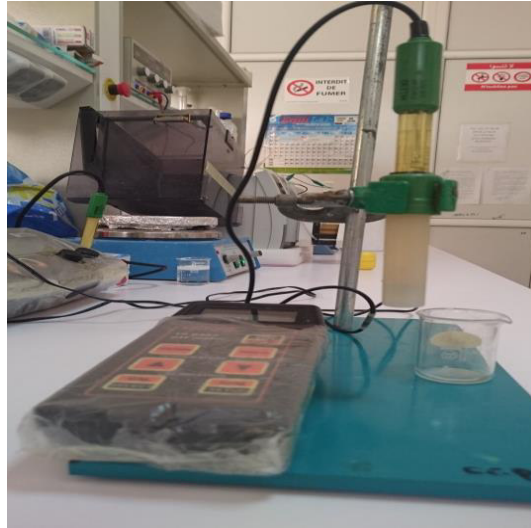


Figure 77. PH-MÈTRE

Matériels et réactifs

- Becher de 200 mL ;
- pH mètre ;
- Tampon pH=10, Tampon pH=7, Tampon pH=4.

Mode opératoire

Après avoir étalonné le pH-mètre avec les trois solutions tampons, on met environ 100 mL d'eau à analyser dans un bécher, dans lequel on plonge l'électrode du pH-mètre pour mesure la valeur du pH.

II.2. Courbes d'évolution et interprétations

Les résultats d'analyses de l'eau traitée après le dessalement sont présentés dans les graphes suivants :

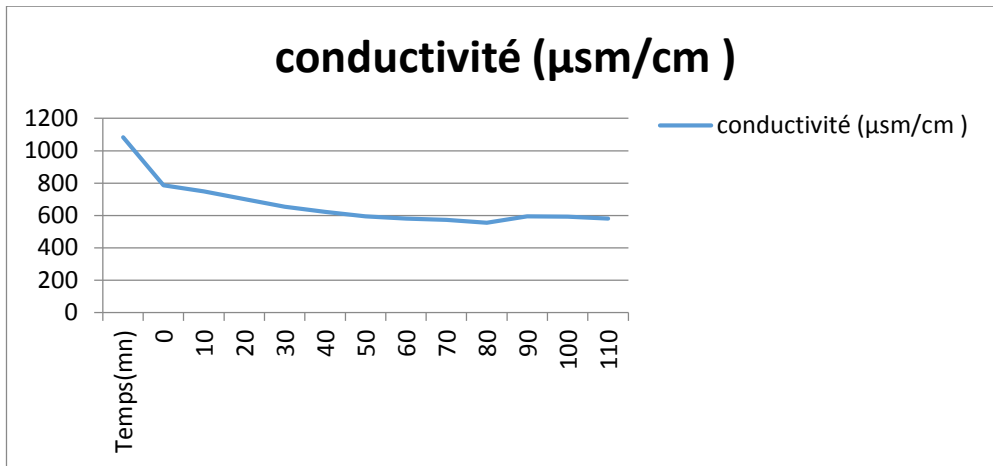


Figure 78. Courbe d'évolution de conductivité électrique d'eau au mode continu en fonction du temps

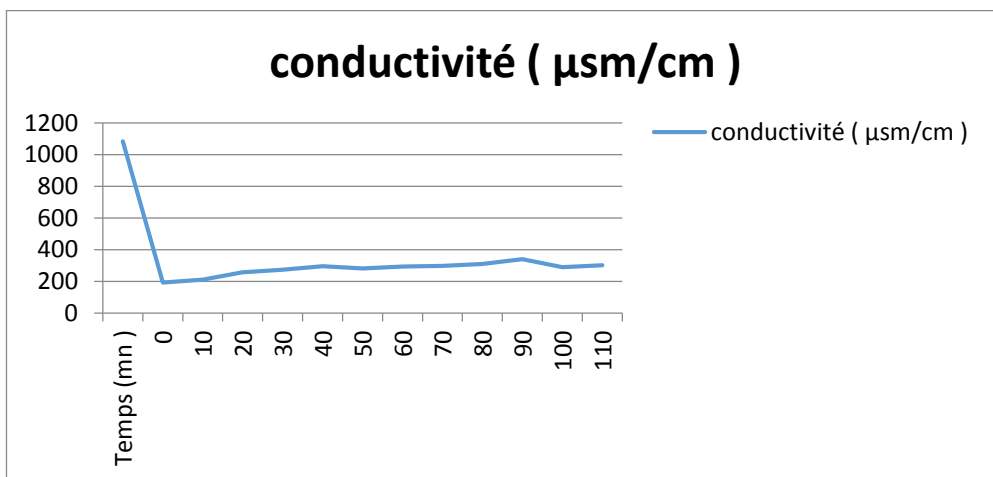


Figure 79. Courbe d'évolution de conductivité électrique d'eau en mode discontinu en fonction du temps.

