



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :

N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département des Sciences et Technologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : *électromécanique*

Spécialité : *maintenance industrielle*

Par : BABAZ Said et KHATTARA Khaled

Thème

Étude des performances des différents systèmes de pompages solaire pour irrigation des oasis dans la vallée de M'Zab, Ghardaïa

Soutenu publiquement le : 12/09/2018

Devant le jury :

Mr. BAHRI Ahmed	MAA	Univ. Ghardaïa	Président
Mr. ZITANI Brahim	MAB	Univ. Ghardaïa	Examineur
Mr. CHOUIA Fayçal	MCB	Univ. Ghardaïa	Examineur
Dr. BOUTELHIG AZZEDINE	MRA	URAER. Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2017/2018

Remerciements

Nous devons remercier Allah Tout Puissant de nous avoir donné la force et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail humble.

Je voudrais remercier notre encadreur, Dr. AZZEDINE BOUTELHIG, membre du groupe de recherche sur les systèmes énergétiques agricoles, division d'application des énergies renouvelables dans l'unité de recherche appliquée sur les énergies renouvelables (URAER), en matière de supervision et de conseil.

Nous voudrions également remercier notre professeur, Mr. BEKKAR BELGACEM, de l'Université de Ghardaïa, qui nous a beaucoup aidés à guider et à organiser ce travail. Nous devrions également apprécier et respecter tous les enseignants qui nous ont suivis pendant le cours.

Merci à toute l'équipe URAER pour son accueil et surtout à Dr. GAIRAA Kacem ; Mr. BENBAHA Noureddine qui nous a fourni les moyens de compléter notre travail dans l'unité.

Merci à tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement au développement de ce travail, qu'il s'agisse de parenté, d'amitié, de conseil ou de soutien moral.

Résumé

Le système de pompage d'eau par l'énergie solaire est l'un des systèmes d'irrigation les plus importants, en particulier dans les zones isolés, où ce système convertit l'énergie solaire en énergie électrique via les panneaux solaires et l'extraction de l'eau par la pompe.

Dans ce travail, trois échantillons ont été prélevés dans les puits de la vallée du M'Zab à Ghardaïa, à différentes profondeurs, qui ont été étudiés théoriquement et tester au banc d'essais de pompage solaire de l'unité de recherche appliquée sur les énergies renouvelables (URAER).

Cette étude aboutit à réaliser un système optimal et économique en termes de coût et performances.

MOTS CLES : pompage solaire ; débit ; puissance crête ; irradiance ; angle d'inclinaison.

Abstract

The solar water pumping system is one of the most important irrigation systems, especially in isolated areas, where this system converts solar energy into electrical energy via solar panels and solar panels extraction of water by the pump.

In this work, three samples were taken from the wells of the valley of M'Zab Ghardaïa, at different depths, which were studied theoretically and tested at the solar pumping test bench of the applied research unit on the renewable energies (URAER).

This study leads to an optimal and cost-efficient system.

KEY WORDS: solar pumping; flow-rate; peak power; irradiance; tilt angle.

ملخص

يعتبر نظام ضخ المياه بالطاقة الشمسية أحد أنظمة الري الأكثر أهمية، خاصة في المناطق المعزولة، حيث يقوم هذا النظام بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بواسطة الألواح الشمسية ومن ثم استخراج الماء بواسطة المضخة. في هذا العمل ، تم أخذ ثلاث عينات من آبار وادي مزاب غرداية ، بأعماق مختلفة ، والتي تمت دراستها نظريًا واختبارها في منضدة اختبار الضخ الشمسي لوحدة الأبحاث التطبيقية على الطاقات المتجددة. هذه الدراسة تؤدي إلى نظام مثالي وفعال من حيث التكلفة.

كلمات مفتاحية : ضخ بالطاقة الشمسية، التدفق، ذروة الطاقة، الإشعاع، زاوية الميل.

Table des matières

Remerciements	i
Résumé	ii
Table des matières	iii
Liste des figures.....	vi
Liste des tableaux	x
Liste des abréviations	xii
Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Potentiel solaire et ressource de l'eau	2
1.1 Potentiel solaire.....	2
1.1.1 Introduction.....	2
1.1.2 Le spectre solaire	2
1.1.3 La géométrie solaire.....	5
1.2 Ressource d'eau :	13
1.2.1 Identification des réservoirs de la région :.....	13
1.3 Conclusion :	16
Chapitre 2 : La conversion photovoltaïque	17
2.1 Introduction.....	17
2.2 Les semi-conducteurs.....	18
2.2.1 La théorie des bandes énergétiques	19
2.2.2 Bande d'énergie dans les matériaux.....	20
2.2.3 Ionisation thermique	22
2.2.4 Hauteur de bande interdite et génération de Paires électrons trous	24
2.2.5 Semi-conducteurs intrinsèques et semi-conducteurs extrinsèques.....	26
2.3 La conversion photovoltaïque.....	30

2.3.1	Les cellules solaires	30
2.3.2	Le générateur PV :	32
2.3.3	Le module PV	41
2.4	Différents type de technologies de cellules photovoltaïques	42
2.4.1	Technologie à base de silicium cristallin (mono-ou multi cristallin)	42
2.4.2	Technologie des couches minces (Poly c-Si, CdTe, CTS, GaAs, etc)	43
2.4.3	Technologie des CPV	45
2.5	Conclusion	46
Chapitre 3 : Dimensionnement d'un système de pompage solaire		47
3.1	Introduction	47
3.2	Dimensionnement d'un système de pompage solaire	47
3.2.1	Définition	47
3.2.2	Les conditions d'installation d'un système de pompage solaire	47
3.2.3	Les données du puits sur site	48
3.2.4	Les étapes de dimensionnement	49
3.3	Les méthodes d'un système de pompage solaire	50
3.3.1	Les méthodes	50
3.3.2	Les types	50
3.4	Les composant d'un système pompage solaire	51
3.4.1	Le générateur photovoltaïque	51
3.4.2	Unité de conditionnement de puissance	51
3.4.3	Les motopompes	52
3.4.4	Câblage électrique	54
3.4.5	Canaux de pompage de l'eau	54
Chapitre 4 : Étude expérimental des différents systèmes de pompage solaire		55
4.1	Introduction	55

4.2	Présentation d'URAER-GHARDAIA	55
4.2.1	Identification URAER	55
4.2.2	Description de Banc d'essais	55
4.2.3	Les étapes de méthode d'essai	59
4.3	Dimensionnement des déférant systèmes de pompage solaire	59
4.3.1	Système PVWPS1	59
4.3.2	Système PVWPS2	60
4.3.3	Système PVWPS3	60
4.4	Partie expérimentale.....	61
4.4.1	Système PVWPS1	61
4.4.2	Système PVWPS2	68
4.5	Conclusion	75
	Conclusion générale	76
	Bibliographies.....	77

Liste des figures

Chapitre 1

Figure 1-1 : Spectres électromagnétiques.....	3
Figure 1-2 : Le flux solaire extraterrestre.....	3
Figure 1-3 : Angle d'incidence θ_s	4
Figure 1-4 : Rayonnement diffus & réfléchi frappe un collecteur.	4
Figure 1-5 : Station radiométrique.....	5
Figure 1-6 : Schéma de l'orbite de la Terre.	6
Figure 1-7 : La déclinaison solaire δ	7
Figure 1-8 : L'angle d'altitude β	9
Figure 1-9 : Mesure l'angle d'altitude.	10
Figure 1-10 : Mesure l'angle d'azimut.....	10
Figure 1-11 : La position du soleil dans le ciel.....	11
Figure 1-12 : Diagramme de trajectoire solaire. [3].....	12
Figure 1-13 : Schémas d'un collecteur, talque tilt égal à latitude (L).	12
Figure 1-14 : Les réservoirs d'eaux. [5].....	14
Figure 1-15 : Coupe géologique schématique de la vallée du M'Zab modifiée de celle l'ANRH. [4].....	15

Chapitre 2

Figure 2-1 : tetrahedral, version bidimensionnelle.....	19
Figure 2-2 : Des bandes énergétiques.....	19
Figure 2-3 : Relation entre la largeur de la bande interdite et la conductivité des matériaux.	20
Figure 2-4 : Cristal de silicium, Diamant.....	21
Figure 2-5 : Créations d'un pair électron sous l'effet de la température.....	22

Figure 2-6 : Transferts d'un électron depuis la bande de valence vers la bande de conduction	23
Figure 2-7 : Différence entre isolants et semi-conducteurs	24
Figure 2-8 : Génération d'un pair électron trou	25
Figure 2-9 : Dopage des semi-conducteurs (silicium).....	27
Figure 2-10 : Schéma d'une diode.....	28
Figure 2-11 : Schéma d'un transistor	29
Figure 2-12 : Les charges de dopage.....	29
Figure 2-13 : L'effet photoélectrique	30
Figure 2-14 : Circuit équivalent à simple diode d'une cellule photovoltaïque.	31
Figure 2-15 : Circuit équivalent à deux diodes d'une cellule photovoltaïque.....	32
Figure 2-16 : Caractéristique d'une cellule PV à sous obscurité et sous éclairement.	32
Figure 2-17 : différentes zones de caractéristique $I=f(V)$ d'une cellule photovoltaïque.....	33
Figure 2-18 : Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque en court-circuit.....	33
Figure 2-19 : Schéma électrique d'une cellule Photovoltaïque en circuit ouvert.....	34
Figure 2-20 : Détermination graphique de résistance shunt Et série.....	35
Figure 2-21 : Caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de température.....	36
Figure 2-22 : Caractéristique de $P= f(V)$ en fonction de température	36
Figure 2-23 : Caractéristique $I=f(V)$ en fonction de l'éclairement.....	37
Figure 2-24 : Caractéristique $P=f(V)$ en fonction de l'éclairement.....	37
Figure 2-25 : Caractéristique courant tension de N_s cellule en série.	38
Figure 2-26 : Caractéristique courant tension de (N_p) cellule en parallèle.	38
Figure 2-27 : $P = f(V)$ d'une cellule photovoltaïque.	39
Figure 2-28 : Protection d'un module de 32 cellules associées en série par deux diodes de by-pass.....	41
Figure 2-29 : Identification d'un module.....	41
Figure 2-30 : Image réel de panneaux en silicium mono cristallin.	42

Figure 2-31 : Image réel de panneaux en silicium poly-cristallin.	43
Figure 2-32 : Image réel de panneau en silicium amorphe (a-Si).	44
Figure 2-33 : Image réel de panneau en couches minces poly cristallines.	44
Figure 2-34 : Image réel de panneau CPV.	45
Figure 2-35 : Principe de module CPV.	45

Chapitre 3

Figure 3-1 : Les paramètres hydrauliques sur le site de pompage.	48
Figure 3-2 : Pompage avec stockage d'énergie électrique.	50
Figure 3-3 : Classification des motopompes.	52
Figure 3-4 : Classification des pompes selon la HMT et le débit demandé. [14]	52
Figure 3-5 : Un coup de pompe centrifuge.	53
Figure 3- 6 : (a) Pompe rotative, (b) Pompe alternatif ou à piston.	54
Figure 3-7 : Schéma type d'un système de pompage solaire photovoltaïque.	54

Chapitre 4

Figure 4-1 : photo du générateur photovoltaïque.	55
Figure 4-2 : Photo du Banc d'essais.	56
Figure 4-3 : circuit hydraulique du banc d'essais.	57
Figure 4-4 : Le panneau de control.	58
Figure 4-5 : Acquisition et stockage des données.	58
Figure 4-6 : image réel de pompe WATERMAX.	62
Figure 4-7 : le générateur 2*2.	62
Figure 4-8 : le graphe d'irradiante par l'observation en fonction de temps.	63
Figure 4-9 : le graphe d'irradiante par l'acquisition en fonction de temps.	63
Figure 4-10 : Le débit et la puissance de la pompe par l'observation en fonction d'irradiance.	64

Figure 4-11 : L'irradiance, le débit, la puissance et la température par l'acquisition en fonction de temps.	64
Figure 4-12 : L'irradiance le débit la puissance et la température par l'observation en fonction de temps.	65
Figure 4-13 : L'irradiance, le débit, la puissance, la température, le courant et le voltage par l'observation en fonction de temps.	66
Figure 4-14 : variation des caractéristiques du système de pompage par l'acquisition.	66
Figure 4-15 : image réel de pompe SHURFLO.....	68
Figure 4-16 : variation des caractéristiques du système de pompage par l'acquisition.	68
Figure 4-17 : L'irradiance, le débit, la puissance, et la température, par l'observation en fonction de temps.	69
Figure 4-18 : le générateur 1*2.....	69
Figure 4-19 : l'irradiance, le débit, la puissance, et la température, par l'acquisition en fonction de temps.	70
Figure 4-20 : variation des caractéristiques du système de pompage par l'observation.	70
Figure 4-21 : l'irradiance, le débit, la puissance, et la température, par l'acquisition en fonction de temps.	71
Figure 4-22 : l'irradiance, le débit, la puissance, et la température, par l'observation en fonction de temps.	71
Figure 4-23 : le générateur 2*1.....	72
Figure 4-24 : variation des caractéristiques du système de pompage par l'acquisition.	72
Figure 4-25 : l'irradiance, le débit, la puissance, et la température, par l'observation en fonction de temps.	73
Figure 4-26 : l'irradiance, le débit, la puissance, et la température, par l'acquisition en fonction de temps.	73
Figure 4-27 : variation des caractéristiques du système de pompage par l'acquisition.	74

Liste des tableaux

Chapitre 1

Tableau 1-1 : La décomposition de spectre solaire.	3
Tableau 1-2 : Numéros des jours pour le 1 ^{er} , 21 ^{ème} , et 30 ^{ème} jour de chaque mois.....	6
Tableau 1-3 : δ pour le 1 ^{er} , 21 ^{ème} et 30 ^{ème} jour de chaque mois (en degrés).....	7
Tableau 1-4 : Voilà quelque exemple des villes en Algérie. [3]	8
Tableau 1-5 : Nombre de puits des forages et hauteur statiques et débit dans la région de Ghardaïa. [5].....	15

Chapitre 2

Tableau 2-1 : Energie de gap pour différents semi-conducteurs à T= 300 k. [1].....	21
Tableau 2-2 : Générer une paire électron-trou correspond à E_g	25
Tableau 2-3 : Caractéristiques des modules de technologie à base de silicium cristallin. ...	43
Tableau 2- 4 : Caractéristiques des modules de technologie des couches minces.	45

Chapitre 3

Tableau3- 1: Le nombre d'heure d'ensoleillement du 21 ^{ème} jour de chaque moi.	49
---	----

Chapitre 4

Tableau 4 - 1 : Dimension de puits et les valeurs d'énergie.....	59
Tableau 4 - 2 : Les valeurs de besoin d'eau demandé journalier de chaque moi.	60
Tableau 4 - 3 : Dimension de puits et les valeurs d'énergie.....	60
Tableau 4 - 4 : les valeurs de besoin d'eau demandé journalier de chaque moi.	60
Tableau 4 - 5 : dimension de puits et les valeurs d'énergie.....	61
Tableau 4 - 6 : les valeurs de besoin d'eau demandé journalier de chaque moi.	61
Tableau 4 - 7 : La caractéristique de la pompe et de module	61

Tableau 4 - 8 : quel que valeur d'acquisition de comparaison entre les essais.....	67
Tableau 4 - 9 : Comparaison quelque donnée des essais tell que l'irradiance est fixe.....	67
Tableau 4 - 10 : La caractéristique de la pompe et le module	68
Tableau 4 - 11 : Comparaison quelque donnée d'essai du différent HMT.....	72
Tableau 4 - 12 : Comparaison quelque donnée d'essai du différent HMT.....	74
Tableau 4 - 13 : comparaison entre les essais.....	74

Liste des abréviations

δ : angle de déclinaison solaire.

H : angle d'heure.

β : angle d'altitude.

φ_s : angle d'azimut.

Tilt : angle d'inclinaison.

I_{CC} : courant de court-circuit.

E_H : énergie hydraulique.

E_e : énergie électrique.

FF : facteur de forme.

HMT : hauteur manométrique total en mètre.

G : Longitude.

L : Latitude.

n : numéros des jours.

P_c : puissance crête

P_{max} : puissance max

P_{inc} : puissance du rayonnement solaire incident.

R_s : résistance série.

R_{sh} : résistance shunt.

η : rendement

STC : Standard Test Conditions.

Silicium projeté : silicium vaporisé sous vide sur un support.

V_{CO} : tension de circuit ouvert.

V_{dmax} : volume maximum d'eau demandée.

Introduction générale

L'eau est l'élément vitale pour l'être humaine, animal et Flora que représente 75% de la terre, mais l'eau potable présente 2.5% seulement des différents ressources : les rivières, les cascades, les Vallées et lacs ... facilement accessible depuis longtemps et au cours d'augmentation de la demande et la sécheresses.

L'homme fait des recherches jusqu'à trouver des ressources en eaux souterraines mais nécessite des forages à différentes hauteurs, et pour exploiter l'eau il faut une énergie, humaine ou animale pour les petites profondeurs ; électriques pour les petites profondeurs (nappe phréatique) ou grandes profondeurs (nappe Albienne -forages-), cette énergie délivrée grossièrement au mode de la combustion des hydrocarbures, mais elle est finie avec l'effet de la pollution. L'homme en recherche continue jusqu'à est arrivé à des énergies propres et renouvelables non polluantes sont fournies par le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau, les marées ou encore la croissance des végétaux, et le soleil ce qui nous intéresse mais a des rendements faibles et avec la crise économique mondiale sévère sur ces énergies et s'amélioré leurs rendements.

A URAER (L'unité de recherche appliquées sur les énergies renouvelables) où nous avons effectué le stage de la mise en situation professionnelle, sur notre projet le pompage solaire nous utilisons les modules photovoltaïques monocristallins qui assurent l'alimentation des différents pompes (WATER MAX ; SHURFLO) se qu'ils reliés en série ou parallèle ou série et parallèle dépende la puissance des pompes.

L'étude ce qui on fait sur le système de pompage solaire dans les Oasis de la vallée de M'Zab définit le prix très élevé des batteries et leur maintenance sur tous dans un milieu saharien à la température très élevée mais ce qu'il assure et remplace ses derniers le réservoir ou le château d'eau, c'est le (V_d) volume demandé qu'il introduit à la hauteur manométrique totale (HMT), pour l'utilisation d'eau pendant la journée.

En fin, on s'intéresse de calculer la puissance crête (P_C) pour configurer un système de pompage solaire, et on compare les données telles que la puissance, le voltage, le courant, la température, et la hauteur manométrique totale.

Chapitre 1 : Potentiel solaire et ressource de l'eau

1.1 Potentiel solaire

1.1.1 Introduction

L'énergie solaire est l'énergie transmise par les rayons solaires sous la forme de lumière et de thermique. Cette énergie est virtuellement inépuisable dans le temps ainsi elle est considérée parmi les énergies renouvelables. L'énergie solaire peut être utilisée directement par l'Homme en deux formes ; la lumière pour s'éclairer, la température pour se chauffer et cuisiner ou pour produire de l'électricité par l'intermédiaire de panneaux photovoltaïques.

1.1.2 Le spectre solaire

Le soleil est la principale source d'énergie de notre planète. À l'exception de l'énergie nucléaire et de la géothermie.

Le soleil constitue une source d'énergie inépuisable et abondante puisque le rayonnement solaire fournit en permanence, chaque année, 10000 fois la consommation totale de la planète, soit en moyenne 1700 KWh/m²/an. [1]

Le soleil émet des particules, appelées photons, en très grandes quantités. C'est le rayonnement solaire. Ces flux de photons qu'on appelle également radiations ou rayons, voyagent dans l'espace à la vitesse de 300 000 km/s (c'est la vitesse de la lumière) et atteignent la terre à différentes longueurs d'ondes.

On distingue par leur longueur d'onde les différents types de rayons : c'est le spectre solaire (figure 1-1).

Les rayons de longueur d'ondes très courtes (les rayons x, gamma), extrêmement dangereux sont heureusement arrêtés dès les couches supérieures de l'atmosphère.

Les rayons de longueur d'onde très longue (ondes radio) sont très faibles à la surface de terre.

Nous parviennent essentiellement :

Tableau 1-1 : La décomposition de spectre solaire.

nome de rayons	longueur d'onde (nm)	l'état de rayons	influence
ultraviolets (UV)	200 à 400	invisibles	provoquent des dommages sur les cellules
visible	400 à 800	visibles	distinguer les couleurs
infra rouges (IR)	800 à 1400	invisibles	chauffent la matière solide

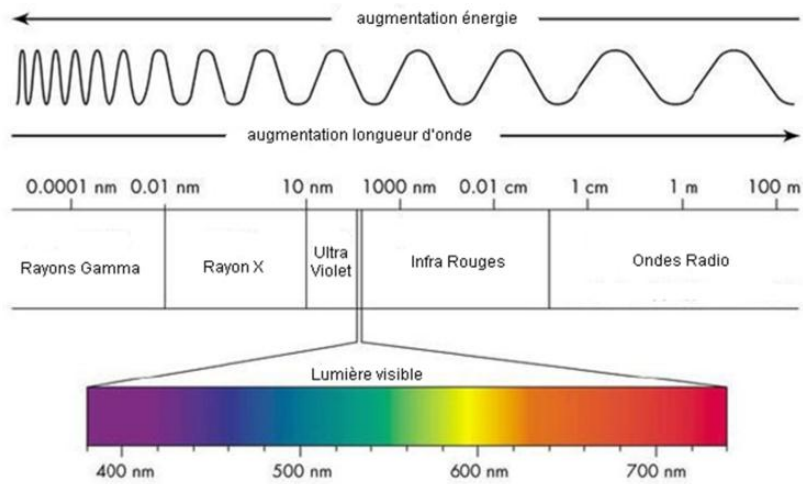


Figure 1-1 : Spectres électromagnétiques.

Lorsque le faisceau traverse l'atmosphère, une bonne partie est absorbée par divers gaz dans l'atmosphère, ou dispersés par des molécules d'air ou des particules matière. En fait, sur une période d'un an, moins de la moitié des radiations le sommet de l'atmosphère atteint la surface de la terre sous forme de faisceau direct.

Le rayonnement entrant est une fonction de la distance (d) que le faisceau doit voyager à travers l'atmosphère, qui est facilement calculable à une insolation extraterrestre I_0 .

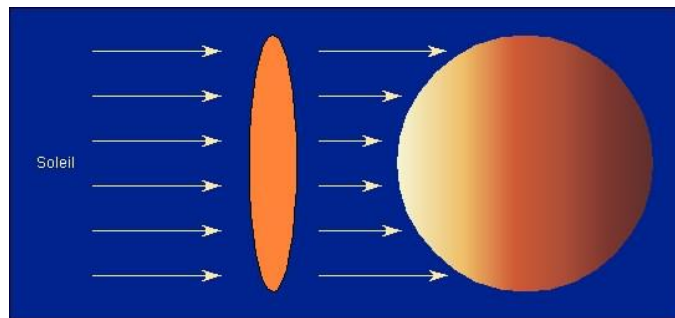


Figure 1-2 : Le flux solaire extraterrestre.

- **Insolation totale du ciel clair sur un site**

Estimations raisonnablement précises du ciel clair, l'insolation directe I_0 du faisceau est facile assez pour travailler et la géométrie nécessaire pour déterminer combien de cela frapper une surface de collecteur est simple. Il n'est pas si facile de rendre compte insolation diffuse et réfléchi, mais puisque ce bonus d'énergie est relativement faible réaction du total, même les modèles bruts sont généralement acceptables. On montre les types du rayonnement solaire :

1. Rayonnement par faisceau direct : rayonnement direct passe en ligne droite à travers l'atmosphère jusqu'au récepteur. La traduction du rayonnement direct I_B (normal aux rayons) en insolation de faisceau frapper une face de collecteur I_{BC} est une fonction simple de l'angle d'incidence.

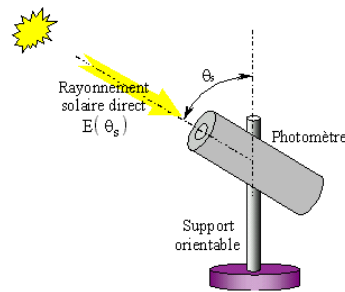


Figure 1-3 : Angle d'incidence θ_s .

L'angle d'incidence θ_s entre une ligne tracée perpendiculairement à la face du collecteur et le rayonnement solaire incident.

2. Rayonnement diffuse & Réfléchi : rayonnement diffus qui a été dispersé par des molécules et des aérosols dans l'atmosphère. réfléchi rayonnement qui a rebondi sur le sol ou sur une autre surface devant le collecteur.

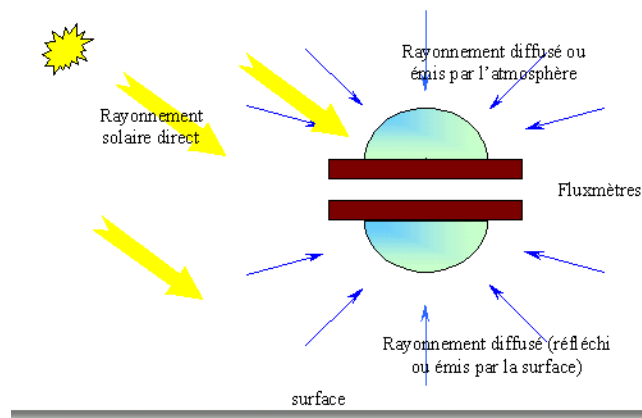


Figure 1-4 : Rayonnement diffus & réfléchi frappe un collecteur.

3. Rayonnement global : c'est le flux solaire frappant un collecteur sera une combinaison des rayonnements solaire Direct et Diffus & Réfléchi.

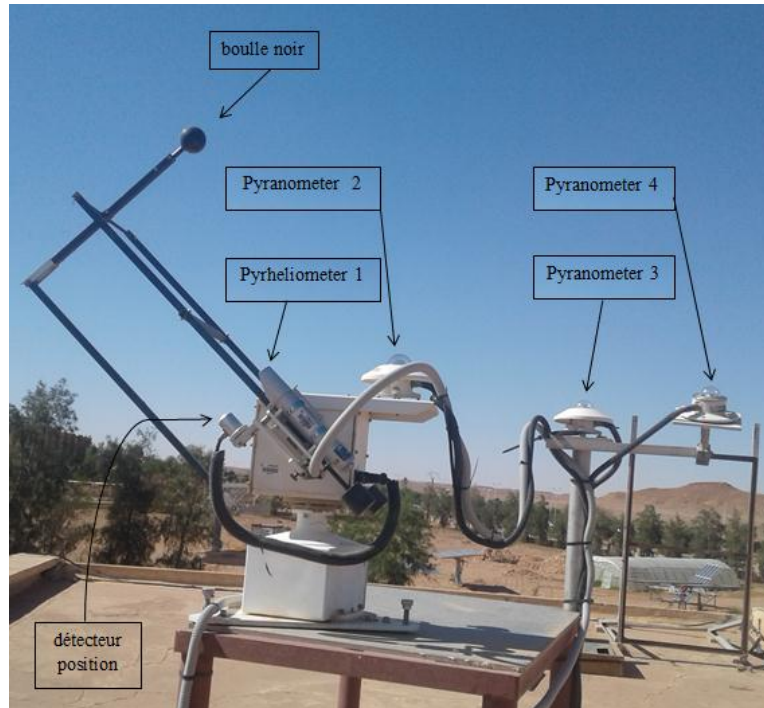


Figure 1-5 : Station radiométrique.

Le robot qui suivi les défèrent rayant et la position solaire est constitué de :

- Pyrheliometer (1) qui mesure les rayons directs incidents au soleil.
- Pyranometer (2) qui mesure les rayant diffus et réfléchis.
- Pyranometer (3) verticale et Pyranometer (4) incliné qui ont mesuré les rayant globale.
- Boule noir couvre les rayant incidents directe au Pyranometer (2).
- détecteur position est suivant la position solaire.

1.1.3 La géomètre solaire

Le soleil est tourne dans l'espace par des cordonnés exacte, à cette partie nous étudions la relation géométrique de la terre autour de soleil, pour connaitre exactement ses cordonnés astronomiques.

1.2.1.1 L'orbite de la terre :

Le soleil est le centre des planètes du système solaire, talquent elles sont tourne, et formes des orbites différentes, et la terre est l'une de ces planètes gravitant autour d'eux.

La terre tourne autour du soleil dans une orbite elliptique, faisant une révolution tous les 365,25 jours. L'excentricité de l'ellipse est petite et l'orbite est en fait, presque circulaire. Le

point où la terre est la plus proche du soleil, le périhélie, se produit le 3 janvier, à quel point il est un peu plus de 147 millions kilomètres. À l'autre extrême, l'aphélie, qui a lieu le 3 juillet, la terre est à environ 152 millions de kilomètres du soleil. [2]

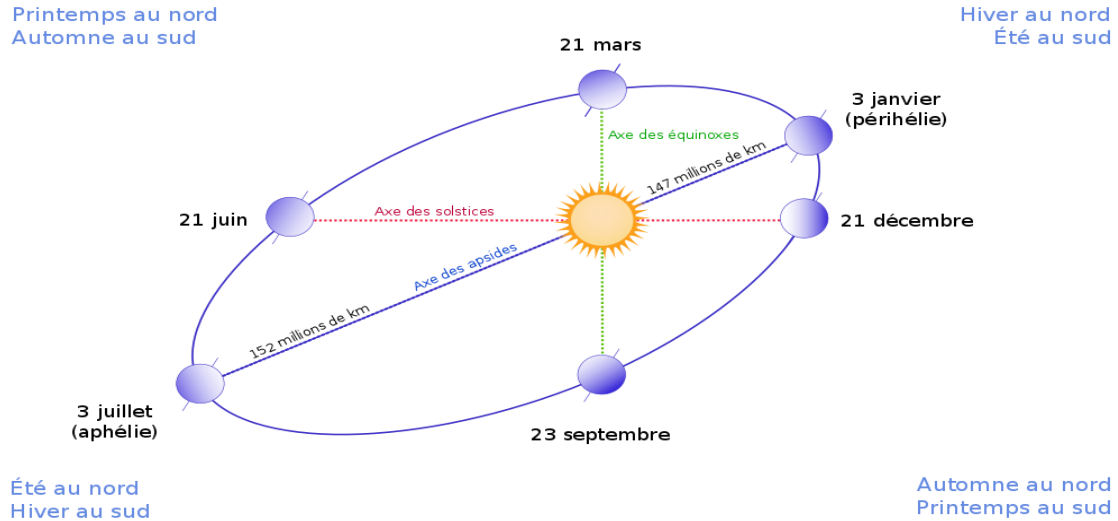


Figure 1-6 : Schéma de l'orbite de la Terre.

Cette variation de distance est décrite par la relation suivante :

$$d = 1.5 \times 10^8 \left\{ 1 + 0.017 \sin \left[\frac{360(n - 93)}{365} \right] \right\} \text{ Km} \quad (1.1)$$

Où n est le numéro du jour, avec le 1^{er} janvier comme jour 1 et le 31 décembre étant le jour numéro 365. [2]

Tableau 1-2 : Numéros des jours pour le 1^{er}, 21^{ème}, et 30^{ème} jour de chaque mois.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
numéro de jour (n)	1 ^{er}	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
	21 ^{ème}	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
	30 ^{ème}	30	X	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364

1.2.1.2 La déclinaison solaire δ :

L'angle entre le soleil et l'équateur. c'est-à-dire angle formé entre le plan de l'équateur de la terre et le plan de l'écliptique est appelé déclinaison solaire, δ . et varie entre $+23.45^\circ$ le 21 juin (solstice d'été) et -23.45° le 21 décembre (solstice d'hiver).

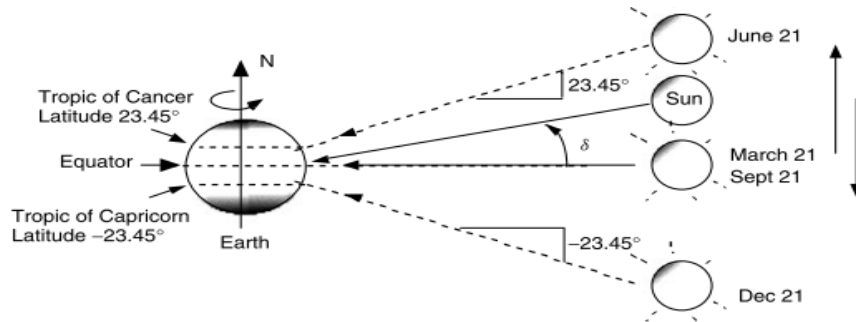


Figure 1-7 : La déclinaison solaire δ .

La déclinaison solaire est varié donc entre les extrêmes de $\pm 23,45^\circ$, et une simple relation sinusoïdale qui suppose une année de 365 jours et qui met le printemps l'équinoxe au jour $n=81$ fournit une très bonne approximation. Valeurs exactes de La déclinaison, qui varie légèrement d'une année à l'autre. [2]

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 81) \right] \quad (1.2)$$

Les valeurs calculées de la déclinaison solaire de quelque jour de chaque mois sont donné dans le tableau (1-3).

Tableau 1-3 : δ pour le 1^{er}, 21^{ème} et 30^{ème} jour de chaque mois (en degrés).

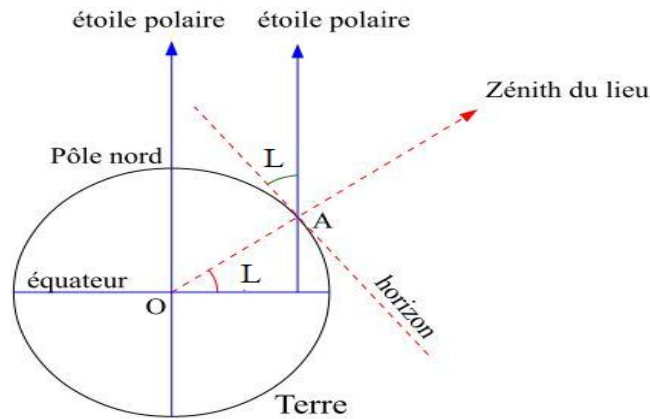
mois		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
déclinaison solaire δ (°)	1 ^{er}	-23.6	-17.8	-8.3	4.0	15.1	22.6	23.8	18.2	7.7	-4.2	-15.5	-22.7
	21 ^{ème}	-20.6	-11.3	-0.4	11.7	20.6	24.1	20.9	11.8	-0.2	-11.8	-20.9	-24.1
	30 ^{ème}	-18.3	-23.7	3.2	14.7	22.3	23.8	18.7	8.5	-3.8	-14.9	-22.5	-23.8

1.2.1.3 Les coordonnées géographiques sur terre :

Pour repérer un point à la surface de la Terre, deux angles sont nécessaires :

- **Longitude G** : la longitude est l'angle entre le méridien du lieu et le méridien de Greenwich.
- **Latitude L** : La latitude d'un lieu sur terre permet de caractériser son éloignement depuis l'équateur, Elle varie de 0°C sur l'équateur à 90° au pôle nord et à -90°C au pôle sud.

Sur le schéma suivant, on voit que la latitude d'un lieu, qui est l'angle entre la verticale et l'équateur, est aussi égale à la hauteur du pôle sur l'horizon.



Lorsqu'on regarde le ciel dans la direction du nord, l'angle entre la direction de l'étoile polaire et l'horizontale est égal à la latitude du lieu.

Tableau 1-4 : Voilà quelque exemple des villes en Algérie. [3]

wilaya	Alger	Annaba	Oran	Constantine	Ghardaïa	Tamanghasset
Latitude	36°	36°	35°	36°	32°	22°
Longitude	3°	7°	0°	6°	3°	5°
L'altitude par rapport au niveau de la mer	186 m	5 m	109 m	574 m	503 m	1372 m

- **Angle d'heure H** : L'angle horaire c'est la différence entre les heures de méridien du soleil et le méridien local. Considérant la terre pour tourner 360° correspond à 24 h, où $15^\circ/h$, l'angle des heures peut être décrit comme suit :

$$H = \left(\frac{15^\circ}{\text{hour}} \right) \cdot (\text{heures avant le midi}) \quad (1.3)$$

Ainsi, l'angle des heures H par exemple à 10:00 AM le temps solaire serait $+30^\circ$ (positives avant le midi) et à 14h00 l'heure solaire H serait -30° (est négatif l'après-midi). [2]

Exemple :

Calculer l'angle horaire à 4h :00 AM et 16h :00 PM à Ghardaïa ?

Pour 4h:00 AM : $H = 120^\circ$, Pour 16h :00 PM : $H = -60^\circ$

1.2.1.4 Les coordonnées du soleil dans le ciel :

- **l'angle d'altitude β** :

L'angle d'altitude ou bien l'angle d'élévation locale est l'angle entre le soleil et l'horizon local directement sous le soleil.

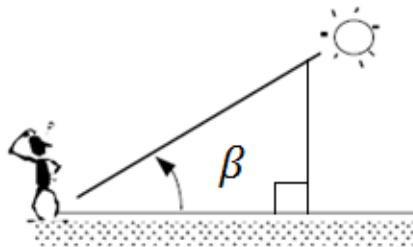


Figure 1-8 : L'angle d'altitude β

Équations suivantes est pour calculer β à partir du coordonnées L, H et δ .

$$\sin \beta = \cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta \quad (1.4)$$

On a une méthode manuellement pour trouver l'angle d'altitude de quel que soit d'objet, par un rapporteur, et fil à plomb. La figure (1- 9) montre l'idée. [2]

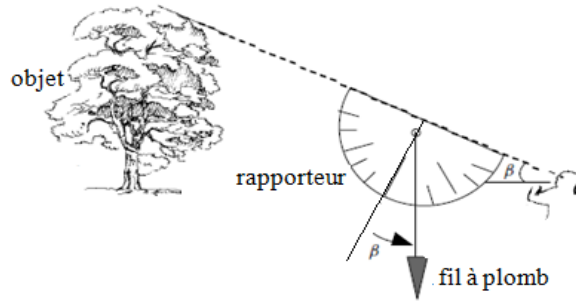


Figure 1-9 : Mesure l'angle d'altitude.

- **Angle d'azimut φ_s :**

L'azimut, est l'angle entre le vertical du rayonne solaire sur l'horizon local et le sud talque ($\varphi_{s \text{ est}} = 90^\circ$, $\varphi_{s \text{ sud}} = 0^\circ$, $\varphi_{s \text{ ouest}} = -90^\circ$).

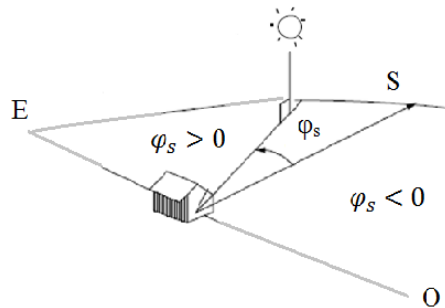


Figure 1-10 : Mesure l'angle d'azimut

Pour trouver φ_s on a une équation suivante à partir du coordonnées β , H et δ . [2]

$$\sin \varphi_s = \frac{\cos \delta \sin H}{\cos \beta} \quad (1.5)$$

- **Le temps :**

On prend en considération le temps instantané pour savoir la position de soleil dans le ciel.

D'après détermination les coordonnées du soleil (β, φ_s, tps) on trouve directement la position du soleil dans le ciel à chaque instant de jour (figure 1-7).

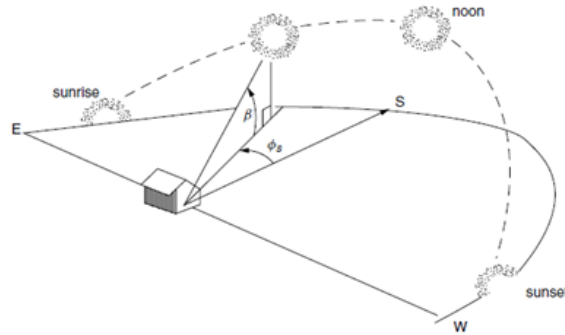


Figure 1-11 : La position du soleil dans le ciel

Exemple : calculant les coordonnées du soleil à Ghardaïa (latitude = 32°), le 5 juillet à 13h :00 .

Solution : on a

Le 5 juillet : $n = 186$ alors $\delta = 22.80^\circ$

Le heur 13h:00 : $H = -15^\circ$

Donc angle d'altitude β est :

$$\begin{aligned} \sin \beta &= \cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta \\ &= \cos 32^\circ \cos 22.80^\circ \cos(-15^\circ) + \sin 32^\circ \sin 22.80^\circ = 0.96 \\ \beta &= \sin^{-1} 0.96 = 73.83^\circ \end{aligned}$$

Le sinus de l'angle d'azimut est :

$$\begin{aligned} \sin \phi_s &= \frac{\cos \delta \sin H}{\cos \beta} = \frac{\cos 22.8 \sin -15}{\cos 73.83} = -0.86 \\ \phi_s &= \sin^{-1}(-0.86) = -59.3^\circ \quad (-59.3^\circ \text{ ouest de sud}) \end{aligned}$$

1.2.1.5 diagrammes de trajectoire du soleil pour l'analyse d'ombrage

Trajectoire solaire représente des diagrammes de l'emplacement du soleil dans le ciel, il composé sa expérimentalement par les coordonnées (β et ϕ_s) de chaque jour d'année.

À cheque lieux il y un diagramme spécifique et il peut être fixé selon les coordonnées.

La figure (1-12) représenté diagramme du trajet solaire montrant l'altitude solaire et les angles d'azimut pour : $L = 32.4902246^\circ$ latitude (région de GHARDAIA).

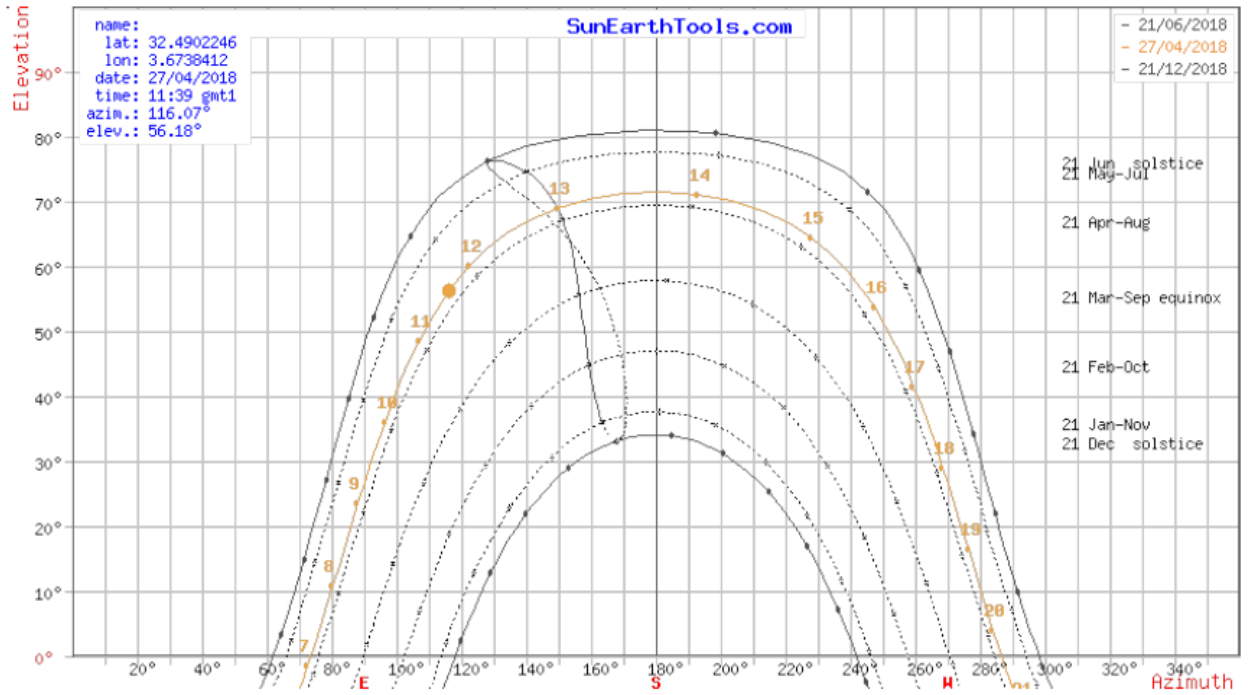


Figure 1-12 : Diagramme de trajectoire solaire. [3]

1.2.1.6 Angle d'inclinaison (Tilt)

C'est l'inclinaison optimale pour obtenir le rendement optimale des modules PV.

L'angle d'inclinaison c'est l'installation d'un collecteur orienté vers le sud sur la surface de la terre si nous avons sur hémisphère du nord, qui est incliné d'un angle égal à la latitude locale(L).

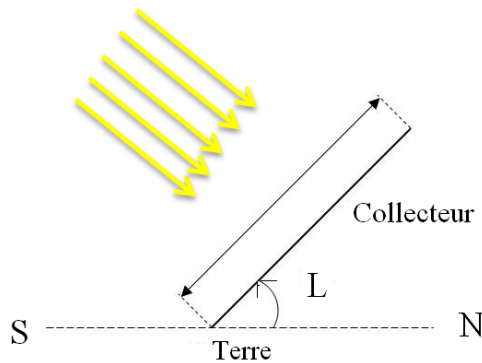


Figure 1-13 : Schémas d'un collecteur, talque tilt égal à latitude (L).

1.2 Ressource d'eau :

L'eau est une source de vie pour toutes sortes d'êtres vivants, grâce à son importance pour l'irrigation, l'alimentation en eau potable, les utilisations domestiques et même son utilisation pour les différentes activités industrielles. Il est nécessaire de garantir cette ressource en quantité et en qualité surtout dans une région aride comme Ghardaïa où on assiste à la rareté des pluies et à une évaporation intense. Paradoxalement, il existe des réservoirs aquifères importants tels que le continentale intercalaire, la nappe des calcaires turoniens et l'aquifère alluvial. [4]

Dans la nature il y a plusieurs types de ressources d'eau tel que : l'eau de mer, les rivières, les barrages, et l'eau fossile ... etc.

Dans la région sud du Sahara, les eaux souterraines comprennent principalement de l'eau fossile avec une recharge négligeable. Selon les estimations du Country Report, le potentiel économiquement exploitable est d'environ 5000 MCM / an. Ceci est basé sur des estimations de modélisation qui tiennent compte de la qualité de l'eau et des coûts de production. [5]

1.2.1 Identification des réservoirs de la région :

Nous avons procédé à l'identification des réservoirs d'eaux souterraines et à l'étude piézométrique de la nappe phréatique.

1.2.1.1 La nappe albienne du Continental Intercalaire « CI » et « CT » :

Le terme « continental intercalaire » désigne un épisode continental intercalé entre deux cycles sédimentaire : à la base, le cycle marin du paléozoïque que clôt l'orogénèse hercynienne et au sommet, le cycle marin que provoque la transgression du Crétacé supérieur.

Vu de sa grande extension allant du versant sud de l'Atlas saharien au nord jusqu'au plateau du Tademaït au sud et de la limite des affleurements paléozoïques de l'Ougarta à l'ouest jusqu'au graben de Hun en Lybie à l'est, il est le plus important aquifère dans le Sahara septentrional. Son épaisseur varie de 250 à 300 m et son toit imperméable est le cénomaniens argileux.

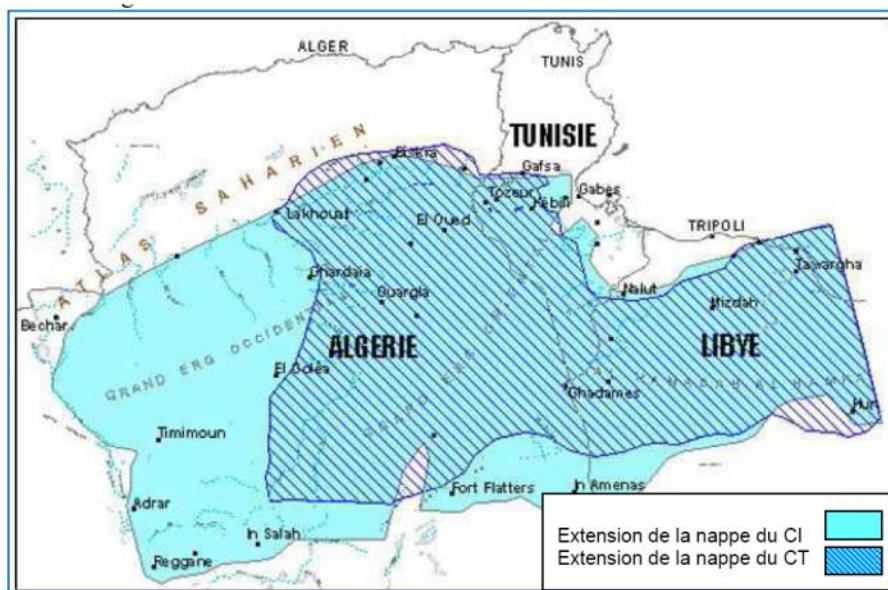


Figure 1-14 : Les réservoirs d’eaux. [5]

Selon la région d’étude, la nappe de « CI » se fait exploitée au niveau des formations albiennes à une profondeur allant de 80 à 1000m, cette exploitation limitée a pour but d’avoir une bonne qualité chimique des eaux favorables à la consommation grâce à la nature lithologique de l’aquifère composé essentiellement de grès et de sables fins argileux.

Le complexe terminal (CT) et l’intercalaire continental (CI). Ces aquifères sont conjointement exploités avec la Libye et la Tunisie et forment ensemble le Système septentrional de l’aquifère saharien (SSAS). [4]

1.2.1.2 La nappe phréatique :

La nappe phréatique de la vallée du M’Zab constitue la principale ressource d’irrigation pour la palmeraie et d’eau potable prélevée généralement de l’amont.

Dans la région du M’Zab, deux types d’aquifère superficiel sont connus : l’un est alluvionnaire et l’autre est carbonaté fissuré, leur mur commun est l’argile cénomaniennes. La nappe alluviale est alimentée essentiellement par les eaux de pluies torrentielles et avec un petit apport d’irrigation par les eaux de la nappe albiennes.

- **L’aquifère alluvionnaire quaternaire :**

C’est le remplissage de lit des oueds qui repose en général sur la barre carbonatée cénomano-turonienne avant d’atteindre les argiles, son épaisseur varie de 25 à 45m. Il est constitué essentiellement d’alluvions avec du sable fin et grossier et des poudingues, ce qui

lui donne une porosité et une perméabilité d'interstice qui favorise l'infiltration des eaux superficielles et l'écoulement souterrain.