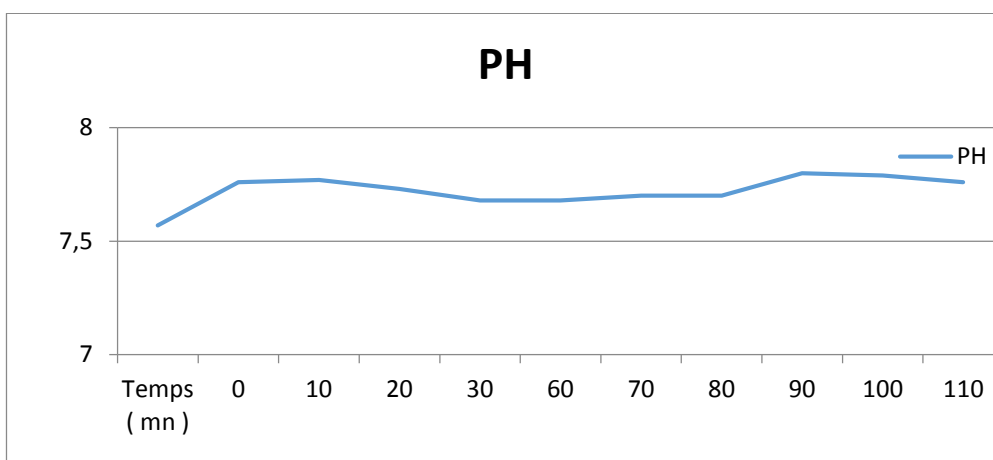


Figure 80. Courbe d'évolution de pH en mode continu en fonction du temps.

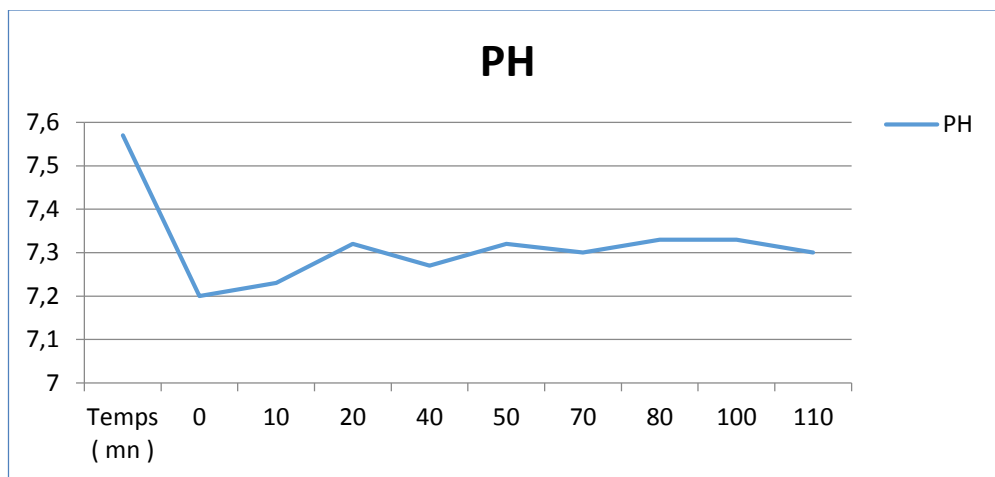


Figure 81. Courbe d'évolution de pH en mode discontinue en fonction du temps.

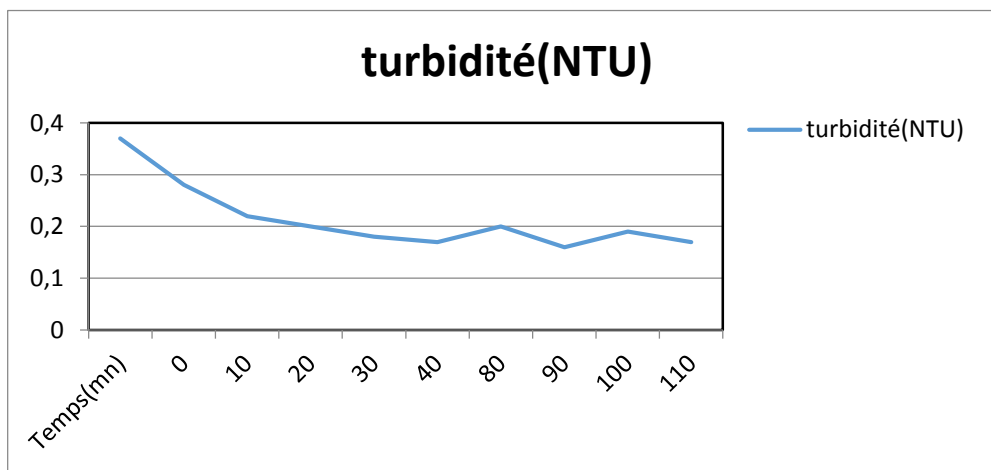


Figure 82. Courbe d'évolution de turbidité en mode continue en fonction du temps.