- **L'aquifère cénomano-turonien :**

Sa nature lithologique est de calcaire dolomitique massif d'une épaisseur de 40 à 100m, grâce à sa perméabilité de fissure, il reçoit les eaux provenant de la surface directement ou par l'intermédiaire de l'aquifère alluvionnaire.

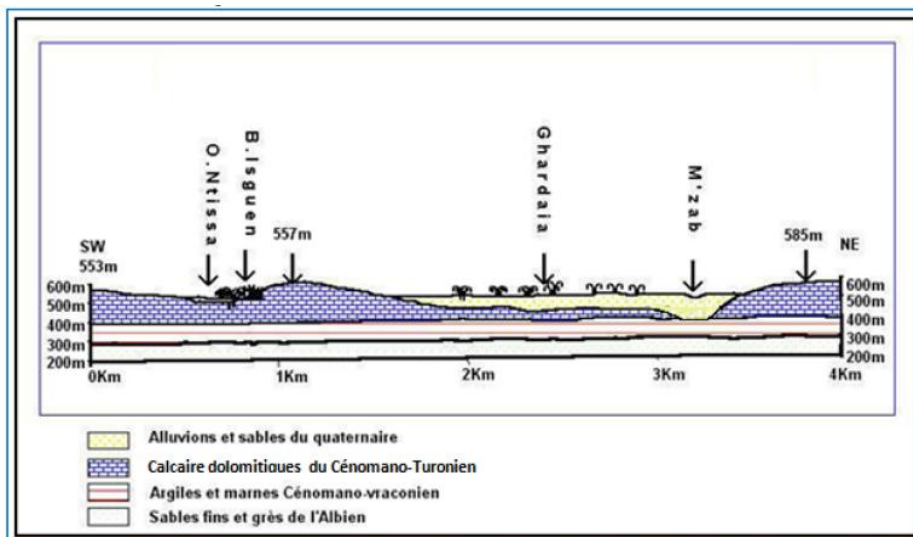


Figure 1-15 : Coupe géologique schématique de la vallée du M'Zab modifiée de celle l'ANRH. [4]

Le contact des alluvions avec le substratum argileux dépend du degré d'érosion du plateau calcaire au niveau des oueds. En amont, ce contact se situe à une profondeur d'environ 30m au milieu de lit des grands oueds (sondages de BG au milieu de oued Al Biodh et oued La Adira et informations auprès des fellahs qui ont creusé des puits traditionnelles au niveau de la palmeraie de Ghardaïa). [4]

Tableau 1-5 : Nombre de puits des forages et hauteur statiques et débit dans la région de Ghardaïa. [5]

Commune	Nombre total	De exploités	Forages N exploités	Débit moyen (l/s)	Volume soutiré (hm ³ /an)	Prof moyen (m)
Atteuf	19	16	3	30p	8,26	500
Berriane	17	12	3	25p	6,71	500

Bounoura	15	10	2	30p	7,61	500
Daya	13	4	7	20p	3,02	500
Ghardaïa	36	26	7	30p	15,46	500
Guerrara	29	20	3	80a	32,82	1000
Hi Fhel	27	20	7	60a	34,77	450
Mansourah	14	7	5	45a	5,71	450
Meniaa+ Hi Gara	120	73	20	20-70a+30p	51,00	250
Metlili	24	20	3	30p	13,92	500
Sebseb	11	4	4	35p	3,93	450
Zelfana	20	16	2	80a	30,75	1000
Total	345	228	66	-	213,96	-

1.3 Conclusion :

On a déterminé la position exacte de soleil dépend de la terre pour obtenir un bon rendement d'un collecteur.

Nous avons également étudié et analysé la profondeur des eaux souterraines dans la région de la vallée du M'Zab.

Chapitre 2 : La conversion photovoltaïque

2.1 Introduction

Le terme photovoltaïque est composé du mot grec signifiant lumière et du nom du physicien Alessandro Volta (1745-1827).

Un matériau ou un dispositif capable de convertir l'énergie contenue dans les photons de la lumière dans une tension électrique et le courant est dit photovoltaïque.

Il faut comprendre comment est produite l'électricité à partir de la lumière, et comment sont fabriqués les photo- générateurs. Chacun sait que : « rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ». Convertir l'énergie lumineuse en électricité, telle est la fonction d'une photopile ou d'une cellule solaire.

Et il est intéressant de noter que la surface de la terre reçoit une énergie solaire de 6000 fois plus que notre total la demande d'énergie.

L'histoire du photovoltaïque a commencé en 1839 quand le français, Edmund Becquerel, a été en-il illuminé une électrode métallique dans une solution d'électrolyte faible.

Près de 40 ans plus tard, Adams et Day, ont été les premiers à étudier le photovoltaïque dans les solides.

Ils ont été capables de construire des cellules faites de silicium efficaces de 1% à 2% du rendement.

Dans le cadre de son développement de la théorie quantique, Albert Einstein a publié une explication théorique de photovoltaïque en 1904, dans ce qui allait devenir le semi-conducteur de l'électronique moderne en général, et le photovoltaïque en particulier.

Dans les années 1940 et 1950, le processus Czochralski a commencé à être utilisé pour faire pousser des cristaux parfaits de silicium cette la première génération de silicium photovoltaïque mono cristallin.

Dans les années 1950, il y a eu plusieurs tentatives de commercialisation de PV, mais leur coût était prohibitif. La véritable émergence des PV en tant que source d'énergie pratique est apparue 1958 quand ils ont été utilisés pour la première fois dans l'espace pour les satellites et d'autres engins spatiaux. Sous l'impulsion des crises énergétiques émergentes des années 1970,

À la fin des années 1980, et ils ont commencé à trouver des applications telles que les calculatrices de poche, les bouées off-shore, les autoroutes lumineuses, les panneaux et les boîtes d'appel d'urgence, le pompage de l'eau en milieu rural et la petite maison systèmes.

Alors que le coût amorti de l'énergie photovoltaïque a chuté de façon spectaculaire dans les années 1990, une décennie plus tard, il est encore à peu près le double de ce qu'il doit être pour être utilisable sans subventions dans des situations plus générales.

2.2 Les semi-conducteurs

Les semi-conducteurs sont des matériaux utilisés pour la fabrication des dispositifs électroniques et optoélectroniques.

Du point de vue de leur conductivité électrique, les corps se subdivisent essentiellement en 3 groupes :

- les isolants : ne conduisent pas le courant électrique.
- les conducteurs métalliques : conduisent bien le courant électrique, d'autant mieux que la température.
- les semi-conducteurs : 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.

Le semi-conducteur le plus utilisé est disponible en quantité incalculable à la surface de la Terre, puisque présent dans le sable sous forme de silice et de silicates : il s'agit du silicium (Si). C'est ce silicium qui compose les circuits intégrés, utilisés massivement dans l'électronique.

Les semi-conducteurs (silicium Si) forment des réseaux atomiques (du type diamant) où les atomes sont reliés par covalence. Il n'existe pas d'électrons libres 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 Silicium possède 14 électrons, 4 de valence, 5.10^{22} atomes.cm⁻³, densité : 2.33 g.cm⁻³

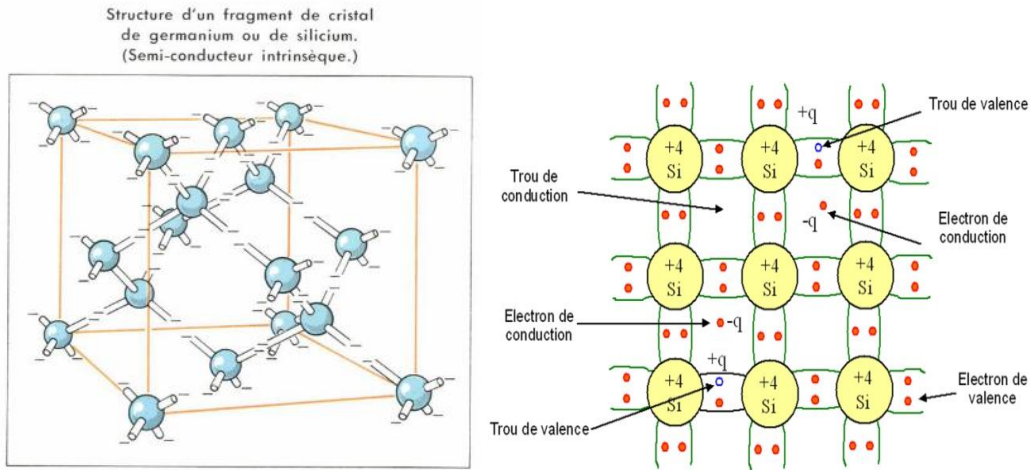


Figure 2-1 : tetrahedral, version bidimensionnelle.

2.2.1 La théorie des bandes énergétiques

En étudiant le modèle quantique, vu que pour les atomes isolés (état gazeux) les électrons présentent des niveaux énergétiques rigoureusement déterminés, associés aux différents nuages électroniques atomiques. L'espace compris entre deux niveaux est interdit à l'électron.

A l'état condensé (liquide ou solide), les niveaux énergétiques de chaque atome sont influencés par ceux de tous les voisins, ce qui entraîne que ces niveaux énergétiques s'élargissent en bandes énergétiques; l'espace entre deux bandes reste interdit aux électrons.[6]

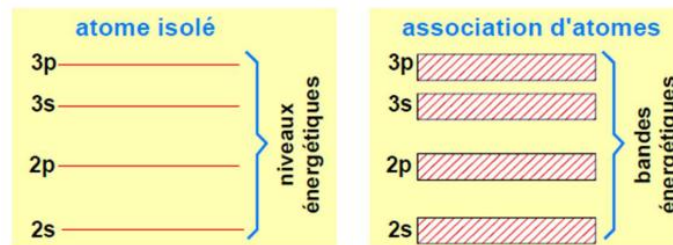


Figure 2-2 : Des bandes énergétiques.

Un semi-conducteur est un matériau dont la conductivité électrique est de grandeur intermédiaire entre celle d'un conducteur et celle d'un isolant.

Les matériaux semi-conducteurs communs sont des solides cristallins, mais des semi-conducteurs amorphes et liquides comme le silicium amorphe hydrogéné et des mélanges d'arsenic, de sélénium et de tellure sont également connus.

De tels composés partagent avec les semi-conducteurs les plus connus une conductivité intermédiaire et une variation rapide de la conductivité avec la température, ainsi qu'une résistance négative occasionnelle.

Les matériaux semi-conducteurs sont la base de l'électronique moderne, y compris la radio, les ordinateurs, les téléphones et de nombreux autres appareils.

De tels dispositifs comprennent des transistors, des circuits intégrés numériques et analogiques, de nombreux types de diodes, y compris la diode électroluminescente (LED), les cellules solaires, le redresseur commandé au silicium et la photo diode. [2]

2.2.2 Bande d'énergie dans les matériaux

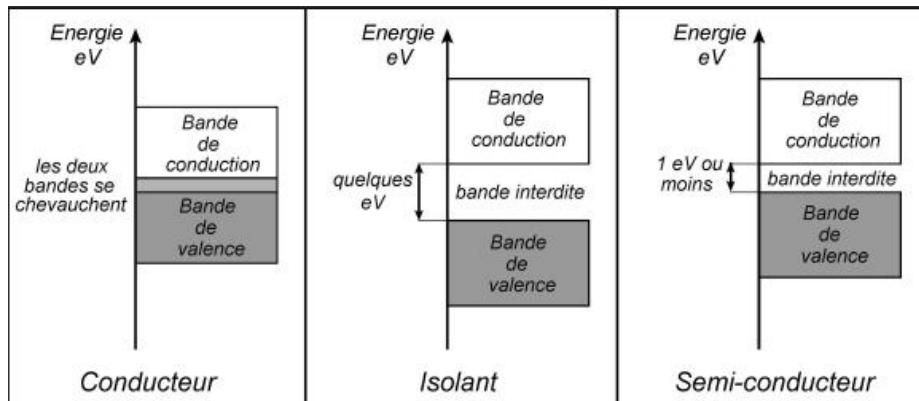


Figure 2-3 : Relation entre la largeur de la bande interdite et la conductivité des matériaux.

Les différentes bandes d'énergie sont divisées en trois types suivants :

- **Bande de Valence** : C'est la bande électrique la plus externe, en haute, remplie d'électrons (remplie : tous les états occupés) et assure la liaison covalente entre les atomes du réseau.
- **Bande de conduction** : est la bande suivante la plus haute à la bande de valence (vide ou partiellement rempli).
- **Écart d'énergie** : différence d'énergie entre les bandes de valence et de conduction, la bande interdite.

Dans un matériau conducteur, la bande de valence et la bande de conduction se confondent $E_g = 0$ eV par conséquent, les électrons peuvent circuler librement dans le matériau permettant ainsi le passage du courant.

Dans un matériau isolant, la largeur de la bande interdite est très élevée $E_g > 6$ eV les électrons des métaux restent donc liés aux atomes et ne peuvent pas se déplacer. Il faudrait beaucoup d'énergie aux électrons pour qu'ils puissent passer dans la bande de conduction.

Dans un matériau semi-conducteur comme le silicium, la largeur de la bande interdite est plus faible, de l'ordre de 0.5 à 2 ev. Les électrons ne peuvent franchir le gap que lorsqu'ils ont absorbé une énergie externe supérieure ou équivalant à la valeur du gap (figure 2-3).

Cette valeur seuil gap est propre à chaque matériau, en raison de la structure électronique différent de chaque type d'atomes : elle est de 1.1ev pour le silicium cristallin, et de 1.7 ev pour le silicium amorphe.

Tableau 2-1 : Energie de gap pour différents semi-conducteurs à T= 300 k. [1]

semi-conducteur	Energie de gap E_g (ev)
Germanium Ge	0.67
Silicium Si	1.12
Phosphure d'indium Inp	1.29
Arséniure de gallium GaAs	1.43
Tellure de cadmium CdTe	1.44
Sulfure de cadmium CdS	2.42

- Structure des semi-conducteurs

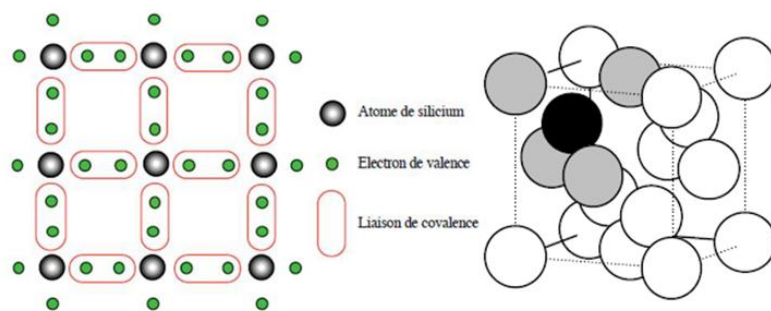


Figure 2-4 : Cristal de silicium, Diamant

La mise en commun des électrons périphériques, appelée liaison de covalence, assure la cohésion du cristal de silicium. Les électrons qui participent à ces liaisons sont fortement liés aux atomes de silicium. Il n'apparaît donc aucune charge mobile susceptible d'assurer la

circulation d'un courant électrique. Le silicium alors est un isolant, en et sa bande de valence est saturée (toutes les places sont occupées). Sa bande de conduction (qui ore cependant des places libres) est alors vide.

2.2.3 Ionisation thermique

Le cristal de silicium pur non excité à (0 K) on dit intrinsèque

Génération de paires électrons trous Lorsque la température augmente, l'agitation thermique désordonne la configuration figée Précédente à (0 K).

En et, les électrons qui possèdent une énergie positive supplémentaire, provoque la rupture de quelques liaisons de covalences.

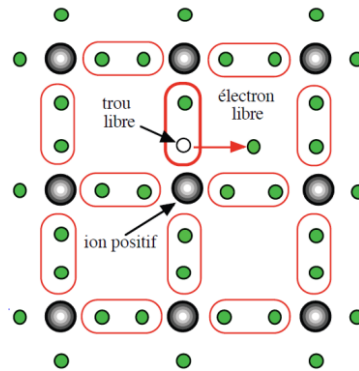


Figure 2-5 : Créations d'un pair électron sous l'effet de la température.

Supposons qu'un des électrons participant à une liaison de covalence acquière une énergie suffisante pour quitter l'atome auquel il était lié (figure 5).

Il devient alors un porteur libre, capable de se déplacer dans le cristal, autorisant ainsi la circulation d'un courant électrique sous une différence de potentiel. Le cristal devient alors un mauvais isolant d'où son appellation de Semi-conducteur.

Conséquences :

- La place vacante laissée par l'électron qui a quitté la bande de valence est devenue un trou.
- L'atome de silicium qui a perdu un électron n'est plus alors électriquement neutre : il est devenu un ion positif.
- Le phénomène d'ionisation thermique n'intéresse qu'un nombre très faible d'atomes de silicium, 3 sur 10^{13} à la température de 300 K (figure 2-5). [6]

Pour l'étude des semi-conducteurs basés sur le silicium Si, il importe de distinguer 02 bandes :

- La bande de valence :

C'est la bande énergétique des électrons qui assurent les liaisons covalentes (réalisées par les électrons de valence) entre les atomes du réseau. Pour le silicium, c'est la bande 3p, à la bande de valence, l'énergie inférieure à celle de la bande de conduction, est complètement remplie, tous les électrons de la dernière couche des atomes forment 4 liaisons covalentes avec leurs voisins.

- La bande de conduction :

C'est la bande d'énergie immédiatement supérieure à la bande de valence. Pour le silicium, c'est la bande 4s.

Comme les électrons recherchent toujours l'état de la plus basse énergie, au zéro absolu :

La bande de conduction de Si est vide, le matériel se comporte en isolant parfait (figure 2-4).

Des électrons ayant acquis un excès d'énergie par agitation thermique ou par impact d'un photon peuvent passer de la bande de valence à la bande de conduction et se déplacer à travers le réseau par sauts successifs d'un atome à l'autre.

La conductivité électrique augmente avec le nombre des électrons dans la bande de conduction.

Remarquons que le transfert d'électrons depuis la bande de valence vers la bande de conduction laisse évidemment des places vides dans la bande de valence. Ces trous correspondent en fait à des charges positives portées par les atomes déficitaires en électrons.

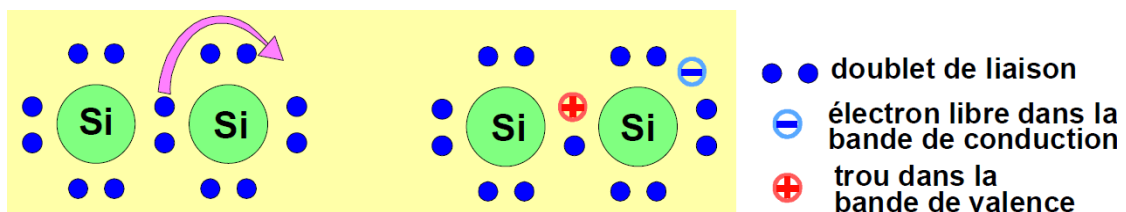


Figure 2-6 : Transferts d'un électron depuis la bande de valence vers la bande de conduction

Un trou peut être occupé par l'électron d'un atome voisin, ce qui entraîne en définitif la migration du trou d'un atome à l'autre. Ainsi une bande de valence partiellement dépeuplée devient conductrice par sauts de trous.

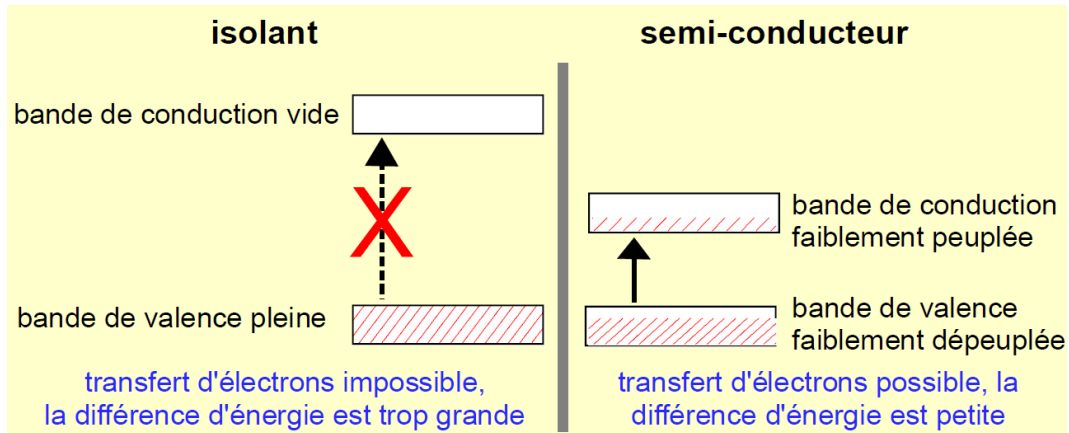


Figure 2-7 : Différence entre isolants et semi-conducteurs

La différence entre les isolants et les semi-conducteurs est donc purement quantitative. Dans la 2^{ème} période du tableau périodique, l'écart énergétique important entre la bande de valence 2p et la bande de conduction 3s fait du diamant un isolant. A partir de la 3^{ème} période, l'écart bien plus faible permet au silicium (3^{ème} période) de se comporter en semi-conducteurs (figure 2-7).

L'agitation thermique provoque le transfert d'électrons depuis la bande de valence à la bande de conduction, on comprend pourquoi les semi-conducteurs conduisent le courant électrique mieux à chaud.

2.2.4 Hauteur de bande interdite et génération de Paires électrons trous

Le paramètre essentiel qui caractérise le semi-conducteur est la quantité d'énergie minimale Nécessaire pour briser une liaison de covalence, ce qui revient dans le modèle des bandes d'énergie . À faire grimper un électron de l'un des niveaux de la bande de valence sur l'un des niveaux de la bande de conduction (figure 2-8 situations 1).

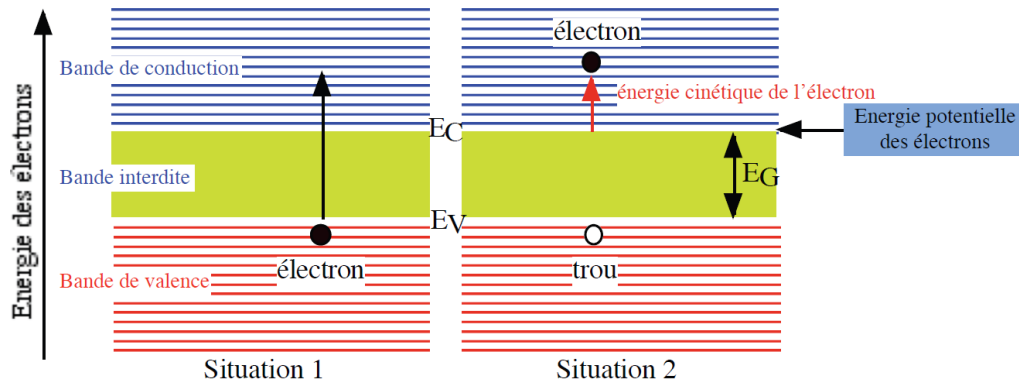


Figure 2-8 : Génération d'un pair électron trou.

Ainsi l'énergie minimale requise pour générer une paire électron-trou correspond à la hauteur de bande interdite E_g dont la valeur est indiquée dans le tableau suivant pour divers matériaux.

Tableau 2-2 : Générer une paire électron-trou correspond à E_g .

Semi-conducteur	$E_g(\text{eV})$ 300 k	$E_g(\text{eV})$ 0 k
Ge	0.66	0.75
Si	1.12	1.16

A une température déférente du zéro absolu. Un certain nombre d'électrons de valence acquiert assez d'énergie thermique pour rompre leurs liaisons et devenir des électrons libres. Ce gain d'énergie, qui doit être au moins égal à E_g , fait accéder les électrons à des places libres de la bande de conduction.

Corrélativement, ils laissent derrière eux de la place disponible vide (trous) dans la bande de valence (figure 2-8 situations 2).

La hauteur considérable de bande interdite du diamant (5.47 eV) en fait un parfait isolant. En et même aux températures élevées, il est impossible de faire passer des électrons de la bande de valence à la bande de conduction. L'oxyde de silicium SiO_2 matériau important pour la fabrication des circuits intégrés, avec une bande interdite de 9 eV, est lui aussi un isolant.

Remarque : les conducteurs métalliques ont une structure cristalline et à ce titre on leur associe un schéma de bandes. Celui-ci présente cependant une conjuration particulière telle que toutes les températures, il existe des électrons libres disponibles. Et, soit la bande de

conduction dispose toujours de places libres, soit il existe un chevauchement entre bande de valence et de conduction supprimant alors la bande interdite. [7]

2.2.5 Semi-conducteurs intrinsèques et semi-conducteurs extrinsèques

Les semi-conducteurs constitués des éléments silicium Si ou germanium Ge à l'état pur sont appelés semi-conducteurs intrinsèques (pur). Sur tout à froid, leur conductivité électrique est faible. et semi-conducteurs (dopé), en augmenter la conductivité électrique des semi-conducteurs, on ajoute par traces (environ 1 atome sur 1 million) des atomes d'un autre élément (le dopant) judicieusement choisi de manière à ce que ses atomes présentent par rapport à l'élément qui constitue le réseau (Si ou Ge) soit un électron en excès, soit un électron en défaut.

- semi-conducteurs dopés du type n (négatif) :

Soit le silicium dopé au phosphore pentavalent, par rapport au silicium, le phosphore présente un électron de valence excédentaire (figure 2-9.a). Un atome P remplace par un atome Si dans le réseau. Comme l'atome de phosphore ne peut former que 4 liaisons covalentes avec les 4 atomes voisins silicium, il abandonne l'électron excédentaire au réseau cristallin. L'atome de phosphore prend une charge positive (perte d'un électron) qui reste évidemment sur place, elle est due à l'excès d'un proton dans le noyau de P. [8]

Mais l'électron abandonné représente une charge négative mobile, car il doit passer dans la bande de conduction du silicium, la bande de valence étant pleine, le matériau est donc potentiellement donneur, le silicium ainsi dopé devient durablement conducteur par sauts d'électrons, c'est un semi-conducteur du type n (négatif).

Les principaux atomes d'impuretés pentavalentes utilisés dans le dopage n sont : As, P, Bi, Sb. [1]

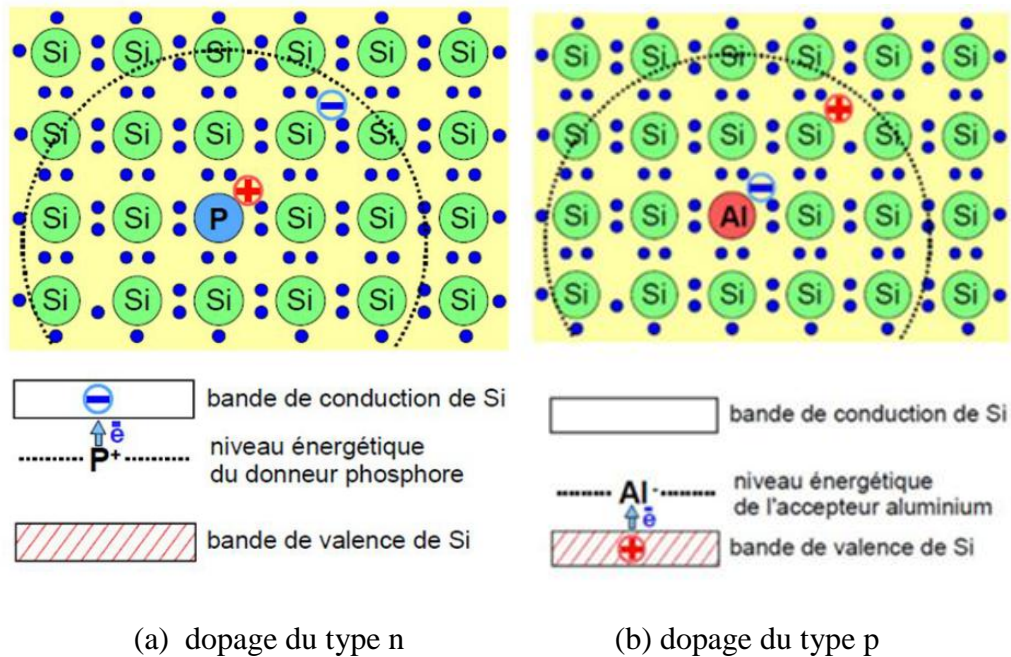


Figure 2-9 : Dopage des semi-conducteurs (silicium).

- semi-conducteurs dopés du type p (positif) :

Soit le silicium dopé à l'aluminium trivalent, par rapport au silicium, l'atome d'aluminium présente un électron de valence en défaut (figure 2-9.b). An que Al puisse s'intégrer dans le réseau et former quater liaisons covalentes avec ses quater atomes voisins Si, le réseau lui cède l'électron déficitaire à partir de la bande de valence de Si qui acquiert ainsi un trou. La charge négative que prend l'atome Al n'est pas mobile, car Al a besoin de cet électron supplémentaire pour assurer ses 4 liaisons. Mais la bande de valence du silicium se dépeuple durablement et devient conductrice par sauts de trous. La migration de trous étant assimilable à une migration de charges positives, nous obtenons un semi-conducteur du type p (positif). [8]

Les principaux atomes d'impuretés trivalentes utilisés dans le dopage n sont : Al, Ga, B.

- La jonction p-n

Maintenant, procédons à une étude qualitative de la jonction p-n.

Supposons que nous réalisons une jonction p-n en rassemblant deux régions : une région dopée de type n et l'autre région dopée de type p. Les deux régions sont électriquement neutres. Pour simplifier nous considérerons le dopage constant. Chaque région a un grand nombre de porteurs majoritaires (presque autant que les impuretés ou dopants ionisés) et un très petit nombre de porteurs minoritaires, de telle manière que la relation suivante se vérifie.

- La diode

Le diode est un dispositif électronique qui laisse passer le courant électrique dans un sens, mais bloque le courant dans l'autre sens.

La diode est formée par l'union de deux semi-conducteurs l'un dopé de type p et l'autre dopé de type n, par une zone de contact s'appelle jonction.

Lorsque le pôle positif d'une source de courant est relié au semi-conducteur p et le pôle négatif de la source est relié au semi-conducteur n, les porteurs de charges (électrons et trous) migrent dans les deux types de semi-conducteurs vers la jonction. Au niveau de la jonction, les électrons se combinent aux trous : le courant électrique donc passe (figure 2-10.a).

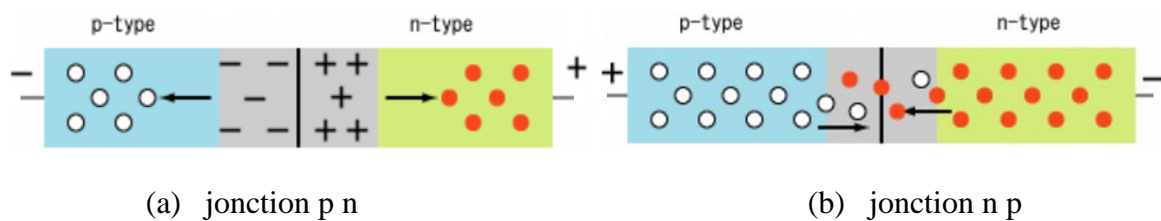


Figure 2-10 : Schéma d'une diode.

Lorsque la source de courant est reliée à la diode en sens inverse, les porteurs de charges s'éloignent des deux côtés de la jonction qui, alors dépeuplée de charges, devient non-conductrice : le passage du courant est bloqué (figure 2-10.b).

Dans les circuits électroniques, la diode est schématisée par le symbole d'une flèche. Ce qui traduit le sens du passage du sens conventionnel (de positif vers négatif) du courant électrique.

- Le transistor :

Le transistor est un dispositif qui permet de contrôler un courant d'intensité plus forte à l'aide d'un courant d'intensité plus faible. Il peut servir de commutateur ou d'amplificateur. On explique le fonctionnement sur l'exemple du transistor bipolaire dit (n p n).

Il est constitué d'une association de trois couches de semi-conducteurs dopés, à savoir :

- une couche du type n appelée émetteur (E)
- une couche du type p appelée base (B)
- une couche du type n appelée collecteur (C).

La couche p de la base est très mince par rapport à celles de l'autre. Elle forme avec les couches n de part et d'autre les deux jonctions J_{BE} et J_{BC} . (figure 2-11)

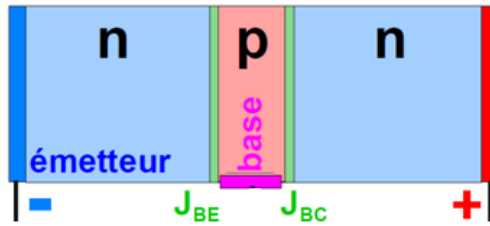


Figure 2-11 : Schéma d'un transistor

L'émetteur est relié au pôle négatif d'une source électrique, le collecteur au pôle positif. La base est portée à un potentiel positif par rapport à l'émetteur et négatif par rapport au collecteur.

- Avantage des semi-conducteurs dopés

Comme les niveaux énergétiques des éléments dopants se situent entre les bandes de valence et de conduction du silicium, le nombre des transitions d'électrons est bien plus important que dans les semi-conducteurs intrinsèques. Partant, la conductivité électrique des semi-conducteurs est supérieure à celle des semi-conducteurs intrinsèques.

Mais l'énorme avantage du dopage consiste en ce que l'on dispose maintenant de deux types de conducteurs différents, l'un conduisant le courant électrique par sauts d'électrons (charges négatives), l'autre par sauts de trous (charges positives).

Lorsque nous appliquons une source électrique aux deux types de conducteurs, la migration des porteurs de charges (électrons ou trous) se fait en sens inverse (figure 2-12).

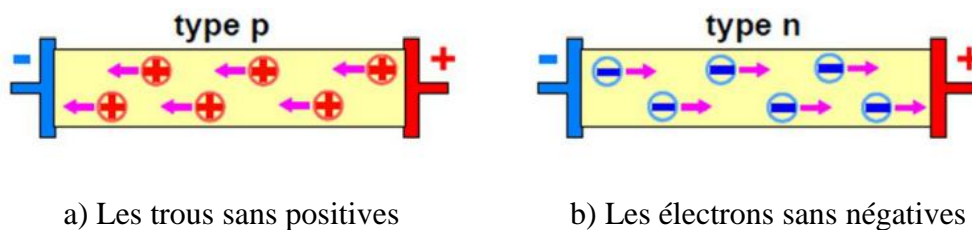


Figure 2-12 : Les charges de dopage.

Remarque :

C'est l'association des deux types de semi-conducteurs qui permet la réalisation des deux applications qui sont à la base de l'électronique moderne : la diode et le transistor.

2.3 La conversion photovoltaïque

2.3.1 Les cellules solaires

Les cellules photovoltaïques sont des composants Optoélectroniques qui transforment la lumière solaire en électricité par un processus appelé : effet photoélectrique.

Elles sont réalisées à base des matériaux semi-conducteurs, c'est à dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants.

La taille de chaque cellule va de quelques centimètres carrés jusqu' à 100 cm² ou plus sa forme est circulaire, carrée ou dérivée des deux géométries. [7]

- Fonctionnement de la cellule photovoltaïque :

Une cellule PV est formée d'une jonction p-n qui permet de séparer spatialement l'électron et le trou photo générés grâce à la variation du potentiel électrochimique au sein de la structure. Une paire électron-trou photo générée dans la zone de charge d'espace (ZCE) est immédiatement dissociée par le champ électrique : les trous sont déplacés vers la zone p et les électrons vers la zone N, (figure 2-13).

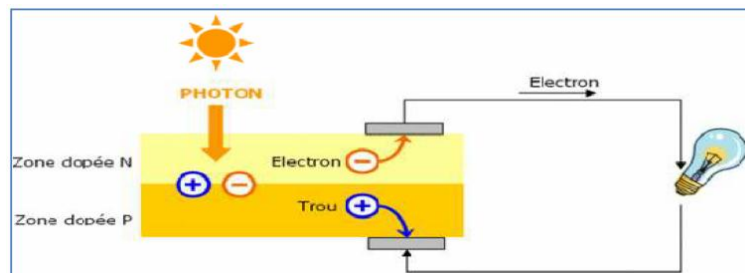


Figure 2-13 : L'effet photoélectrique

Dans les zones n ou p, les porteurs minoritaires photos générés diffusent et ceux qui atteignent la ZCE (dépendant de la longueur de diffusion LD de ces porteurs) sont propulsés vers la région dans laquelle ils deviennent majoritaires, où ils peuvent être collectés par les contacts ohmiques. On a une photo courant de diffusion. Ces deux contributions s'ajoutent pour donner le photo courant résultant I_{ph} . C'est un courant de porteurs minoritaires proportionnel à l'intensité lumineuse. Ce courant s'oppose au courant de diode, appelé courant d'obscurité I_{obs} , qui résulte de la polarisation du composant. Le courant résultant I est :

$$I = I_{ph} - I_{obs} \quad (2.1)$$

Avec :

$$I_{\text{obs}} = I_s \left(e^{\left(\frac{qV}{nkT}\right)} - 1 \right) \quad (2.2)$$

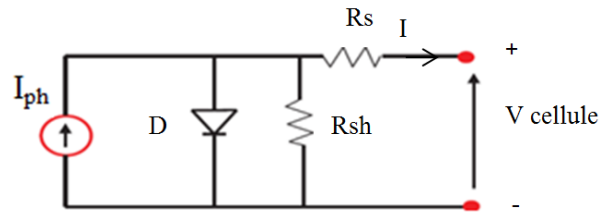


Figure 2-14 : Circuit équivalent à simple diode d'une cellule photovoltaïque.

La cellule PV peut se modéliser à partir de l'équation :

$$I = I_{\text{ph}} - I_s \left(e^{\left(\frac{qV}{nkT}\right)} - 1 \right) \quad (2.3)$$

Donc

$$I = I_{\text{ph}} - I_s \left(\exp^{\frac{V+R_s \times I}{n \times V_T}} - 1 \right) - \frac{V + R_s \times I}{R_{\text{sh}}} \quad (2.4)$$

$$\text{ou: } V_T = \frac{k.T}{q}$$

Avec :

I_s : courant de saturation en inverse de la diode (A).

V_T : potentiel thermodynamique (V).

K : constante de Boltzmann 1.380×10^{-23} (J/K).

T : température effective de la cellule (K).

q : charge absolue d'un électron 1.602×10^{-19} (C).

n : facteur de qualité de la diode (égal à 1 si la diode est idéale et égal à 2 si la diode est entièrement gouvernée par la génération / recombinaison).

I : courant fourni par la cellule (A).

V : tension aux bornes de la cellule (V).

I_{ph} : générateur du courant : il délivre le courant correspondant au courant photogène.

R_{sh} : résistance en shunt - parallèle - (Ω).

R_s : résistance en série (Ω). [7]

Remarque

Il existe plusieurs modèles des circuits équivalents, le plus fréquemment pour modéliser les cellules cristallines constituées d'une jonction p-n sont les circuits à une seule diode (figure 2-14) ou bien à deux diodes (figure 2-15). [9]

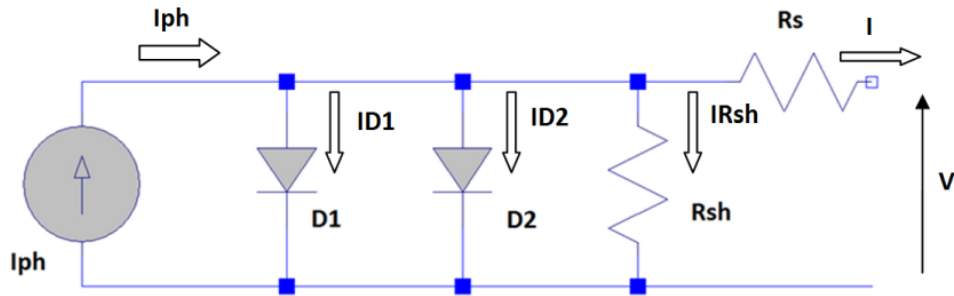


Figure 2-15 : Circuit équivalent à deux diodes d'une cellule photovoltaïque.

2.3.2 Le générateur PV :

Un générateur photovoltaïque ou module est constitué d'un ensemble des cellules photovoltaïque élémentaires montées en série et/ou parallèle pour d'obtenir le besoin des caractéristiques électriques, tels que la puissance, le courant de court-circuit ou la tension en circuit ouvert.

- Caractéristiques courant / tension :

Une cellule photovoltaïque est un générateur élémentaire d'énergie électrique.

La courbe de la Figure (2-16) représente la variation du courant qu'elle produit en fonction de la tension aux bornes de la cellule PV depuis le court-circuit (tension nulle correspondant au courant maximum ne produit) jusqu'au circuit ouvert (courant nul pour une tension maximale aux bornes de la cellule).

Cette courbe est établie dans des conditions ambiantes de fonctionnement données (répartition

du rayonnement donnée, cellule PV à une température donnée, air ambiant circulant à une vitesse donnée).

A température fixés, pour les deux régimes (sous obscurité et sous éclairnement) la caractéristique courant / tension d'une cellule a l'allure suivante :

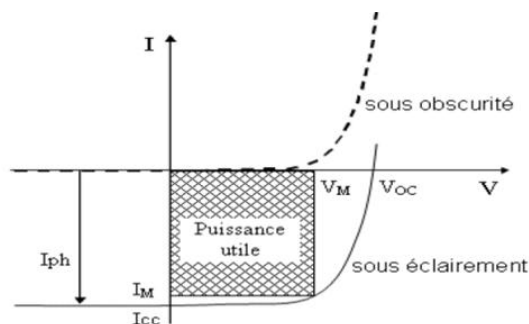


Figure 2-16 : Caractéristique d'une cellule PV à sous obscurité et sous éclairnement.

Cette caractéristique est décalée vers le bas d'un courant I_{cc} (courant de court-circuit). De même, elle coupe l'axe des abscisses en V_{oc} (tension maximale de circuit ouvert).

On a trois zones essentielles :

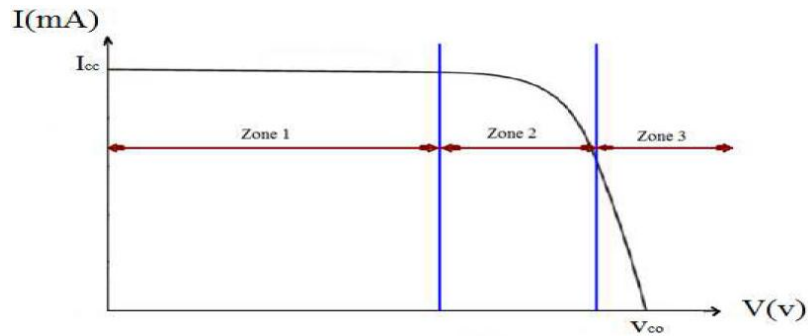


Figure 2-17 : différentes zones de caractéristique $I=f(V)$ d'une cellule photovoltaïque.

Zone 1 : où le courant reste constant quelle que soit la tension. Le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.

Zone 2 : correspondant au coude de la caractéristique. La région intermédiaire entre les deux zones précédentes, représente la région préférée pour le fonctionnement du générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.

Zone 3 : qui se distingue par une variation de courant correspondant à une tension presque constante. Dans ce cas, le générateur est assimilable à un générateur de tension.

- Courant de court-circuit (I_{cc})

Il s'agit du courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule. (En pratique, ce courant est très proche de la photo courant I_{ph}). [1]

Il augmente linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et dépend de la surface éclairée, de la longueur d'onde du rayonnement, de la mobilité des porteurs et de la température.

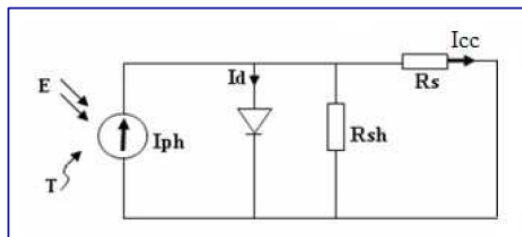


Figure 2-18 : Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque en court-circuit

$$I_{CC}(V = 0) = I_{ph} \quad (2.5)$$

- Tension à circuit ouvert (V_{co})

La tension à circuit ouvert est obtenue quand le courant qui traverse la cellule est nul. Elle dépend de la barrière d'énergie, et décroît avec la température. Elle varie peu avec l'intensité lumineuse.

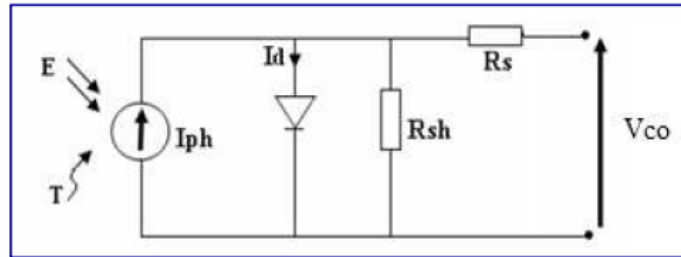


Figure 2-19 : Schéma électrique d'une cellule Photovoltaïque en circuit ouvert

$$I_{ph} - \left(e^{\frac{V_{co}}{V_T}} - 1 \right) - \frac{V_{co}}{R_{sh}} = 0 \quad (2.6)$$

$$V_{co} = V_T \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right) \quad (2.7)$$

- La résistance série R_s :

Caractérise les pertes par effets Joule de la résistance propre aux contacts entre les différentes régions constitutives de la cellule, à savoir l'émetteur, la base, les contacts métalliques, les grilles de collectes. L'influence de R_s sur les caractéristiques d'une cellule est très importante.

- La résistance shunt R_{sh} :

La résistance shunt (ou parallèle) caractérise les pertes par recombinaison dues aux épaisseurs des régions N et P et de la zone de charge et d'espace. R_{sh} est donc liée directement au processus de fabrication, l'existence de défaut de structures et aux états de surface. Elle traduit l'existence de shunts à travers l'émetteur également, connue sous le nom de résistance de court-circuit.

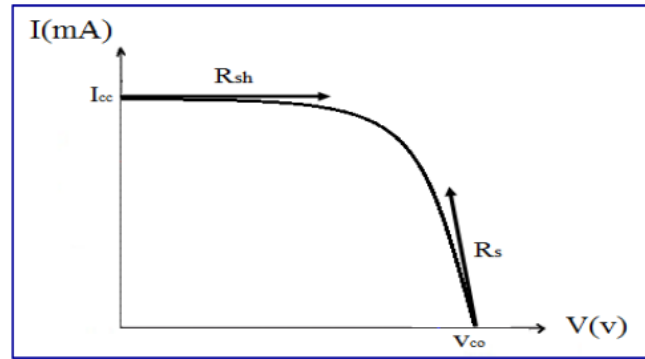


Figure 2-20 : Détermination graphique de résistance shunt Et série.

Donc :

On a différentes méthodes de détermination R_{sh} et R_s . La méthode la plus simple est la méthode graphique qui consiste à évaluer R_{sh} , R_s à partir de la pente de la caractéristique (I-V), au point de court-circuit pour R_{sh} , et au point de circuit-ouverte pour R_s .

$$R_{sh} = \left(\frac{\Delta V}{\Delta I} \right)_{I=I_{cc}} \quad (2.8)$$

$$R_s = \left(\frac{\Delta V}{\Delta I} \right)_{V=V_{co}} \quad (2.9)$$

- Influence de la température :

Ont présenté dans les figures 2-21 et 2-22 les caractéristiques I-V et P-V d'un module PV pour un niveau d'ensoleillement G donné et pour différentes températures :

Pour la figure (2-21) Nous remarquons que le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, on constate que la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance maximale du générateur subit une diminution lorsque la température augmente (figure 2-22). [7]

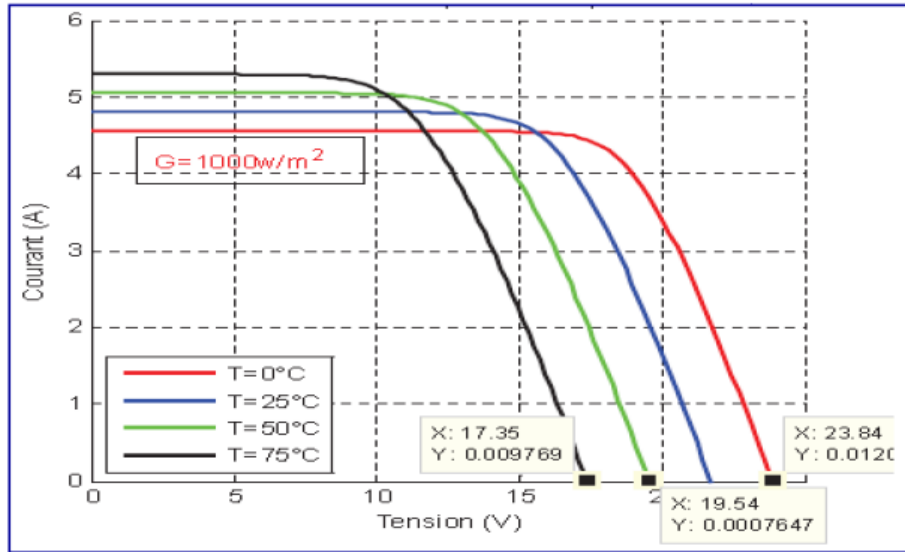


Figure 2-21 : Caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de température.

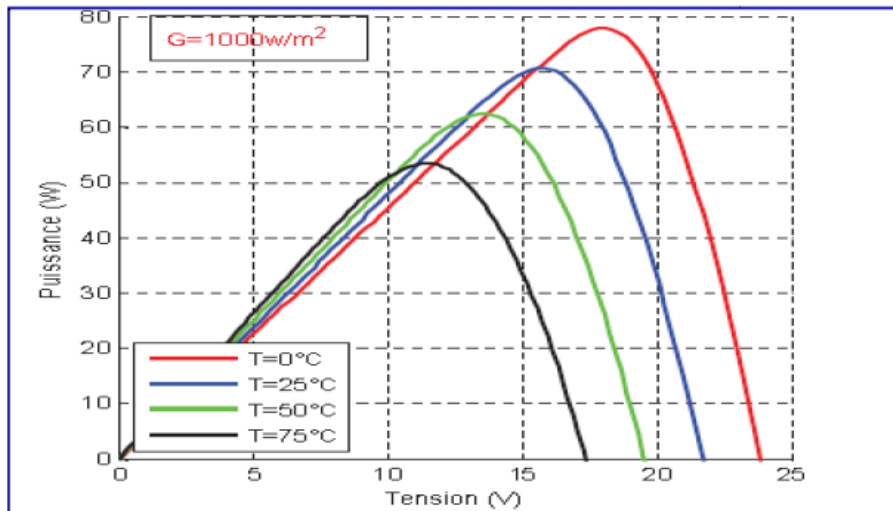


Figure 2-22 : Caractéristique de $P= f(V)$ en fonction de température

- Influence de l'éclairement

On fixe la température pour étudier des différents éclairagements.