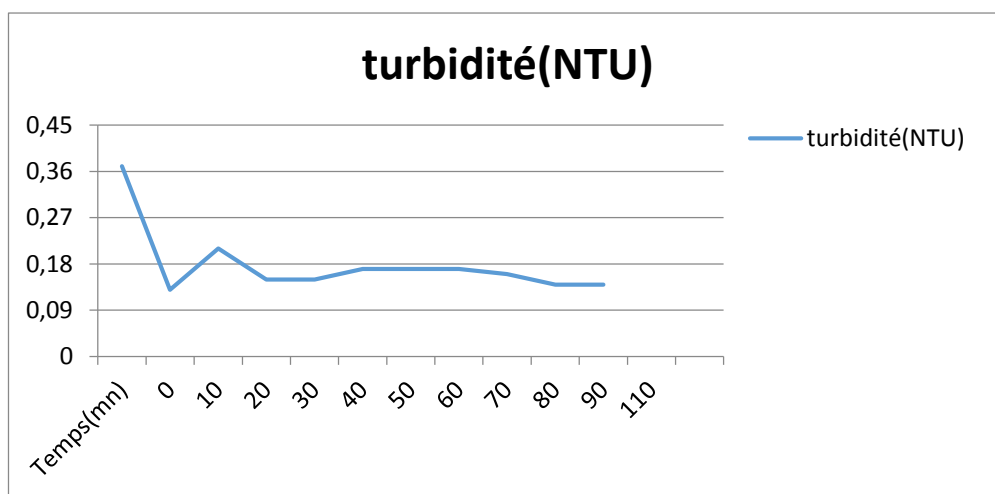


Figure 83. Courbe d'évolution de turbidité en mode discontinue en fonction du temps.

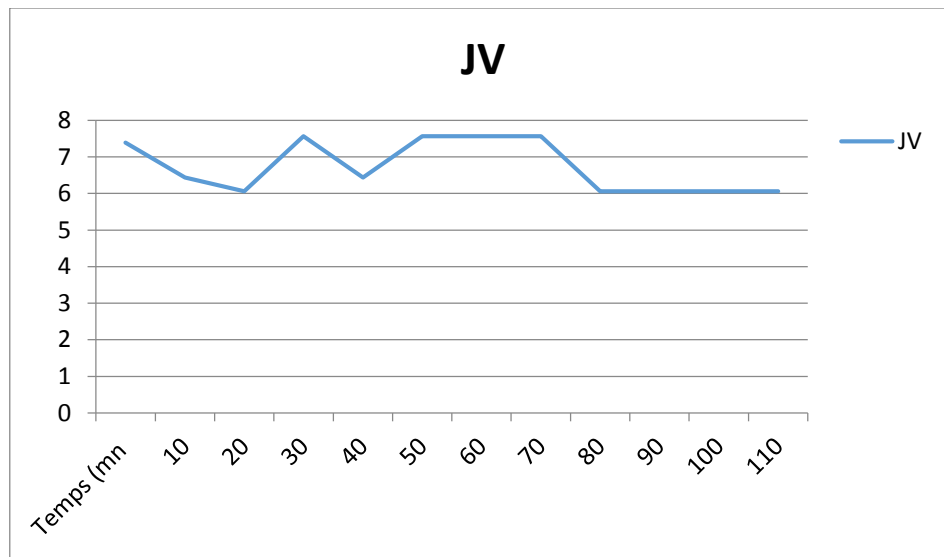


Figure 84 .Courbe d'évolution de flux de perméat Jv on mode continue en fonction du temps.