Dans la figure 2-23 pour l'éclairement $G=1000 \text{ (W/m}^2\text{)}$ on a le courant $I_{sc} = 4.8\text{(A)}$ et pour $G=200 \text{ (W/m}^2\text{)}$ le courant $I_{sc} = 0.96 \text{ (A)}$, alors quand l'éclairement augmente le courant I_{sc} est augmenté par une variation importante, mais par contre la tension varie légèrement. Donc la puissance est augmenté, lorsque l'éclairement est augmenté (figure 2-24). [7]

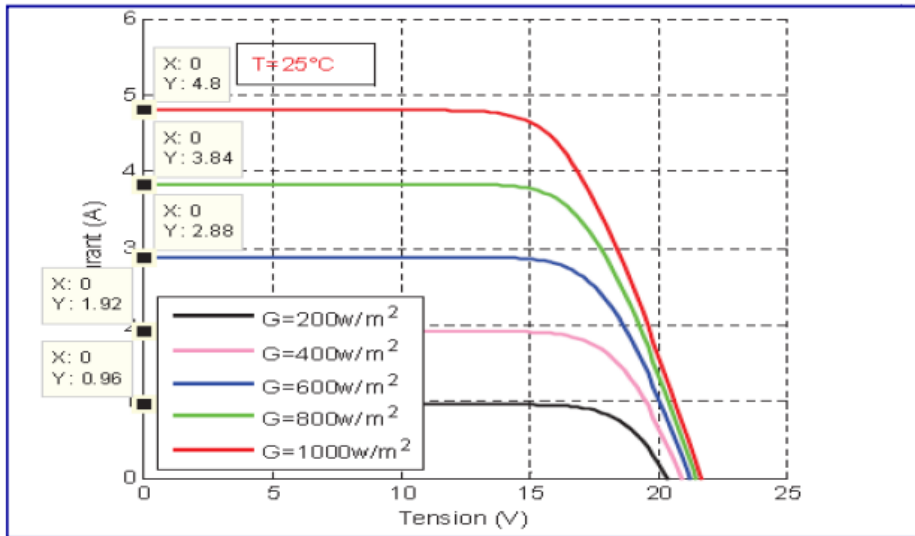


Figure 2-23 : Caractéristique $I=f(V)$ en fonction de l'éclairement.

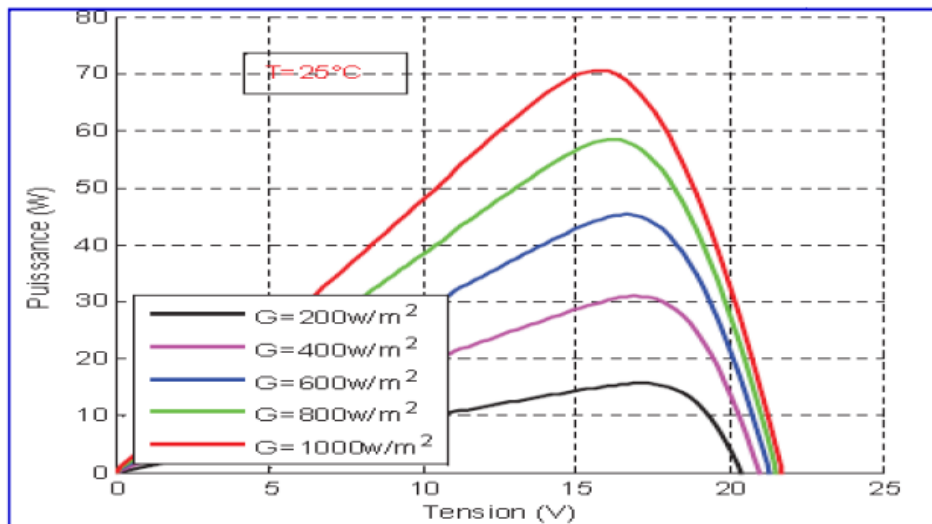


Figure 2-24 : Caractéristique $P=f(V)$ en fonction de l'éclairement.

- Connexion des cellules
 - En série :

Une association de (N_s) cellule en série (figure 2-25) permet d'augmenter la tension du générateur PV. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. L'équation (2-11) résume les caractéristique électriques d'une association série de (N_s) cellules.

$$V_{CONS} = N_s * V_{CO} \quad (2.10)$$

$$I_{CC} = I_C \quad (2.11)$$

Où

V_{CONS} : La somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série.

I_{CCNs} : Courant de court-circuit de N_s cellules en série.

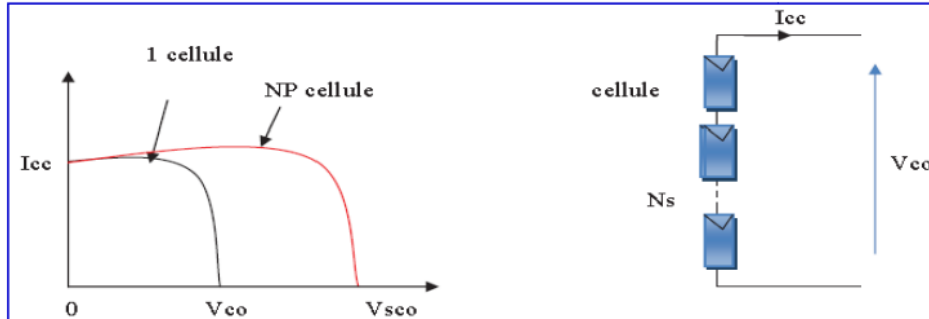


Figure 2-25 : Caractéristique courant tension de N_s cellule en série.

- en parallèle

Dans un groupement de cellules (N_p) identiques connectées en parallèle, (figure 2-26) est permet d'augmenter le courant de sortie du générateur. Les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants.

Avec :

$$I_{CCNP} = N_p \times I_{CC} \quad (2.12)$$

$$V_{CO} = V_{CONP} \quad (2.13)$$

I_{ccNp} : la somme des courants de cout circuit de (N_p) cellule en parallèle

V_{coNp} : tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle

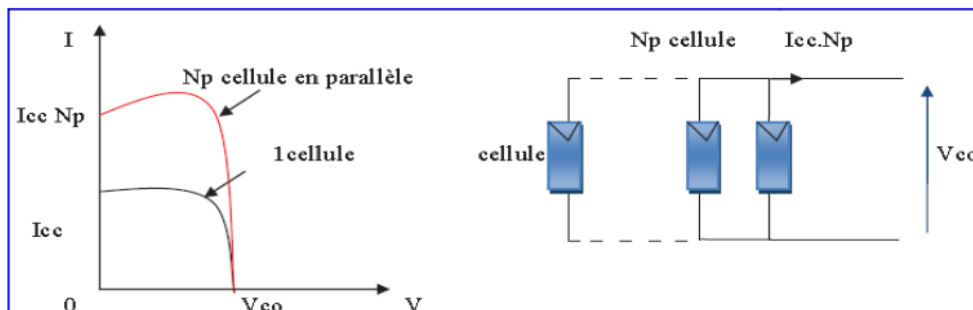


Figure 2-26 : Caractéristique courant tension de (N_p) cellule en parallèle.

- Caractéristiques puissance / tension

Cette courbe représente la variation de la puissance produit en fonction de la tension aux bornes de la cellule PV :

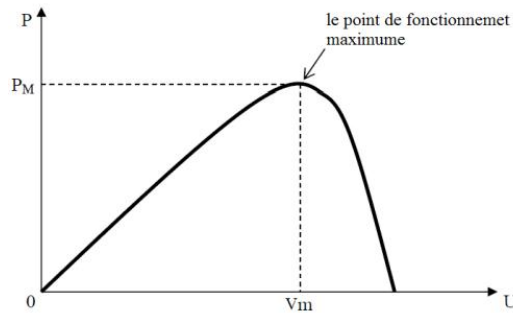


Figure 2-27 : $P = f(V)$ d'une cellule photovoltaïque.

Au point de puissance maximale correspond une tension V_m et un courant I_m que l'on peut aussi repérer sur la courbe $I = f(V)$.

- La puissance débitée

Dans des conditions ambiantes de fonctionnement fixes, la puissance électrique P disponible aux bornes d'une cellule PV est égale au produit du courant continu fourni (I) par une tension continue donnée (V).

$$P = VI = RI^2 \quad (2.14)$$

- La puissance crête

Représente la puissance électrique maximum délivrée dans les conditions standards (L'éclairement de 1000W/m^2 , la température de 25°C). L'unité de cette puissance est le Watt crête, noté W_c .

- La puissance max

Pour une cellule solaire, la puissance maximum P_{\max} correspondrait à la tension de circuit ouvert V_{CO} multipliée par le courant de court-circuit I_{CC} .

$$P_{\max} = V_{CO} * I_{CC} \quad (2.15)$$

- Facteur de forme « *Fill Factor* » (FF)

Le facteur de remplissage ou facteur de forme, appelé par sa dénomination anglaise correspond à la puissance maximum délivrée (ou La puissance maximum débitée) par la cellule, divisée par le produit ($V_{CO} \cdot I_{CC}$), correspondant à la puissance maximale idéale. Il détermine la qualité électrique de la cellule et il dépend directement de la résistance de

charge (résistance externe placée aux bornes de la cellule). Le nom "facteur de forme" dérive de la représentation graphique. Il est défini par la relation suivante . [10]

$$FF (\%) = \frac{P}{P_{\max}} * 100 = \frac{I * V}{I_{cc} * V_{co}} * 100 \quad (2.16)$$

- Rendement :

Le rendement de conversion est défini comme le rapport entre la puissance maximale P_{\max} produite par la cellule PV et la puissance du rayonnement solaire incident P_{inc} :

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{\text{inc}}} = \frac{P_{\max}}{E \times S} \quad (2.17)$$

E est l'éclairement incident (W/m^2).

S est la surface de ce module (m^2).

On mesure le rendement dans des conditions de référence, c'est à dire sous un éclairement normal de $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, à la température de 25°C et sous un spectre AM1.5 Ces conditions normalisées sont dites « STC » pour Standard Test Conditions.

Le rendement d'une cellule est très important car grâce à ce paramètre, différentes cellules peuvent être comparées.

- **La protection par diode de by-pass**

Pour protéger les panneaux de ce phénomène de hot spot connu depuis de nombreuses années, on installe en dérivation et en polarité inverse des diodes de by-pass (ou antiparallèle).

Si une cellule ou un groupe de cellule est ombragé, le courant passera par la diode de by-pass et on évite ainsi un échauffement trop intense de ces cellules. Généralement, une diode de by-pass est installée en parallèle à une branche de 18 cellules au silicium cristallin associées en série. Une cellule ombragée ne peut alors être polarisée que par 17 cellules au maximum. En fonctionnement normal, la diode de by-pass doit pouvoir être polarisée avec une tension inverse égale à la tension de travail du module (Figure 2-28). [9]

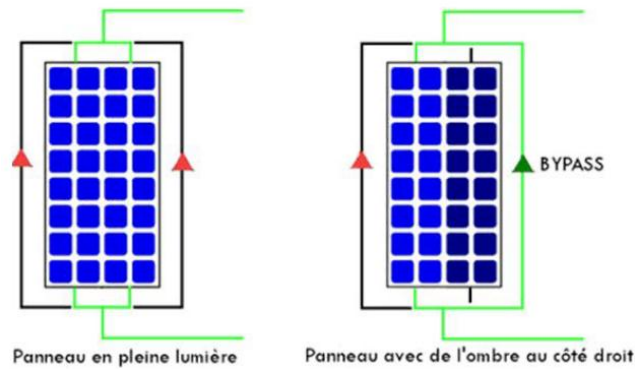


Figure 2-28 : Protection d'un module de 32 cellules associées en série par deux diodes de by-pass.

2.3.3 Le module PV

La fragilité des cellules à la brise et à la corrosion exige une protection envers leurs environnements. Généralement, elles sont encapsulées sous verre ou sous composé plastique (résine) pour former le module photovoltaïque.

La durée de vie d'un module PV est autour de 20 ans. Elle est normalement indiquée par le fabricant. [1]

Le module :

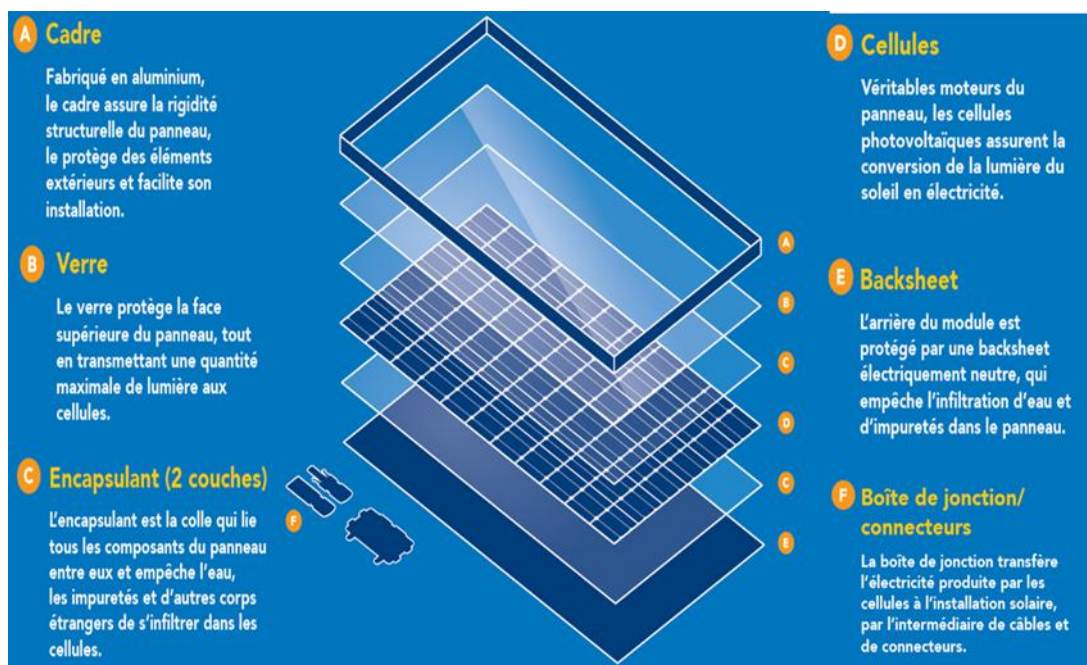


Figure 2-29 : Identification d'un module.

- Le cadre d'un module photovoltaïque est composé d'Aluminium. Son procédé d'assemblage peut varier selon les fabricants (emboîté, collé, riveté, ...)

- Le verre en face avant est aussi un composant essentiel. Il est d'épaisseur variable (entre 2.5 et 4mm), et c'est un verre securit qui ne se casse pas mais qui se brise (comme les pare brises de voiture). Il est également traité antireflet pour améliorer la captation du rayonnement solaire.
- L'EVA qui est une couche permettant l'encapsulation du module. C'est un polymère en acétate de vinyle.
- Les collecteurs et bus bars qui permettent de collecter l'énergie produite à travers la cellule. Ils sont en alliage de métaux conducteurs (cuivre, argent).

2.4 Différents type de technologies de cellules photovoltaïques

Il existe différentes technologies pour réaliser des cellules photovoltaïques dont les degrés de maturité, de performance et de durée de vie sont très différents. Deux grandes familles technologiques sont à distinguer :

2.4.1 Technologie à base de silicium cristallin (mono-ou multi cristallin)

Le Silicium est le matériau de base le plus utilisé pour la fabrication des panneaux photovoltaïques (90% de la production mondiale). Il existe en grande quantité dans la nature (25 % en masse de l'écorce terrestre) sous sa forme oxydée (dioxyde de silicium, nommé aussi silice) :

- Panneaux en silicium mono cristallin

Les cellules monocristallines sont les photopiles de la Première génération, elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal elles ont un rendement de 13 à 17 %, mais la méthode de Production est laborieuse.



Figure 2-30 : Image réel de panneaux en silicium mono cristallin.

- Panneaux en silicium poly cristallin

Les cellules poly-cristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vues de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux (tonalités différentes).

Elles ont un rendement de 12 à 14%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines.



Figure 2-31 : Image réel de panneaux en silicium poly-cristallin.

Tableau 2-3 : Caractéristiques des modules de technologie à base de silicium cristallin.

	Puissance maximal (W)	Tension à circuit ouvert (V)	Courant de court-circuit (A)
silicium mono cristallin	140 ± 5%	42.8	4.7
silicium poly cristallin	75 ± 5%	21.6	4.7

- Silicium en ruban

Il s'agit d'une variante récente dont l'intérêt principal est qu'elle évite les pertes de découpes des lingots. Le principe consiste à étirer directement le silicium fondu sous forme d'un ruban plan ou tubulaire. Par cette technologie, la consommation de silicium est divisée par deux (8g par Wc contre 16g par Wc) et le rendement est équivalent à celui multi cristallin.

Les deux procédés les plus utilisés sont la technologie ruban EFG (*Edge defined Film-fed Growth*) et le procédé *String Ribbon*. [1]

2.4.2 Technologie des couches minces (Poly c-Si, CdTe, CTS, GaAs, etc)

Les cellules minces sont fabriquées en déposant un ou plusieurs matériaux sous forme de « spray » sur un support de verre, de plastique, d'acier, etc.

La technologie des cellules en couches minces connaît actuellement un fort développement : sa part de marché est passée de 2 à 10 % en dix ans. Sa méthode de fabrication présente un coût de production moins élevé que celle du silicium cristallin pour un rendement relativement identique.

Les cellules en couches minces les plus répandues sont en silicium amorphe, composées de silicium projeté sur un matériel souple.

- Panneaux en silicium amorphe (a-Si)

Les modules photovoltaïques amorphes ont un coût de production bien plus bas, mais leur rendement n'est que 5 à 10% actuellement. Cette technologie permet d'utiliser des couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide.



Figure 2-32 : Image réel de panneau en silicium amorphe (a-Si).

- Couches minces poly cristallines

D'autres technologies commencent à être commercialisées et semblent être une alternative à la technologie cristalline : il s'agit de la technique de la couche mince pour d'autres matériaux que le silicium amorphe, tels que le tellure de cadmium (CdTe) et les alliages à base de cuivre, d'indium et de sélénium (CIS ou CIGS).

Leur rendement est plus élevé que celui des cellules amorphes tout en restant plus faible que celui des cellules en silicium cristallin.

Ils ont une excellente sensibilité à la faible luminosité et un faible coefficient de sensibilité à la température.



Figure 2-33 : Image réel de panneau en couches minces poly cristallines.

Tableau 2- 4 : Caractéristiques des modules de technologie des couches minces.

	Puissance maximal (W)	Tension à circuit ouvert (V)	Courant de court-circuit (A)
silicium amorphe (a-Si)	95	42.3	3.2
poly cristallines	40	23.3	2.68

D'autres technologies sont en cours d'expérimentation comme les cellules organiques, polymères ou à base de fullerènes. Leurs performances ne peuvent encore être observées que dans des conditions expérimentales : elles ne constituent que des solutions à long terme. [1]

2.4.3 Technologie des CPV

La technologie photovoltaïque à concentration (CPV), est une nouvelle technologie, et se base sur l'utilisation de cellules multi-jonctions à rendement très supérieur, avec des valeurs oscillant typiquement entre 30 et 40 %.

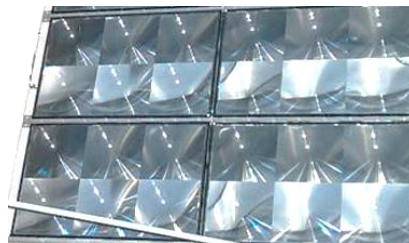


Figure 2-34 : Image réel de panneau CPV.

- Le principe CPV

La lumière du soleil est concentrée par des lentilles optiques sur une cellule.

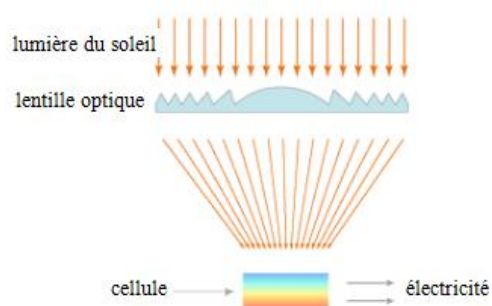


Figure 2-35 : Principe de module CPV.

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé les notions fondamentales des semi-conducteurs et montré comment on peut modifier les caractéristiques électriques de ces semi-conducteurs à partir des dopages, en suit identification en généralement le phénomène de conversion photovoltaïque et comment sa fonctionnée par les cellules PV .

Finalemnt, nous avons exposé les déférant technologie d'amélioration les cellules PV et son déférant types des panneaux.

Chapitre 3 : Dimensionnement d'un système de pompage solaire

3.1 Introduction

Aujourd'hui, la demande d'eau est très importante. Le problème se multiplie en particulier dans les zones rurales et les sites isolés où l'accès à l'énergie classique est difficile. Ce phénomène a fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des générateurs photovoltaïque comme est une nouvelle source d'énergie.

Le système de pompage solaire parmi des installations photovoltaïque autonome, est une solution plus pratique et économique pour le problème du manque d'eau, en particulier dans les régions désertique. En effet, un système photovoltaïque devient intéressant lorsqu'il est facile à installer avec une autonomie acceptable et une excellente fiabilité de service.

Dans ce chapitre on traite plus particulièrement les éléments nécessaires qui consistent une station de pompage solaire.

3.2 Dimensionnement d'un système de pompage solaire

3.2.1 Définition

Le dimensionnement d'un système de pompage solaire est une étude pour obtenir un système optimal, telle que :

- Les performances optimales, c'est-à-dire le rendement maximum.
- Optimisation de couts (prix optimal).
- Matérielle optimal (résistive ; survive), le taux de dégradation est faible dans le temps.

3.2.2 Les conditions d'installation d'un système de pompage solaire

Avant le faire une installation il faut respectée les conditions d'étude pour mener une installation de pompage solaire efficace :

- La disponibilité du potentiel solaire.

- La disponibilité de la ressource d'eau renouvelable. On utilise la nappe phréatique de hauteur moyenne statique à 50 m.
- L'absence de réseaux électrique dans le site d'installation.

3.2.3 Les données du puits sur site

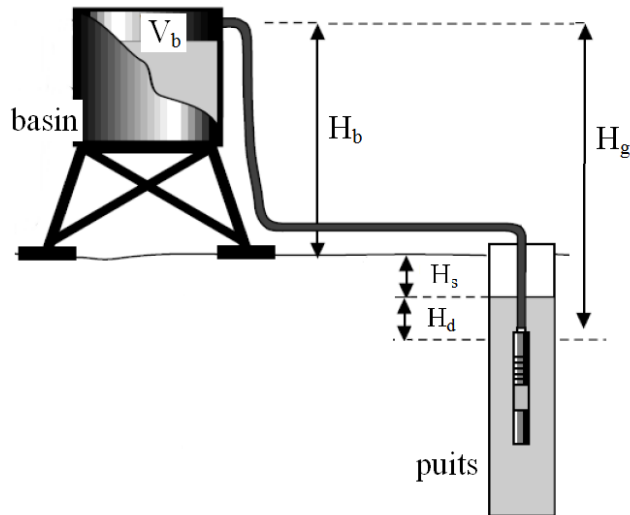


Figure 3-1 : Les paramètres hydrauliques sur le site de pompage.

H_s : hauteur statique est entre le sol et le niveau l'eau statique du puits.

H_d : hauteur dynamique est entre le niveau statique et le niveau dynamique du puits.

H_b : hauteur de bassin est haut niveau de bassin et le sol.

V_b : volume de bassin.

H_g : hauteur géométrique est entre le niveau dynamique et le haut niveau de bassin, telle que :

$$H_g = H_s + H_d + H_b \quad (3.1)$$

$V_{d \max}$: le volume maximum d'eau demandée par utilisateur, telle que : $V_{d \max} \leq V_b$.

HMT : hauteur d'élévation ou bien hauteur manométrique total en mètre, est la force qui permet le transport de l'eau dans la tuyauterie et son utilisation au point le plus élevé de l'installation. Alors :

$$HMT = H_g + P_{ch} \quad (3.2)$$

Où : P_{ch} représente les pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites. Ces pertes de charge correspondent au plus à 10 % de H_g c'est-à-dire $P_{ch} = 0,1 * H_g$. [11]

3.2.4 Les étapes de dimensionnement

- Calcul de l'énergie hydraulique journalière :

$$E_H = C_H \times V_{d \max} \times HMT \text{ [wh]} \quad (3.3)$$

Où C_H : représente la constante hydraulique

$$C_H = g \times \rho = \frac{9.81 \times 1000}{3600} = 2.725 \quad (3.4)$$

Avec : g est la constante de pesanteur et ρ est la masse volumique de l'eau.

- Calcule l'énergie électrique journalière :

$$E_e = \frac{E_H}{\eta_p} \text{ [wh]} \quad (3.5)$$

Où

η_p : le rendement de l'électropompe. Varié généralement entre 45% et 55%.

- Puissance crête :

$$P_C = \frac{E_e}{D_h(1 - \text{losses}\%)} \text{ [w]} \quad (3.6)$$

Où

D_h : est le nombre d'heure d'ensoleillement du mois le plus défavorable.

Losses % : Les pertes d'énergie produite due à la température et la poussière, sont estimées de 10% jusqu'à 15%.

P_C : est la puissance demandée au générateur.

Tableau3- 1: Le nombre d'heure d'ensoleillement du 21^{ème} jour de chaque moi.

Moi	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
D_h (h,min)	10,22	11,18	12,05	13,08	13,53	14,18	14,00	13,10	12,11	11,10	10,22	10,00

- Configuration d'un système de pompage solaire :

Le choix de matériel :

1/ la pompe : $P_p \leq 30 \% P_C$

$$P_p \leq 0.3 P_C$$

Où P_p : puissance de la pompe.

2/ module : nombre du module = P_c / P_m

Où P_c : puissance crête.

P_m : puissance crête du module.

3.3 Les méthodes d'un système de pompage solaire

3.3.1 Les méthodes

Il existe deux méthodes pour le pompage solaire.

- Pompage au fil du soleil (sans batterie) : Le pompage au fil du soleil permet d'avoir un système photovoltaïque simple, c'est-à-dire la pompe reliée directement au générateur PV. Il est fiable et moins coûteux. L'eau qui est pompée est stockée dans un réservoir, au fil du jour.
- Pompage avec stockage d'énergie (avec batterie) : c'est l'énergie électrique qui sera stockée dans des batteries. Le pompage sera possible même en absence du soleil. Ce système est plus coûteux.

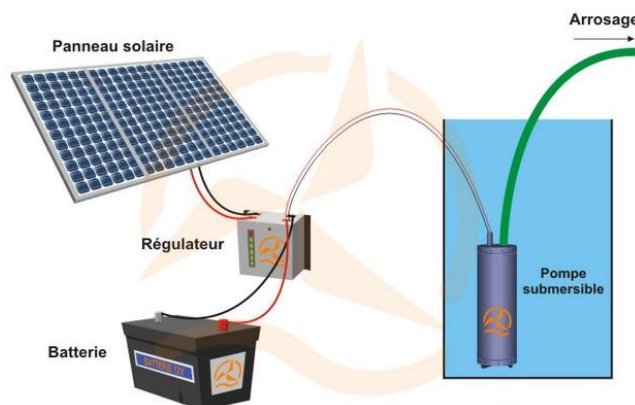


Figure 3-2 : Pompage avec stockage d'énergie électrique.

3.3.2 Les types

On a généralement 5 types de configurations :

- Groupe motopompe centrifuge submergé.
- Pompe immergée avec surface moteur monté.
- Pompe à déplacement positif alternatif.
- Groupes motopompes flottants.
- Pompes d'aspiration de surface.

3.4 Les composant d'un système pompage solaire

3.4.1 Le générateur photovoltaïque

Un générateur photovoltaïque est constitué d'un ensemble des modules montées en série et/ou parallèle, accessoires et d'une batterie d'accumulateur pour d'obtenir le besoin des caractéristiques électriques, tels que la puissance, le courant et la tension.

Généralement, un système solaire photovoltaïque comprend une batterie d'accumulateurs pour stocké l'énergie électrique produite à tout moment, avec un régulateur de charge-décharge protège la batterie contre les surcharges et décharges profondes.

La position optimale pour un générateur fixe incliné avec un angle égale à latitude du lieu et orienté vers le sud (Angle d'inclinaison).

3.4.2 Unité de conditionnement de puissance

a) Le MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Le MPPT est un contrôleur ou bien un régulateur mesure et comparé en permanence, la tension délivrée par le panneau avec celle du dispositif batterie.

Il calcule alors le niveau de puissance maximum donc le panneau peut délivrer à la batterie ou qui stocké l'énergie électrique. [12]

b) Le Convertisseur

Réglage et variation la fréquence et la tension de sortie en fonction de la puissance disponible du générateur solaire.

- Convertisseur DC-DC (hacheur)

Hacheur est dispositif qui converti le courant continu vers le même type de courant. On utilisé dans le cas d'une pompe montée à un moteur à courant continu.

- Convertisseur DC-AC (onduleur)

Onduleur est un dispositif qui converti le courant continu en courant alternatif. Utilisé à un système si la pompe montée à un moteur à courant continu.

3.4.3 Les motopompes

La classification des motopompes peut se faire selon trois critères. [13]

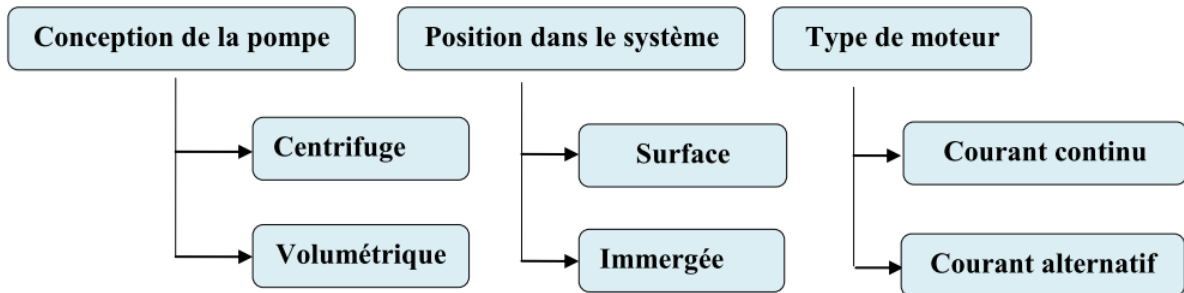


Figure 3-3 : Classification des motopompes.

a) Moteur

Les moteurs sont des machines électrique à courant continu ou à courant alternatif mono ou triphasé, utilisés pour générer et tourner la pompe.

Il est supporté la puissance crête du générateur photovoltaïque.

b) La Pompe

Les pompes sont des machines motrices trais important actuellement. Ils sont augmentés la pression ou le début du fluide. A notre objet le choisies selon la hauteur manométrique totale du puits (HMT). Ainsi qu'un volume demandé (V_d).

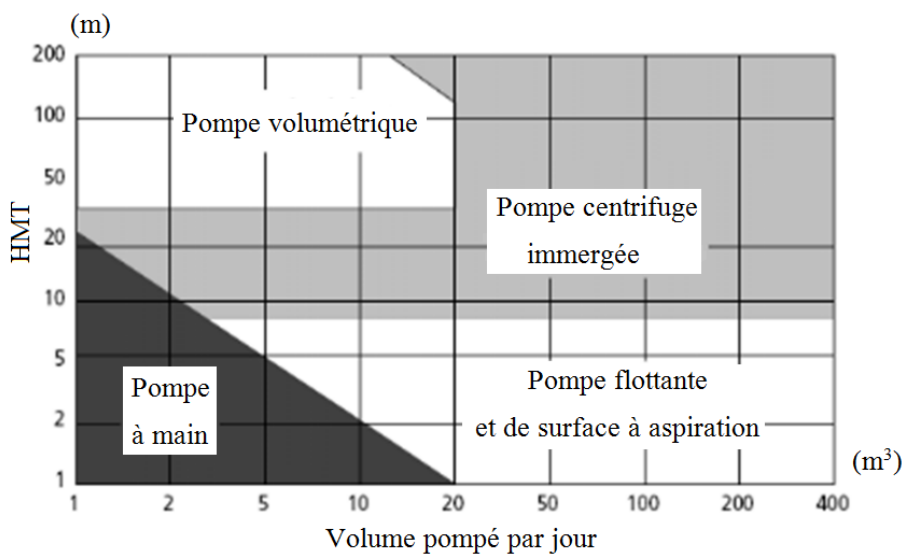


Figure 3-4 : Classification des pompes selon la HMT et le débit demandé. [14]

Il existe différentes pompes qui peuvent se classer en deux grandes familles :

- Pompe centrifuge :

La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou d'ailettes. L'eau entre au centre de la pompe et est poussée vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages. On utilise les pompes centrifuges pour les gros débits et les profondeurs moyennes ou faibles (10 à 100 mètres). Ces machines comprennent donc :

- un distributeur (arrivée du liquide)
- l'ouïe d'aspiration
- le corps de la pompe ou volute
- le refoulement qui va s'élargir
- l'ouïe de refoulement

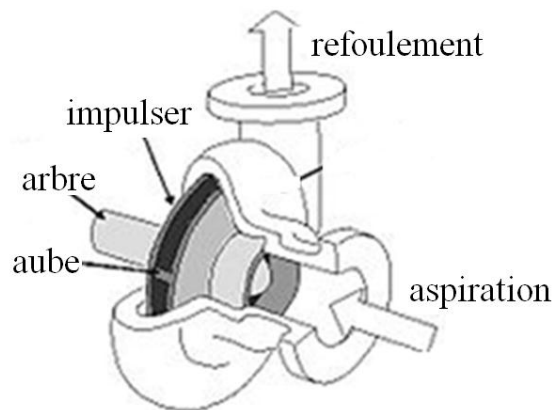


Figure 3-5 : Un coup de pompe centrifuge.

- pompe volumétrique

La pompe volumétrique transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va-et-vient permettant au fluide de vaincre la gravité par variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement. On utilisera pour augmenter la pression d'un fluide.

On distingue deux grands types de pompes volumétriques :

- Les pompes alternatives.
- Les pompes rotatives.

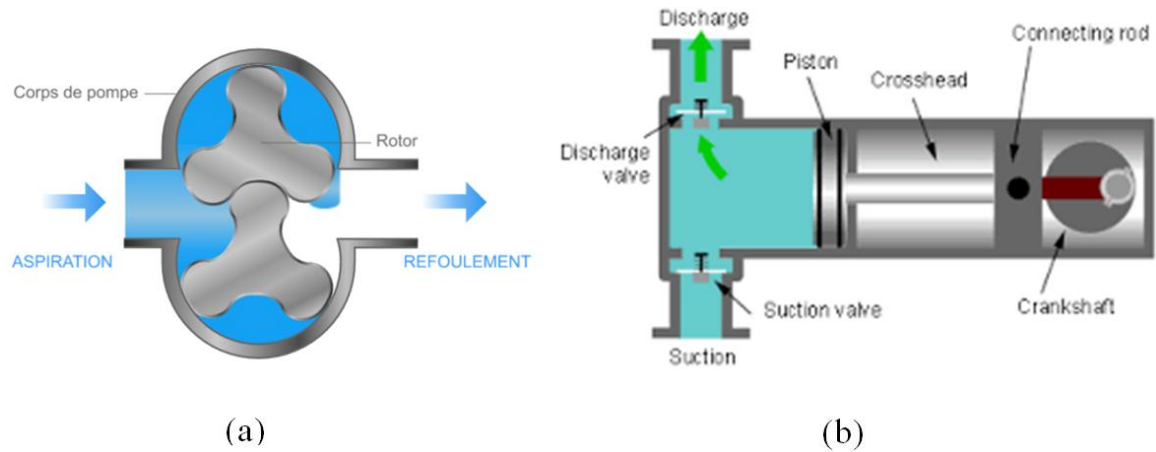


Figure 3- 6 : (a) Pompe rotative, (b) Pompe alternatif ou à piston.

3.4.4 Câblage électrique

Par lequel passe l'énergie du générateur au moteur, et les informations relatives aux contrôles de sécurité.

3.4.5 Canaux de pompage de l'eau

Qui conduit l'eau de sa source (puits), jusqu'aux points de distribution ou bien de stockage.

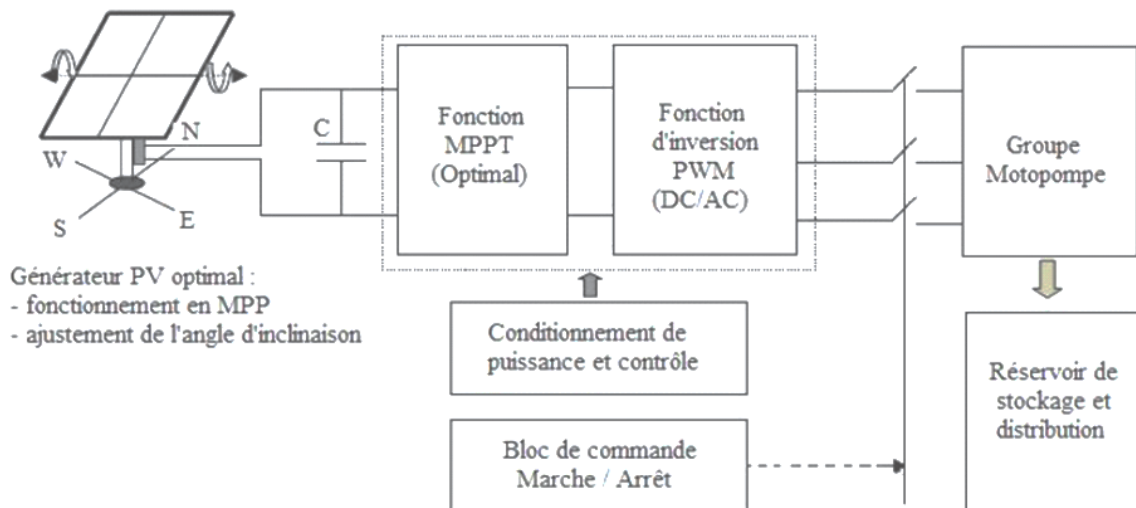


Figure 3-7 : Schéma type d'un système de pompage solaire photovoltaïque.

Chapitre 4 : Étude expérimental des différents systèmes de pompage solaire

4.1 Introduction

Finalement on fait l'étude expérimentale de différents systèmes. Le banc d'essai est une plateforme de caractérisation et d'étude de dimensionnement des systèmes de pompage solaire pour trouver les performances optimales.

4.2 Présentation d'URAER-GHARDAIA

4.2.1 Identification URAER

URAER est un centre de recherche et d'investissement scientifique dans le domaine des énergies nouvelles et renouvelables, elle est rattachée au centre de développement des énergies renouvelables (CDER), elle a été inaugurée en 1999 et est située dans la ville de Ghardaïa (600 km d'Alger) et à 1 kilomètre de l'aéroport, pour plus d'informations voir le site web.

4.2.2 Description de Banc d'essais

Le banc d'essais installé au niveau de l'URAER permet de tester et de caractériser différents types de systèmes de pompage solaire, il suit le groupe "Systèmes Energétiques pour l'Agriculture", est composé de deux parties :

- A l'extérieur :

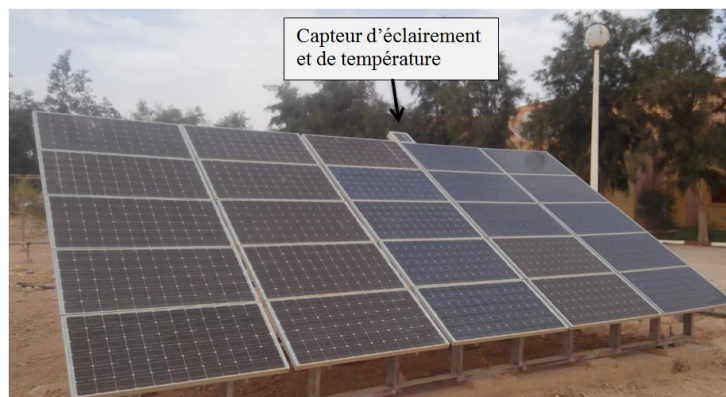


Figure 4-1 : photo du générateur photovoltaïque.

Ces modules du générateur est nommée ISOFOTON (110/24), avec de type de la technologie monocristallin des cellules, fabriquée en ESPAN.

- A l'intérieur :

1- Puits artificiel : Il se compose d'un réservoir d'eau à l'expérience de la pompe, et un canal d'eau d'un circuit fermé et plusieurs dispositifs de mesure.

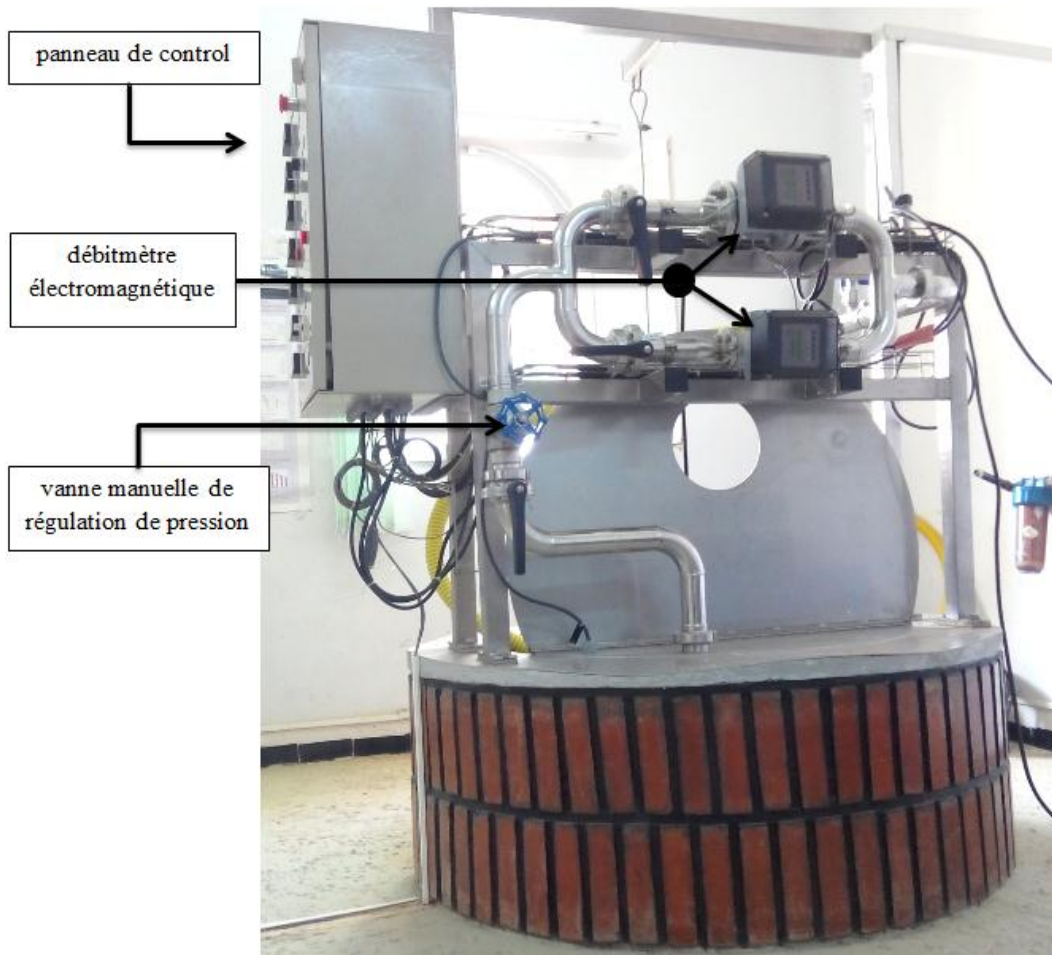


Figure 4-2 : Photo du Banc d'essais.

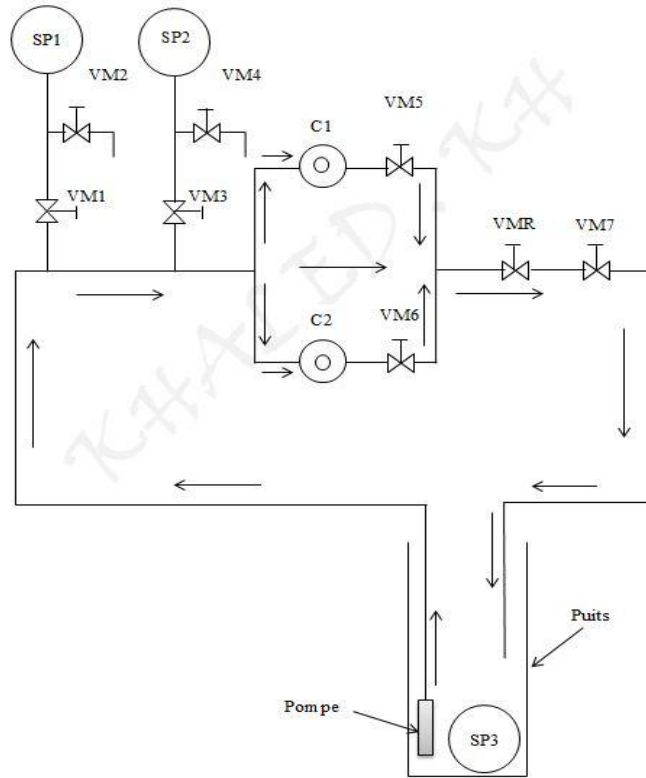


Figure 4-3 : circuit hydraulique du banc d'essais.

Ou :

VM1 : Vanne Manuelle 1/2"

VM2 : Vanne Manuelle 1/2"

VM3 : Vanne Manuelle 1/2"

VM4 : Vanne Manuelle 1/2"

VM5 : Vanne Manuelle DN50

VM6 : Vanne Manuelle DN50

VM7 : Vanne Manuelle DN50

VMR : Vanne Manuelle de Régulation de débit

SP1 : Capteur de Pression 0 - 160 m

SP2 : Capteur de Pression 0 - 10 m

SP3 : Sonde de Pression 0 - 2.50 m

C1 : Débitmètre électromagnétique 10.000 l/h

C2 : Débitmètre électromagnétique 2.5 00 l/h

2- Panneau de control : est armoire d'affichée et transféré les données vers l'unité d'acquisition.

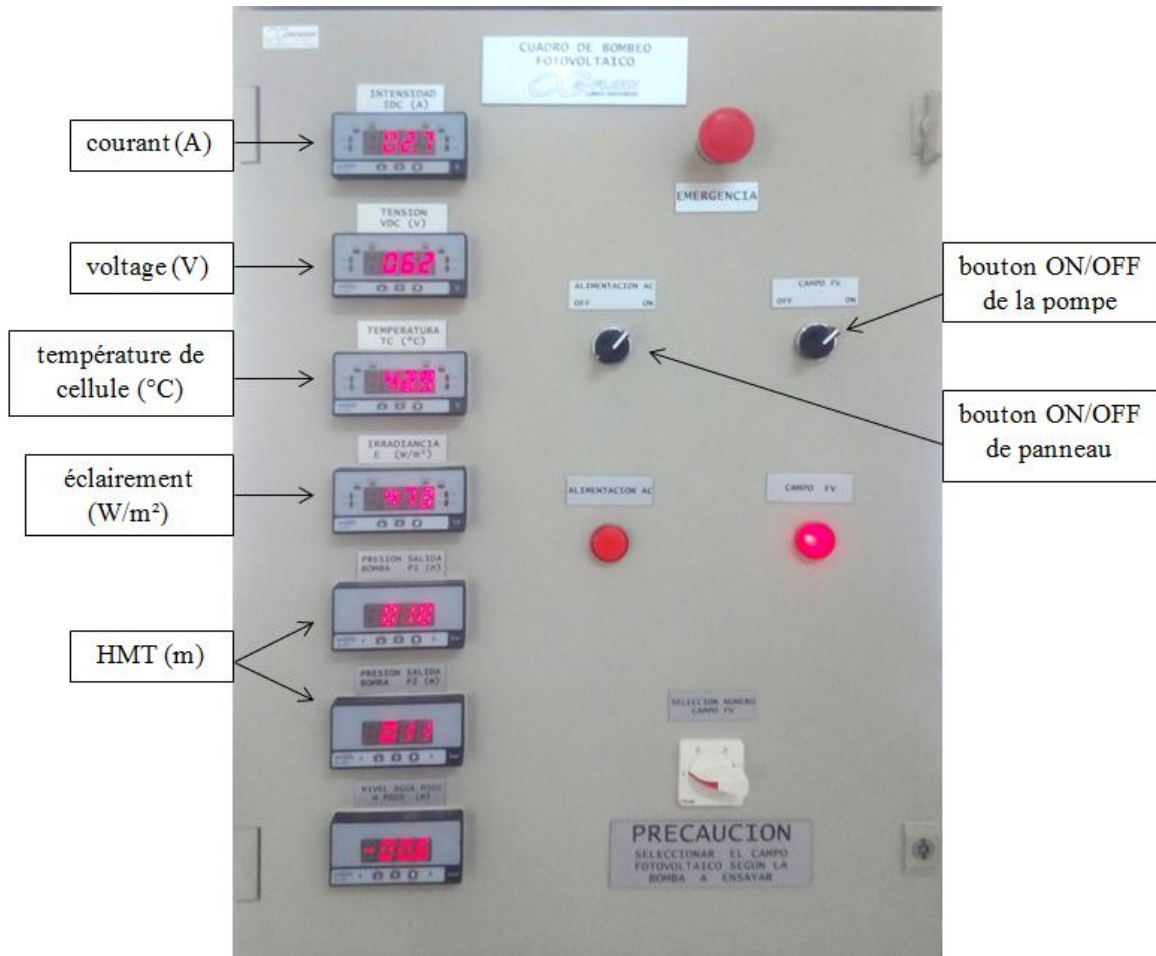


Figure 4-4 : Le panneau de control.