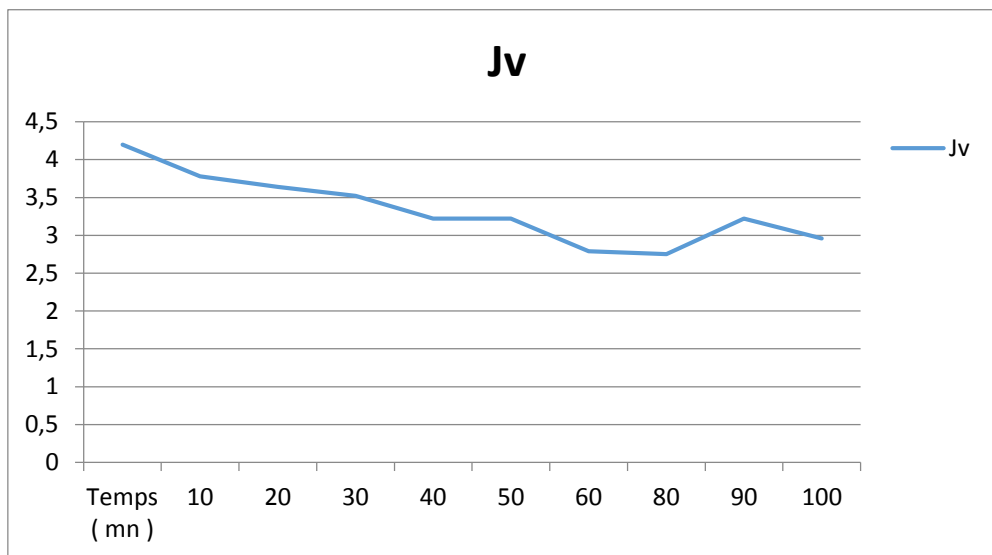


Figure 85. Courbe d'évolution de flux de perméat Jv on mode discontinue en fonction du temps.

Les figures montrent les résultats obtenus sur l'évolution horaire des différentes des paramètres physico-chimiques ; la conductivité électrique, la turbidité, le pH et le flux de perméat de l'eau potable produit durant les périodes de prélèvements.

Pour l'évaluation de la qualité physicochimique des eaux souterraines étudiées, les valeurs guides de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) des paramètres physico-chimiques pour la qualité eau de boisson ont été utilisées.

L'analyse de la conductivité a montré que les eaux d'alimentation ont des valeurs de conductivité inférieure de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans deux modes continus et discontinus. Les conductivités mesurées ont des valeurs qui respectent les deux normes.

Généralement, les valeurs de pH dans les normes d'OMS n'ont pas de valeur guide, mais un optimum entre 6,5 et 9,5. Les valeurs de pH des deux modes étudiés varient entre 7,2 et 7,65. Donc le pH des dans les deux cas est dans l'optimum mentionné.

Les valeurs de turbidité sont présentées dans les figures 82-83. Les résultats obtenus sont tous conformes aux normes d'OMS.

La figure 84-85 montrent la variation de flux de perméat avec le temps. On remarque que les valeurs de flux de perméat sont très importantes dans le mode continu.

Conclusion

Le dessalement est l'une des solutions éprouvées et sûres, mûres et maîtrisées techniquement, pour la mobilisation des ressources en eaux supplémentaires. L'osmose inverse a connu un développement technologique avec l'apparition sur le marché de membranes et dont la durée de vie est plus importante.

Néanmoins, les membranes sont très sensibles, d'où apparaît l'importance d'un prétraitement adéquat qui permet d'allonger la durée de vie de ces membranes en les protégeant et d'assurer l'intégrité du système. Il s'agit d'une technique performante qui peut être utilisée sur une grande plage de concentration ; comparé à l'électrodialyse et à la distillation qui sont réservés à des domaines plus spécifiques.

CONCLUSION GENERALE



CONCLUSION GENERALE

Le problème de dessalement de l'eau souterraine de petit village Dar Chioukh de Djelfa a été traité. Le processus est basé sur la technologie d'Osmose Inverse, et alimentée par l'énergie solaire photovoltaïque. Cette unité permet de répondre au besoin en eau dans cette région disposant d'eaux saumâtres en abondance en exploitant les ressources renouvelables dans ces régions. Notre étude est réalisée au Centre de Recherche en Technologie des Semi-conducteurs pour l'Energétique C.R.T.S.E d'Alger.

Les travaux de recherche effectués dans le cadre de ce projet de fin d'étude ont été focalisés sur objectif de la maîtrise de la technique de dessalement utilisant l'énergie solaire. Cette étude s'intéresse à :

- ☀ La conception des unités de dessalement fonctionnant à l'aide de l'énergie solaire ;
- ☀ L'installation et le suivi du bon fonctionnement de ce type d'unités.

Pour fonctionner au mieux, unité de dessalement solaire doit être construite dans une région très ensoleillée donc la connaissance de la position du soleil dans le ciel à tout instant et en tout lieu est nécessaire pour l'étude de l'énergie interceptée et de quantité de l'eau produite. Les heures du lever et du coucher ainsi que la trajectoire du soleil dans le ciel au cours d'une journée permettent d'évaluer certaines grandeurs telles que la durée maximale d'insolation, l'irradiation globale.