3- PC & unité d'acquisition : pour scannée et sauvegardée les données.

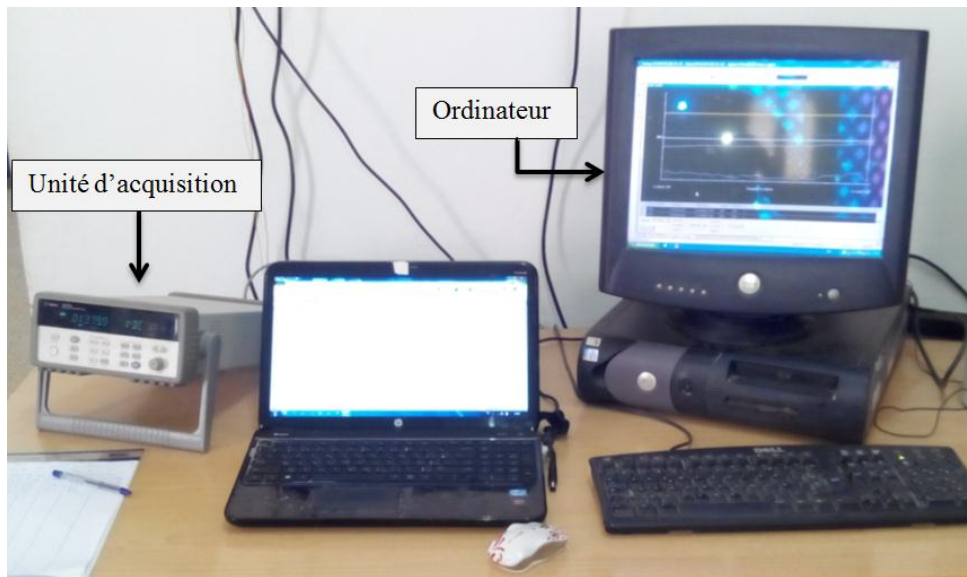


Figure 4-5 : Acquisition et stockage des données.

4.2.3 Les étapes de méthode d'essai

1. Configuré le générateur photovoltaïque selon le besoin d'un système.
2. Installé la motopompe dans le réservoir d'eau.
3. Connexion de la motopompe au générateur PV.
4. Allumer le tableau de control, l'unité d'acquisition, l'ordinateur et la motopompe.
5. En fixée et en réglée à tout moment la hauteur manométrique totale à la valeur choisie par la vanne de régulation de pression.

Donc :

- Le système est fonctionnée automatiquement c'est à dire est scannée les valeurs à chaque 10s donc est bien précisée, en parallèlement notez les valeurs à chaque 10min manuellement.
- En fin d'essais nous traitée les donnée d'acquisition et manuelle par l'application de **EXCEL**, puis extrait les équations correspondances et les graphes et faire la commentassions et la comparaison.

4.3 Dimensionnement des déférant systèmes de pompage solaire

4.3.1 Système PVWPS1

- Surface : 1700 m²
- Localisation : Belghanem à Ghardaïa.
- Types d'agricultures : palmiers ; arbres fruitiers.
- Façon de pompage : pompage par pompe immergé connecté au réseau électrique.
- Façon d'irrigation : irrigation traditionnelle.

Tableau 4 - 1 : Dimension de puits et les valeurs d'énergie.

donnée	H _s (m)	H _d (m)	H _b (m)	H _g (m)	V _b (m ³)	V _{dMAX} (m ³)	HMT (m)	E _h (W/J)	E _e (J)	P _c (W)
valeur	12.0	5.0	0.5	17.5	8.0	6.5	20.0	355.0	789.0	250.0

Tableau 4 - 2 : Les valeurs de besoin d'eau demandé journalier de chaque moi.

Moi	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
V_d (m^3/j)	3.70	4.40	4.90	5.50	6.00	6.50	6.20	5.50	4.85	4.00	3.40	3.00

4.3.2 Système PVWPS2

- Surface : 105 m^2 .
- Localisation : Adrouche à Ghardaïa.
- Types d'agricultures : palmiers.
- Façon de pompage : pompage par pompe centrifuge connecté au réseau électrique.
- Façon d'irrigation : irrigation traditionnelle.

Tableau 4 - 3 : Dimension de puits et les valeurs d'énergie.

Donnée	H_s (m)	H_d (m)	H_b (m)	H_g (m)	V_b (m^3)	V_{dMAX} (m^3)	HMT (m)	E_h (W/J)	Eé (W/J)	P_c (W)
valeur	9.5	2.5	2.5	14.5	8.0	5.5	15.0	240.0	534.0	140.0

Tableau 4 - 4 : les valeurs de besoin d'eau demandé journalier de chaque moi.

Moi	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
V_d (m^3/j)	1.80	2.20	3.25	3.80	4.30	4.90	5.50	4.00	3.25	2.70	2.20	1.60

4.3.3 Système PVWPS3

- Surface : 2000 m^2 .
- Localisation : Touzeuz à Ghardaïa.

- Types d'agricultures : palmiers.
- Façon de pompage : pompage par pompe immergé connecté au réseau électrique avec la minuterie.
- Façon d'irrigation : irrigation gout à gout.

Tableau 4 - 5 : dimension de puits et les valeurs d'énergie.

donnée	H _s (m)	H _d (m)	H _b (m)	H _g (m)	V _b (m ³)	V _{dMAX} (m ³)	HMT (m)	E _h (W/J)	E _é (W/J)	P _c (W)
valeur	30.0	15.5	1.5	47.0	5.0	1.3	52.0	185.0	412.0	120

Tableau 4 - 6 : les valeurs de besoin d'eau demandé journalier de chaque moi.

Moi	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
V _d (m ³ /j)	0.45	0.70	0.90	1.00	1.20	1.30	1.30	1.20	0.90	0.70	0.50	0.40

4.4 Partie expérimentale

4.4.1 Système PVWPS1

- **La configuration :**

1. Le choix de la pompe et la configuration de générateur selon la puissance crête.

Tableau 4 - 7 : La caractéristique de la pompe et de module

	Type	Puissance nominal(W)	Voltage nominal (V)	Courant nominal (A)
Pompe	WATER MAX	300	64	7
PV module	ISOFOTON (110/24)	110	40	3.5



Figure 4-6 : image réel de pompe WATERMAX.

2. Calcul le nombre total du module N_T :

$$N_T = \frac{P_{N_{pompe}}}{P_{N_{modul}}} = \frac{300}{110} = 2.72 \quad (4.1)$$

alors: $N_T = 4 \text{ modul}$

3. La connexion du module :

- En série :

$$\frac{I_{N_{pompe}}}{I_{N_{module}}} = \frac{7}{3.5} = 2 \quad (4.2)$$

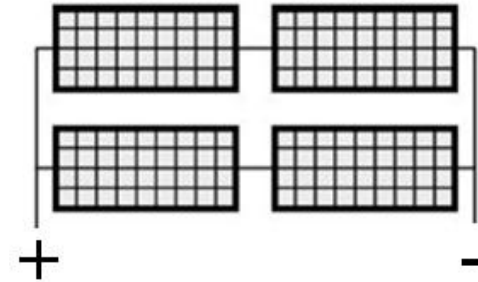


Figure 4-7 : le générateur 2*2.

- En parallèle :

$$\frac{V_{N_{pompe}}}{V_{N_{modul}}} = \frac{64}{40} = 1.6 \Rightarrow 2 \quad (4.3)$$

- Manipulation :

Essaie 1 : HMT = 10 m, de la journée 09/07/2018.

Le cumulée d'eau = 6.4 m³ [09:00 à 17:00].

- L'éclairement :

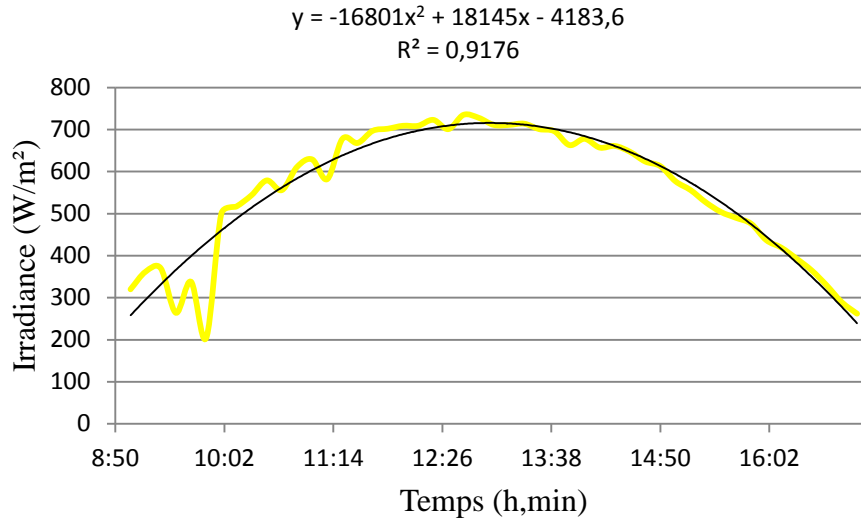


Figure 4-8 : le graphe d'irradiance par l'observation en fonction de temps.

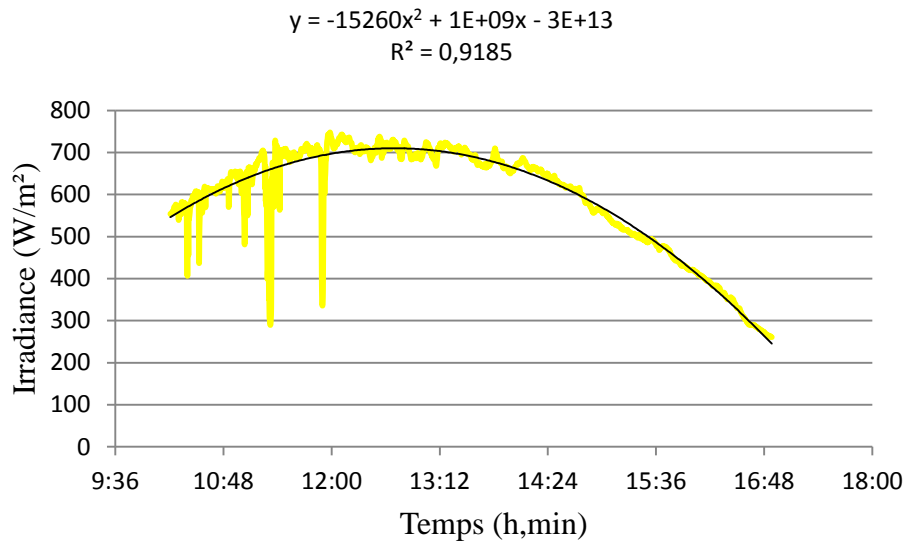


Figure 4-9 : le graphe d'irradiance par l'acquisition en fonction de temps.

- Les figures représenté la variation de l'éclairement par rapports au temps. Ils sont se forme d'équation de polynôme à l'ordre 2.
- La perturbation sur les graphes durant entre [9 :00 à 12 :00] a couse du nuage.

- Puissance et débit :

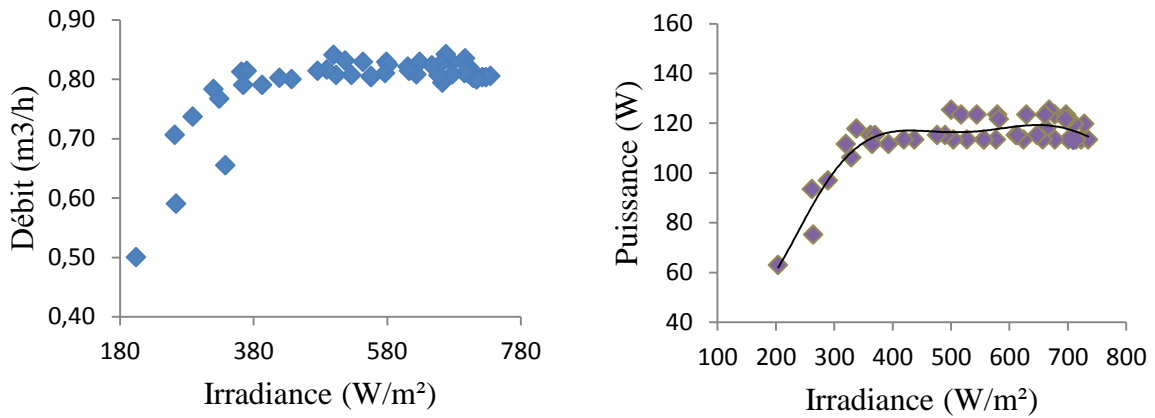


Figure 4-10 : Le débit et la puissance de la pompe par l'observation en fonction d'irradiance.

- Le changement de débit et la puissance par rapport de changement d'irradiance, dans ce cas sont presque stables car la variation d'irradiance est faible.

Essai 2 : HMT = 15 m, de la journée 10/07/2018.

Le cumulée d'eau = 6.6 m³ [08:50 à 17:00].

- L'éclairement ; la puissance ; débit et la température :

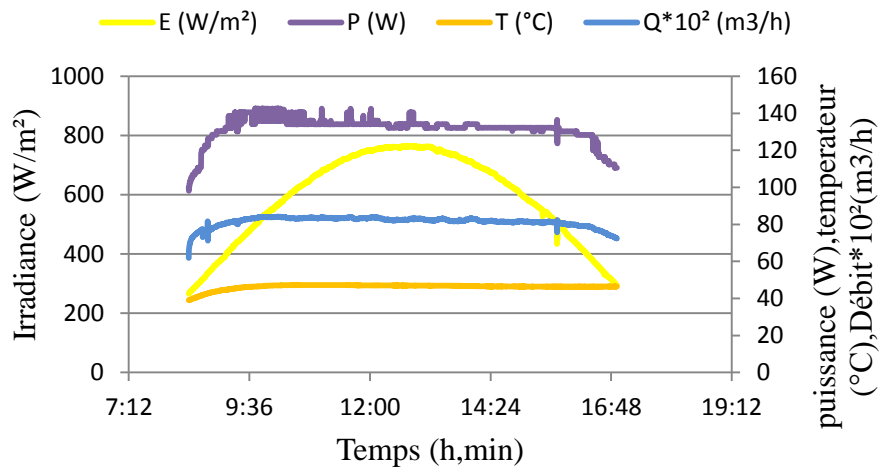


Figure 4-11 : L'irradiance, le débit, la puissance et la température par l'acquisition en fonction de temps.

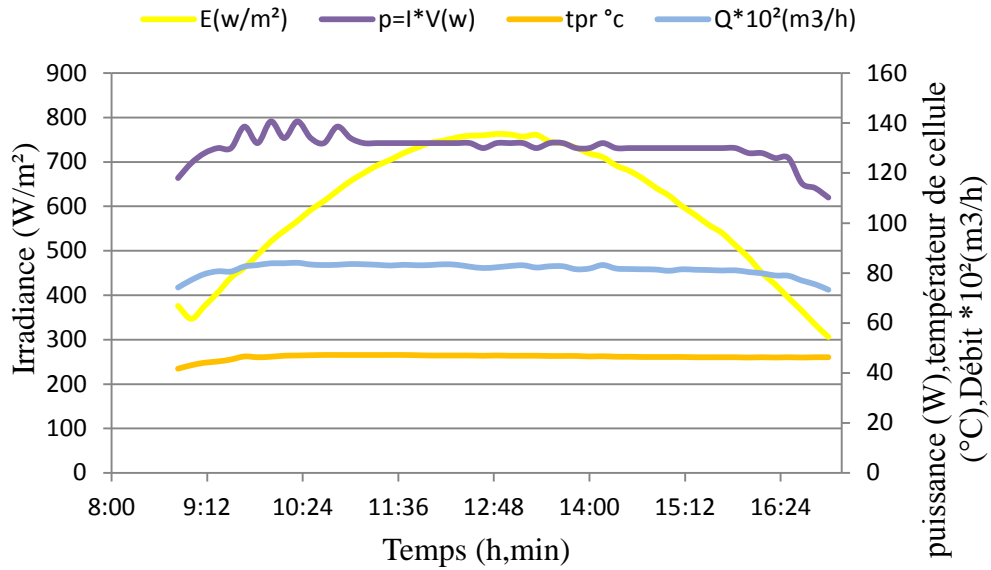


Figure 4-12 : L'irradiance le débit la puissance et la température par l'observation en fonction de temps.

- Les deux figures précédant sont presque les mêmes.
- Le graphe d'irradiance présenté une journée de ciel clair.
- La stabilité de puissance et le débit dépend de l'augmentation d'irradiance à supérieure de 350 (W/m²).
- Température de la cellule est en virent de 47 °C, donc elle influé sur le rendement de générateur.

Essaie 3 : HMT = 20 m, de la journée 11/07/2018.

Le cumulée d'eau = 6.3 m³ [09:00 à 17:00].

- L'éclairement ; la puissance ; débit et la température

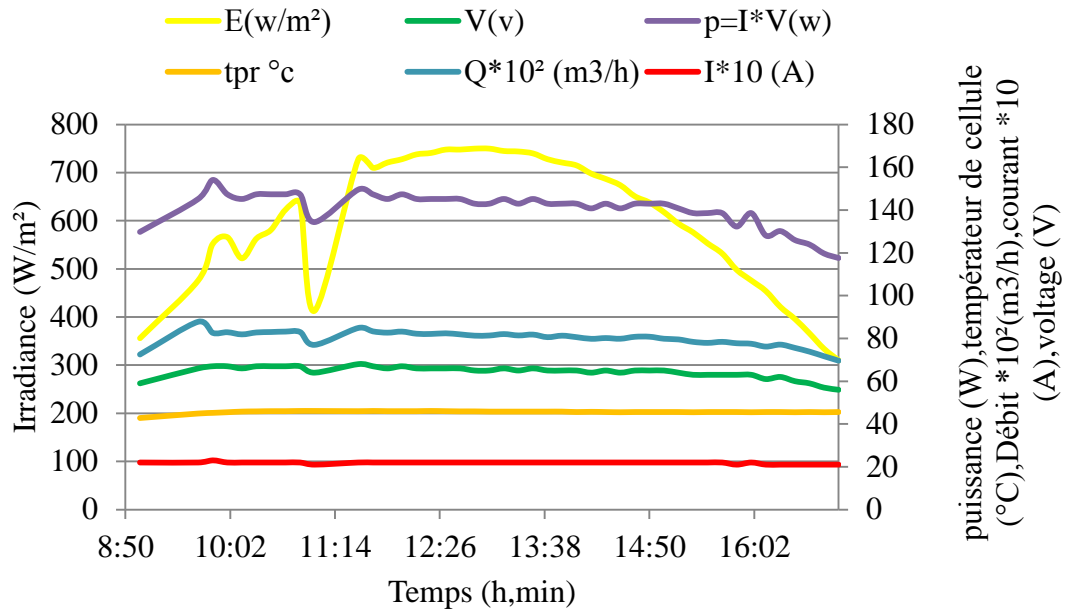


Figure 4-13 : L'irradiance, le débit, la puissance, la température, le courant et le voltage par l'observation en fonction de temps.

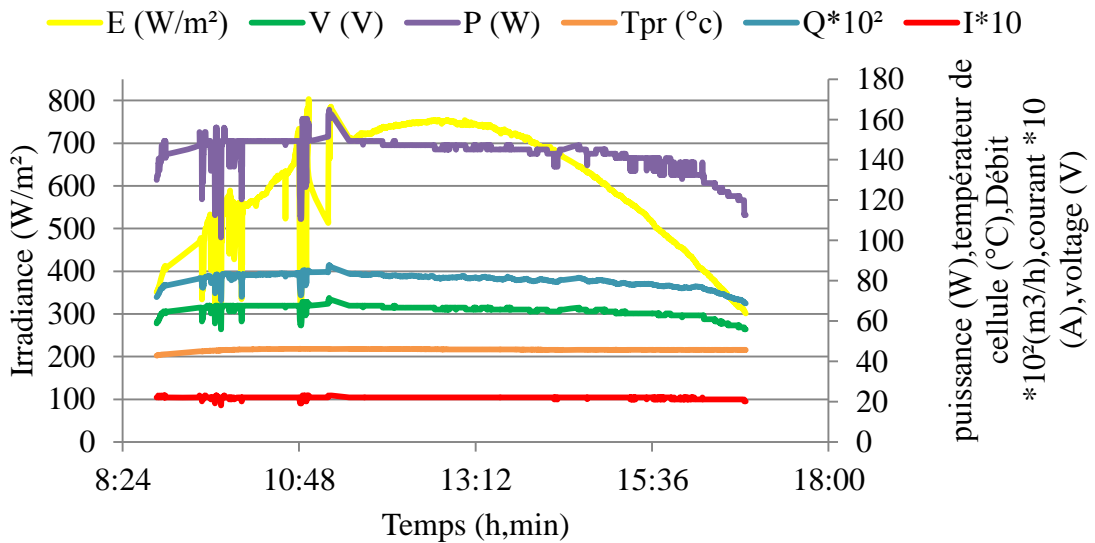


Figure 4-14 : variation des caractéristiques du système de pompage par l'acquisition.

- Les deux figures précédant sont presque les mêmes.
- Le graphe d'irradiance instable au début présenté une journée de ciel nuageuse.
- La stabilité de puissance et le débit dépend de augmentation d'irradiance à supérieure de 350 (W/m²).

- Température de la cellule est en virent de 47 °C, donc elle baissé et influé sur le rendement de générateur.
 - Le courant est stable à 2.2 (A) à la majorité du temps, mais il est faible, donc il est influé sur la puissance.
 - Le voltage moyen égal 65 (V), donc il est raisonnable.
- La comparaisent entre les essaies

Tableau 4 - 8 : quel que valeur d'acquisition de comparaison entre les essaies.

	HMT (m)	E (W/m ²)			Tpr (°C)			FF%			P (W)			Q (m ³ /h)			η _{p (pompe)} Moy [%]
		Ma _x	Mo _y	Min	Ma _x	Mo _y	Min	Max	Moy	Min	Ma _x	Mo _y	Min	Ma _x	Moy	Min	
Essaie 1	10	748	594	262	53.0	51.0	48.0	29.04	26.75	21.47	128	118	94	0.84	0.78	0.41	39.23
Essaie 2	15	765	601	299	47.2	46.5	41.7	32.40	30.10	25.13	143	132	111	0.84	0,82	0.73	44.15
Essaie 3	20	804	610	301	46.2	45.8	42.9	37.47	32.53	25.59	165	143	113	0.90	0.80	0.70	43.89

- Nous remarquons que le débit est bien tel que l'irradiance est grand avec la température est diminué, comme la 3^{ème} essaie.
- Le facteur de forme (FF) est varié positivement avec l'irradiance, et négatif ment avec la température.

Tableau 4 - 9 : Comparaison quelque donnée des essaies tell que l'irradiance est fixe.

	HMT (m)	E (W/m ²)	Tpr(°C)	FF%	P (W)	Q (m3/h)
Essaie 1	10	748	51.00	26.36	116	0.80
Essaie 2	15	748	47.00	30.48	134	0.83
Essaie 3	20	748	46.20	34.42	151	0.80

L'augmentation de HMT implique l'augmentation de la puissance absorbée de la pompe.

4.4.2 Système PVWPS2

- Le choix de la pompe et le module pour la configuration les essais suivant.

Tableau 4 - 10 : La caractéristique de la pompe et le module

	Type	Puissance nominal(W)	Voltage nominal (V)	Courant nominal (A)
Pompe	SHURFLO (120W)	100	24	4
PV module	ISOFOTON (110/24)	110	40	3.5



Figure 4-15 : image réel de pompe SHURFLO.

- Manipulation :

Essaie 1 :

Le générateur se forme 2*2, sous les caractérisations électrique suivant : $P_N = 440 \text{ W}$, $I_N = 7\text{A}$, $V_N = 80\text{V}$.

- HMT = 10 m, de la journée 12/07/2018.

Le cumulée d'eau = 4.9 m^3 [09:30 à 13:30].

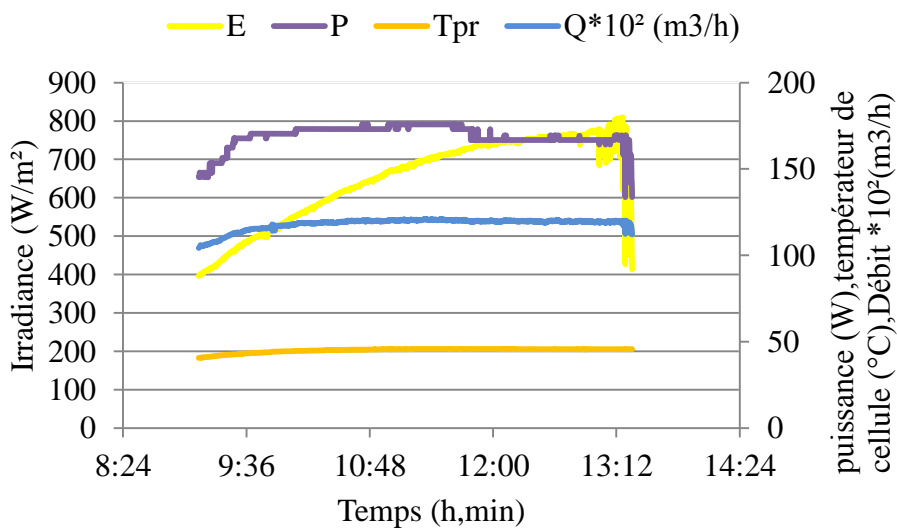


Figure 4-16 : variation des caractéristiques du système de pompage par l'acquisition.

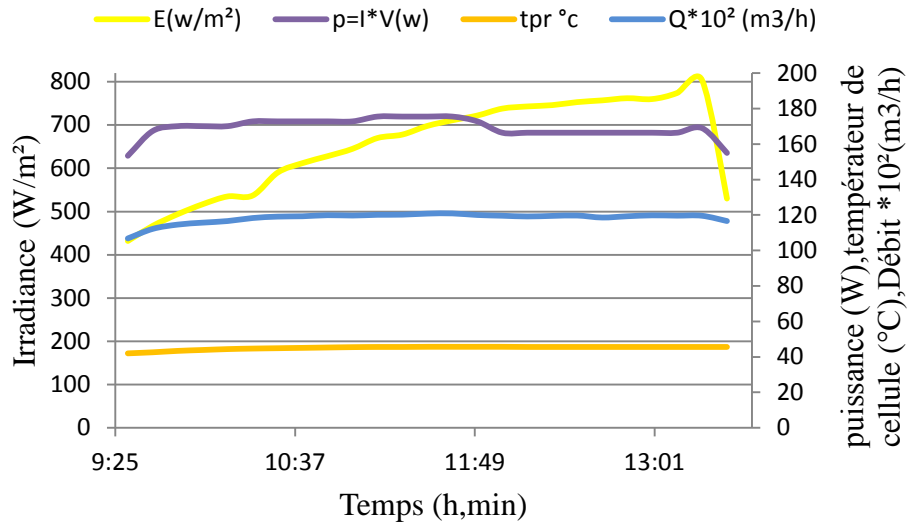


Figure 4-17 : L'irradiance, le débit, la puissance, et la température, par l'observation en fonction de temps.

- Les deux figures sont les mêmes.
- L'irradiance représente une belle journée.
- On observée une grande puissance 170 (W), que de la pompe 100 (W).
- Le débit est grande 1.21 (m3 /h) à cous de la puissance de générateur.

Essaie 2 :

Le générateur se forme 1*2 c'est à dire deux panneau en série figure (4-19), sous les caractérisations électrique suivant : $P_N = 220 \text{ W}$, $I_N = 3.5\text{A}$, $V_N = 80\text{V}$

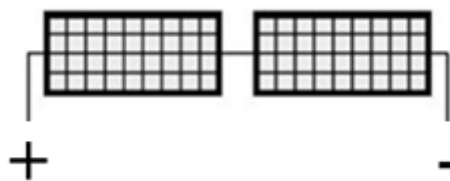


Figure 4-18 : le générateur 1*2.

- HMT = 10 m, de la journée 15/07/2018.

Le cumulée d'eau = 6.3 m^3 [9 :50 à 17 :10].

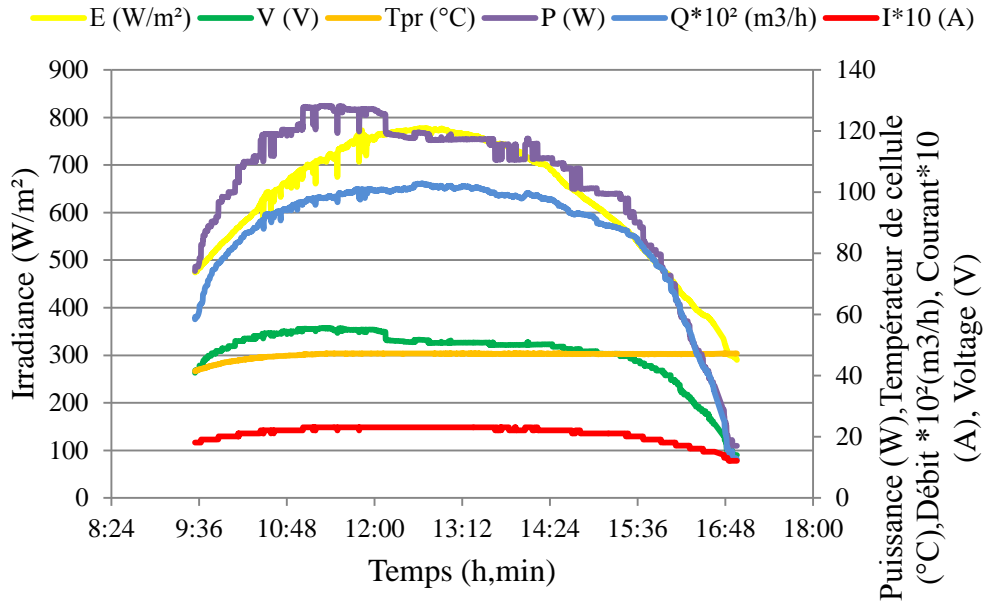


Figure 4-19 : l'irradiance, le débit, la puissance, et la température, par l'acquisition en fonction de temps.

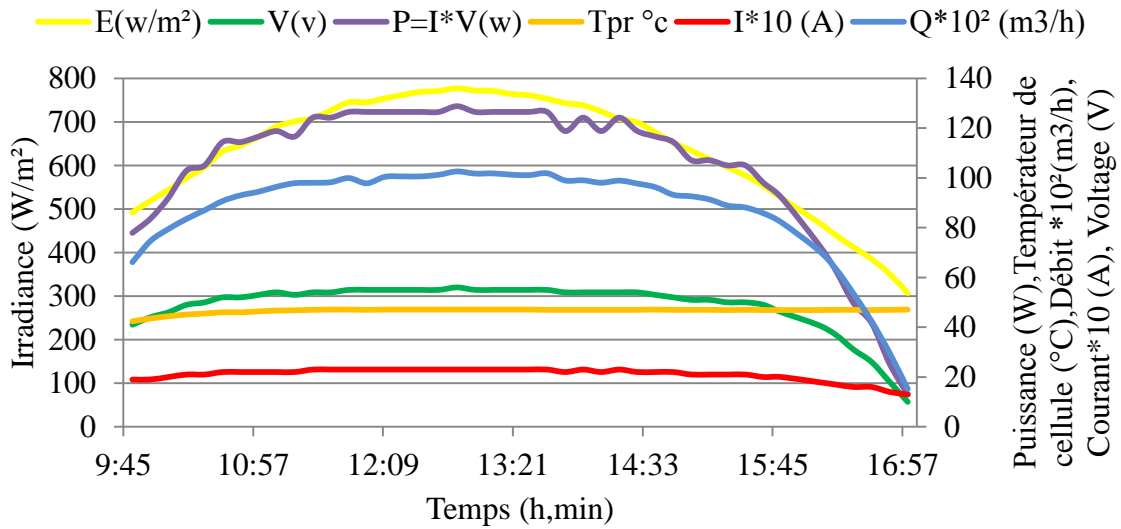


Figure 4-20 : variation des caractéristiques du système de pompage par l'observation.

- Les deux figures sont presque les mêmes.
- L'irradiance représente une bonne journée, donc est augmenté le facteur de forme.
- Le courant donnée 2.3(A) et le voltage 55.5(V), donc est donnée une bon puissance.
- HMT = 15 m, de la journée 16/07/2018.

Le cumulée d'eau = 4.7 m³ [10:40 à 15:50].

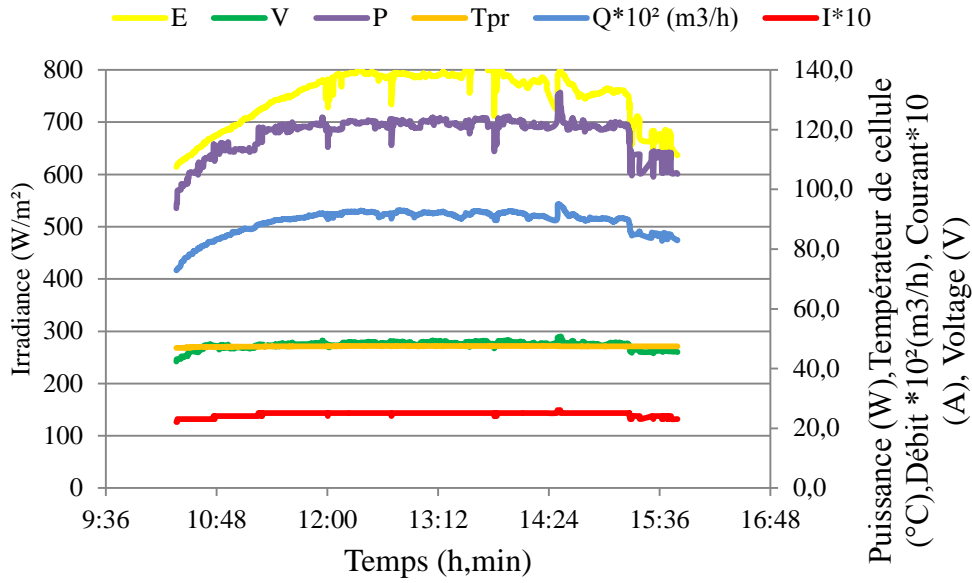


Figure 4-21 : l'irradiance, le débit, la puissance, et la température, par l'acquisition en fonction de temps.

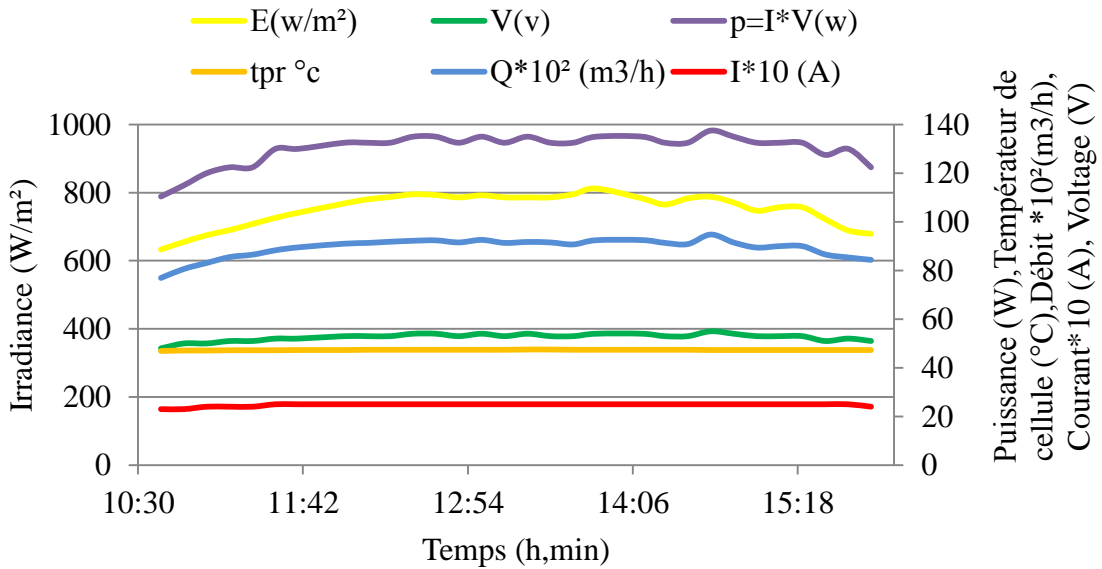


Figure 4-22 : l'irradiance, le débit, la puissance, et la température, par l'observation en fonction de temps.

- L'expérience commencée à 10:30 et arrêtée à 16:00 à cause d'une grande perturbation d'irradiance.
- Le courant est grand 2.61A donc est influencé sur la puissance 132W.

Tableau 4 - 11 : Comparaison quelque donnée d'essai du différent HMT.

HMT (m)	E (W/m ²)			I (A)			V (V)			P (W)			Q (m ³ /h)		
	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min
10	778	640	290	2,3	2,1	1,2	55	48	14	128	104	17	1,03	0,88	0,13
15	818	755	614	2,6	2,5	2,2	50	48	42	132	119	94	0,95	0,90	0,73

Essaie 3 :

Le générateur se forme 2*1 c'est à dire deux panneau en parallèle figure (4-24), sous les caractérisations électrique suivant : $P_N = 220 \text{ W}$, $I_N = 7\text{A}$, $V_N = 40\text{V}$.

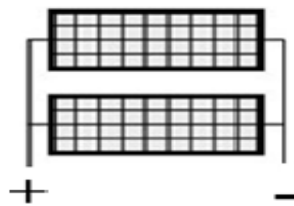


Figure 4-23 : le générateur 2*1.

- HMT = 10 m, de la journée 17/07/2018.

Le cumulée d'eau = 3.7 m³ [09:40 à 16:40].

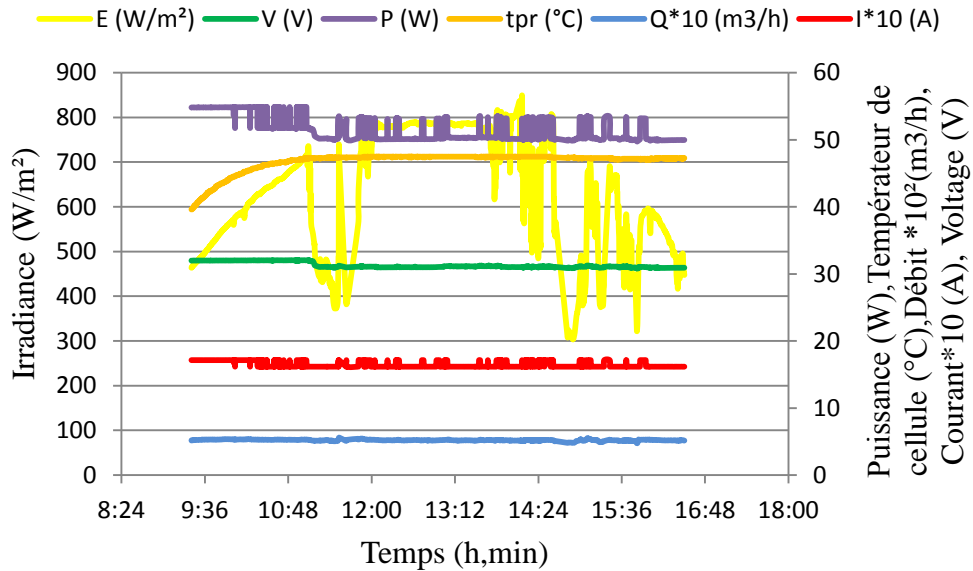


Figure 4-24 : variation des caractéristiques du système de pompage par l'acquisition.

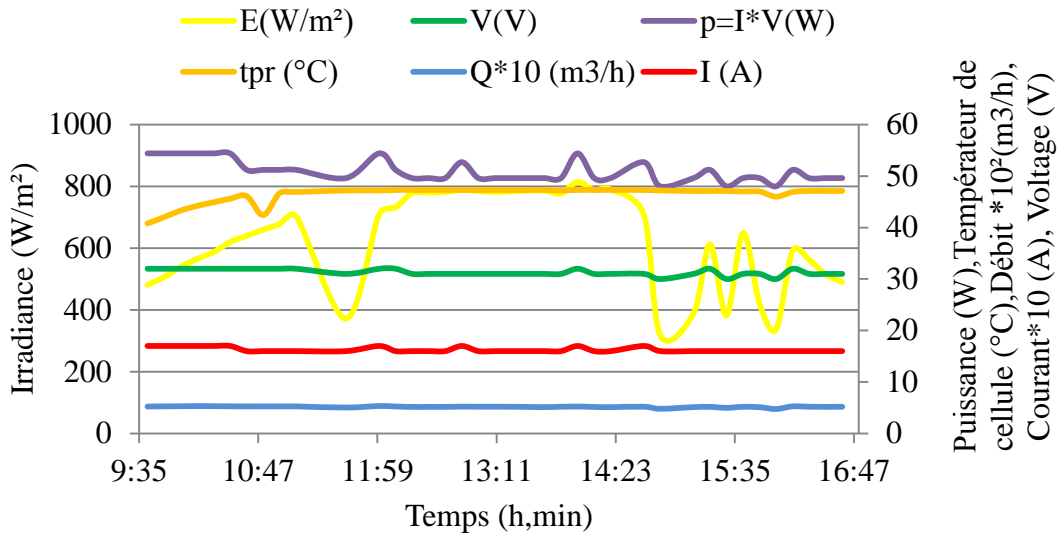


Figure 4-25 : l'irradiance, le débit, la puissance, et la température, par l'observation en fonction de temps.

- L'irradiance ne pas stable, la journée nuageuse.
- Le courant est faible 1.7 (A) par rapport le courant nominal 7 (A).
- Le courant est influé sur la puissance et le débit.
- HMT = 15 m, de la journée 18/07/2018.

Le cumulée d'eau = 3.2 m³ [9 :20 à 15 :40].

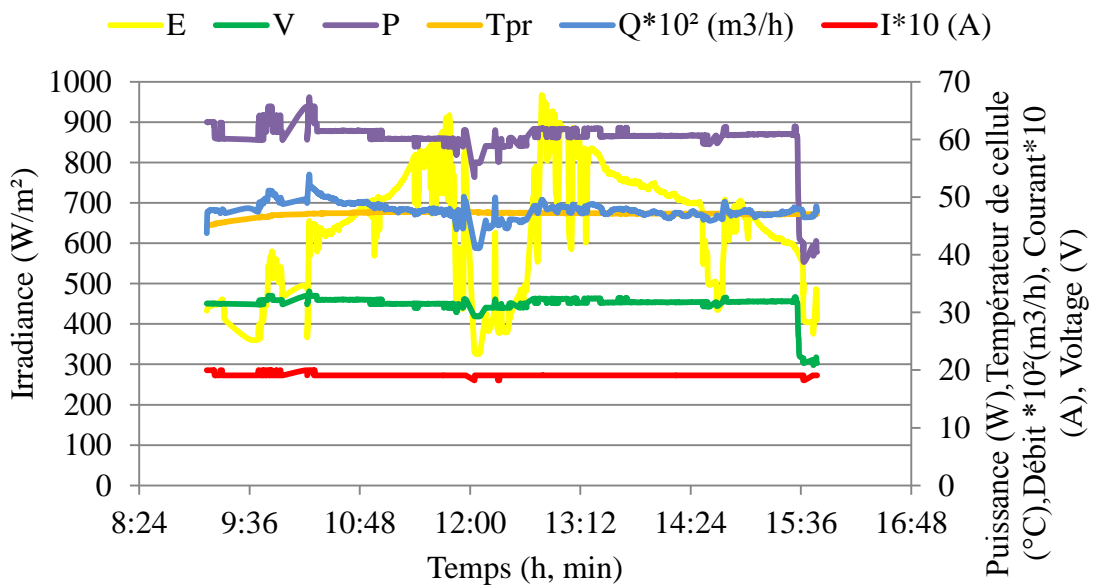


Figure 4-26 : l'irradiance, le débit, la puissance, et la température, par l'acquisition en fonction de temps.

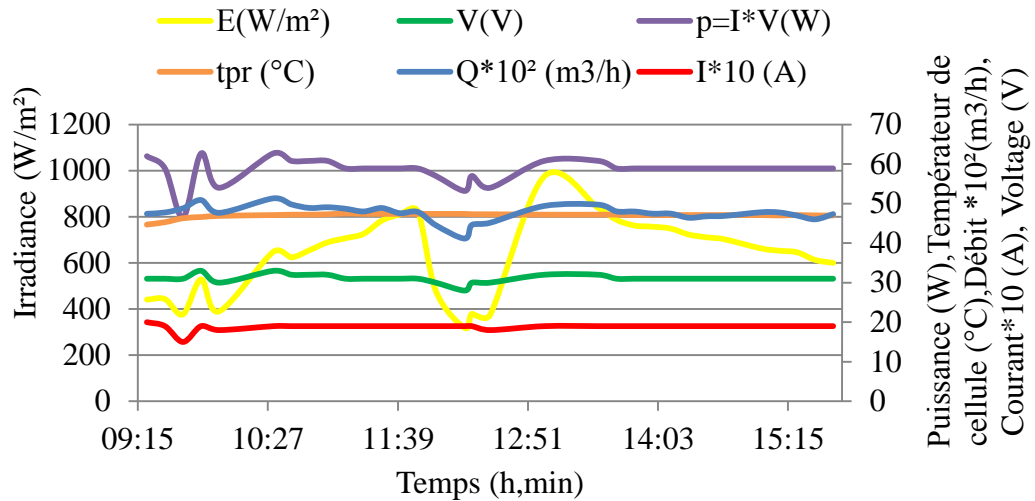


Figure 4-27 : variation des caractéristiques du système de pompage par l'acquisition.

- L'irradiance ne pas stable, la journée nuageuse.
- Le courant est faible 2 (A) par rapport le courant nominal 7 (A).
- Le courant est influé sur la puissance et le débit.

Tableau 4 - 12 : Comparaison quelque donnée d'essai du différent HMT.

HMT (m)	E (W/m²)			I (A)			V (V)			P (W)			Q (m³/h)		
	Max	Mo y	Min	Max	Mo y	Min	Max	Mo y	Min	Max	Mo y	Min	Max	Mo y	Min
10	850	649	304	1.7	1.6	1.6	32	31	31	55	52	50	0.56	0.52	0.47
15	967	670	326	2.0	1.9	1.8	34	32	21	67	60	39	0.54	0.48	0.41

- Bilan général de système n°2

Tableau 4 - 13 : comparaison entre les essais.

	HMT(m)	E_{Moy} (W/m²)	I_{Moy} (A)	V_{Moy} (V)	P_{Moy} (W)	Q_{Moy} (m³/h)	η (pompe) Moy (%)
Essai 1 2*2	10	650	2.7	64	169	1.2	38.41
Essai 2 1*2	10	640	2.1	48	104	0.88	47.28
	15	755	2.5	48	119	0.90	54.21
Essai 3 2*1	10	649	1.6	31	52	0.52	23.45
	15	670	1.9	32	60	0.48	27.48

- L'essai 2 est bien que l'essai 3.
- La connexion du générateur en série est donnée un rendement plus que de générateur en parallèle.
- Un bon rendement influé directement sur la puissance de la pompe et le débit.

4.5 Conclusion

D'après l'étude expérimentale on conclue que les paramètres qui influe sur les systèmes de pompage solaire sont l'irradiance, la température, la HMT...etc.

Pour obtenir un rendement optimal des systèmes il faut faire un dimensionnement adéquat.

Optimalité d'un système de pompage solaire se caractérise par des optimalité en cout et par des optimalité en performance.

Conclusion générale

Le Pompage Solaire est une réalité pour satisfaire le domaine agronomique, et obtenir l'eau à propre énergie et conservé notre planète avec l'augmentation de la démographie. L'étude ce qui on fait sur le laboratoire de pompage solaire a URAER décrive des notions :

- Il est important sur les sites isolés surtout dans le Sahara avec la sécheresse pour être vivant.
- Avec la croissons de l'agriculture et surtout dans la déserte a la température élevé.
- La crise économique internationale nécessitée d'obtenir les énergies renouvelables surtout les payés non contiens pas des hydrocarbures délivré le développement sur les énergies renouvelables.
- Le rendement du module est faible 5% à 18% donc il faut augmenter le nombre des modules.
- Le KIT autonome est cher surtout les batteries pour conserver l'énergie électrique.
- Pousser les laboratoires des recherches et les usines pour la production locale et amélioré notre matérielle.

Bibliographies

[1] **BRIGAND, SYLVAIN.** *Installations solaires photovoltaïques: Dimensionnement - Installation et mise en oeuvre - Maintenance*, LE MONITEUR, 2011.

[2] **MASTERS, GILBERT M.** *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, 2004.

[3] **23:00**, <http://dateandtime.info/fr> le **14.08.2018** à.

[4] **BENDRISSOU, Youcef DEDJELL & Rostom.** *Approche qualitative des eaux souterraines de la nappe phréatique de la région de Ghardaïa -cas de la palmeraie Est de la ville de Ghardaïa*, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Hydrologie, 2011.

[5] **ACHOUR, Mansour.** *NOTE RELATIVE AUX RESSOURCES EN EAU*, AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES, 2005 .

[6] **Roux, Philipp.** *Théorie générale simplifiée des semi-conducteurs, jonction pn au silicium effet transistor bipolaire*. [pdf] 2009.

[7] **MEHIAOUI, M.** dspace.univ-tlemcen.dz. [En ligne] 2016. [Citation : 10 juin 2018.]

[8] *Les semi-conducteurs*. [pdf]

[9] **Mambrini, Thomas.** *Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies*. [pdf], Université Paris Sud–Paris XI Français, 2014.

[10] **Zineb, BEROUIDJEL.** *Dispositif de Réalisation de Couches Antireflets à Base de TiO2 sur le Silicium monocristallin*. [pdf] ,Université de Tlemcen, 2011.

[11] **Ghardaïa, URAER.**

[12] **ABDELKADER, BELBOULA.** *Commande MPPT avancée d'un système de conversion d'énergie solaire : photovoltaïque et thermoélectrique*. [pdf], UNIVERSITE HASSIBA BEN BOUALI DE CHLEF, 2014.

[13] **Bachir, Degla Mohammed Larbi & Ben Ahmed.** *Dimensionnement d'un Système de Pompage Photovoltaïque*. [pdf], UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2017.

[14] **Melouard, Ilyass Boudouar & Khalid.** *Dimensionnement et installation d'un système de pompage photovoltaïque*. [pdf] ,Université ibn zohr - AGADIR, 2017.