Après la mise en marche de la station nous avons pris des prélèvements d'eau à différentes mode de l'écoulement de l'eau, en vue des analyses physico-chimiques. Les résultats obtenus sont tous conformes aux normes d'OMS. Généralement, notre étude a montré que la station a été bien dimensionnée et qu'elle fonctionne correctement, en termes de qualité d'eau et en termes d'énergie.



References Bibliographies

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] P. González, G. Gómez, les tours solaires, deux approches pour utiliser l'énergie du soleil, ENSTA Paris Tech, 5 .1.2011.
- [2] Memosol, Mémento d'héliotechniques, *Editions EUROPEENNES, Thermique et industrie (EETI), Paris*. 1979.
- [3] S. djelial et H.keddachi, élaboration d'un programme de calcul de bilan du rayonnement solaire en Algérie, mémoire de master en génie mécanique, université 2003/2004.
- [4] O, Sotehi, étude des caractéristiques de fonctionnement et de la performance d'un distillateur solaire, thèse de magistère, université de Constantine, 2009.
- [5] L.boucetta, estimation du rayonnement solaire à l'aide du modèle de l'Atlas Solaire de l'Algérie, mémoire master en Physique Energétique, université Ouargla, 2016/2017.
- [6] J.A.Duffie and W.A. Beeckman, solar Engineering of Thermal Processes, *Thirded. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.*, 2006.
- [7] R.Bernard, G.Menguy, M.Schwartz, le rayonnement solaire, conversion thermique et application, *Technique et Documentation*, Paris, 1979.
- [8] H.belghitri, modélisation, simulation et optimisation d'un système hybride éolien-photovoltaïque, mémoire Magister en Physique Energétique et Matériaux, Unité de recherches Matériaux et Energies Renouvelables.
- [9] N.hamani, modélisation du flux solaire incident et de la température de sortie dans un capteur solaire à eau avec effet de concentration du rayonnement solaire incident.
- [10] M.N.mechalikh, machine électrique et électronique de puissance, mémoire master en Génie électrique.
- [11] R.Bernard, G.Menguy, M.Schwartz, le rayonnement solaire, conversion thermique et application, *Technique et Documentation*, Paris, 1979.
- [12] N. Barrette, LECTURE 3b Rayonnement solaire et infrarouge : parcours, bilans et mesures, Université Laval, Edition, Janvier 2009.
- [13] P. Bessemoulin, J. OIVIéri, le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette, *La Météorologie* 8e série - n° 31 - septembre 2000.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [14] Z .meraoui, caractérisation radiométrique des sites de Bouzaréah et de ghardaia, mémoire de magister en control, option singnaux ET system, Université saad ahleb de Blida, 2007.
- [15] M. Hadj belkacemi, modélisation et etude expérimentation d'un capteur solaire non Vitré et Perforé, Mémoire Master en Energétique et Matériaux Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 2011.
- [16] M. kane et D. Favrat, approche de conception et d'optimisation de centrale Solaire intégrée à cycle combiné inspirée du pincement, "1998.
- [17] Retscreen, photovoltaic background, International Renewable energy decision Support Centre, *Resources Canada* 2001-2002. www.retsceeren.net
- [18] I. Khoudrane, Etude d'un système de poursuite solaire pour les panneaux photovoltaïques, Mémoire master en Génie Mécanique université ,2014.
- [19] H.belghitri, modélisation, simulation et optimisation d'un système hybride éolien-photovoltaïque, mémoire Magister en Physique Energétique et Matériaux, Unité de recherches Matériaux et Energies Renouvelables.
- [20] N.hamani, modélisation du flux solaire incident et de la température de sortie dans un capteur solaire à eau avec effet de concentration du rayonnement solaire incident .
- [21] F.Guerrache, problème de déformation thermoélastique d'une plaque épaisse fissure, mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, El Harrach, Alger, 2011.
- [22] Sylvain Leroy, étude d'un nouveau système solaire hybride : produire de l'eau en utilisant l'énergie solaire, université charles drawin, school of engineering and It, B-Purple 12.2011.
- [23] M. BENBEKHTI, étude de la distillation des eaux saumâtres par énergie solaire, mémoire de Master, option : technologie de traitement des eaux, université de Tlemcen, 2012
- [24] O, Sotehi, étude des caractéristiques de fonctionnement et de la performance d'un distillateur solaire, *thèse de magistère, université de Constantine*, 2009.