

*République Algérienne Démocratique et Populaire*

*Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique*



*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 : Hydraulique**

**Spécialité : Hydraulique urbaine**

**Par : Mosbah abelhamid  
Cherif merwan**

**Thème**

**ETUDE DE DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME DE  
POMPAGE SOLAIRE A LA REGION DE GHARDAÏA**

**Soutenu publiquement le : 18/05/2017**

**Devant le jury :**

<b>BOUELMAIZ.T</b>	<b>M.A.B</b>	<b>Univ. Ghardaïa</b>	<b>Président</b>
<b>CHEBIHL.L</b>	<b>M.A.B</b>	<b>Univ. Ghardaïa</b>	<b>Examineur</b>
<b>MECHRI.B</b>	<b>M.A.A</b>	<b>Univ. Ghardaïa</b>	<b>Examineur</b>
<b>BOUTELHIG.A</b>	<b>M.C.B</b>	<b>UREAR. Ghardaïa</b>	<b>Encadreur</b>

**Année universitaire 2016/2017**

## *Dédicace*

A ma chère mère ZOHRA et mon père LAKHDER pour  
l'éducation, le grand amour dont ils m'ont entouré depuis ma  
naissance et leurs sacrifices.

A mes chères sœurs Asma, Laila, Mountaha, chaima et sahar

A mon cher frère haytem.

A mes chers amis : Mohamed<sup>la</sup>, Lahcen<sup>ch</sup>, Rachid<sup>kh</sup>,  
Maardj<sup>la</sup>, Merwan<sup>c</sup>, AMIN<sup>ZA</sup>, Farouk<sup>d</sup>, Karim<sup>bn</sup>, Khadija, Laila,  
Latifa et ikram, hadjer .

A mes chers amis à la résidence : Anwar<sup>bn</sup>, Madjer<sup>ha</sup>,  
Slimane<sup>dj</sup>, brahim<sup>d</sup>, abdelrahmen<sup>d</sup>, abdelrazek<sup>ba</sup>, Aboo<sup>†</sup> et  
Naseradinne<sup>bel</sup>.

A ma future femme

A tout qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.

A tous mes amis

A tous ceux que j'aime

Je dédie ce travail

**Abd el Hamid MOSBAH**

## Dédicace

Tout d'abord, louange à « Allah » qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long de ma vie et m'a inspiré les bons pas. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pu être abouti.

Je dédie ce modeste travail:

À mes parents, (CHERIF AHMED) et (BELLAOUATTI KHADIDJA). Pour leur soutien inconditionnel, leurs sacrifices, leurs tendresses, leur amour infini, je souhaite qu'ils trouvent, le témoignage de ma reconnaissance et toutes mes affections. .

A mes très chères sœurs. ZANEB, SIRINE, RAWYA et ASIL et mes frères MOSLIM, GHAZALI, TAHA, NASRO, MAHMOUD. Et les.

A mes oncles.

A toute ma famille.

A mon ami MOSBAH ABD EL HAMID

A toute mes chères amies, DJALLA, MOHAMMED, SOFIANE, ABD ERRAHMENE, FAROUK, AISSA, BOBAKER, AHMED, OMAR, HAMMI, LAHSEN, RACHID, KHADIDJA, MERIEM, ASMA, KARIMA, ABIR.

A toute personne qui sait apprécier et s'inspirer de ce mémoire.

A toute mes enseignants dès ma première pas dans l'école primaire jusqu'à ce jour, et particulièrement à MR BOUTELHIG AZZEDINE ET BENADDA LOTFI, pour leur aide et les valeureux

**CHERIF MERWAN**

## REMERCIEMENT

Merci Dieu Le Tout Puissant, Créateur de l'Univers, qui nous a permis et nous a donné du courage en nos études et dans la réalisation de ce mémoire malgré les difficultés rencontrées. Qu'il nous soyons néanmoins permis d'évoquer les noms de notre encadreur, sans lesquels ce mémoire n'aurait certainement pas vu le jour ou arrivé à terme:

nous citons en premier lieu notre Prof et notre encadreur, le Docteur **MR BOUTELHIG AZZEDINE** pour son entière disponibilité, l'orientation par ses précieux conseils et les motivations que nous avons reçues d'elle n'oublions pas **MR BENADDA LOTFI**.

nos remerciements s'adressent également à ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire. Nous avons une reconnaissance envers eux

Et enfin nos remerciements à tous les enseignants de l'Université de **GHARDAIA** car nous sommes les produits de l'effort de chacun d'eux.

C'est l'occasion de dire merci à tous nos ami (e)s et camarades avec lesquels nous avons passé des moments agréables à l'Université.

## Sommaire

---

### ملخص:

النظام على نطاق واسع هو ما يسمى بـ "من خلال الشمس"، هو الأكثر موثوقية حيث يتم استخدام الطاقة الضوئية مباشرة من لوحات. المضخة تعمل فقط في وجود ضوء وبمجرد أن أشعة الشمس تصل إلى الطاقة المطلوبة. خصوصية المضخات الشمسية المثبتة تحت الشمس هي أن الخصائص (التدفق والضغط والحاصل) تعتمد على أشعة الشمس التي تختلف خلال النهار وخلال المواسم. يتم تركيب المضخات الشمسية المدروسة في المختبر لمحاكاة ظروف التشغيل الفعلية (عمق البئر، التدفق) بعمق ثابت. تهدف هذه الدراسة إلى إظهار تأثير القوة الممتصة من على الارتفاع الكلي على الأداء المختلفة لمضخة شمسية مثبتة في المختبر. يتم عرض النتائج التجريبية لإظهار جودة العروض التي تم الحصول عليها.

**الكلمات المفتاحية -** ضخ من أشعة الشمس ، تدفق ، تيار مستمر ، مضخة ، ارتفاع متوسط كلي

### Résumé :

Le système largement utilisé est celui dit « au fil du soleil », il est le plus fiable puisque l'énergie photovoltaïque est utilisée directement à partir des panneaux. La pompe ne fonctionnera qu'en présence de lumière et dès que l'ensoleillement sera suffisant pour atteindre la puissance demandée. La particularité des pompes solaires installées au fil du soleil est que les caractéristiques (débit, pression, rendement) sont en fonction de l'ensoleillement qui varie au cours de la journée et au cours des saisons. Les pompes solaires étudiées au laboratoire pour simuler les conditions réel de fonctionnement (profondeur de puits, débit), sont installées dans à une profondeur fixée. Cet article pour objectif de montrer l'influence de la puissance absorbée et la HMT sur les différentes performances d'une pompe solaire installée au laboratoire. Des résultats expérimentaux sont présentés pour montrer la qualité des performances obtenues.

**Mots clés –** Pompage PV au fil du Soleil, Pompe-DC, Débit.HMT

### Summary :

The widely used system is the so-called "in the sun", it is the most reliable since the photovoltaic energy is used directly from the panels. The pump will only operate in the presence of light and as soon as the sunshine is sufficient to reach the required power. The particularity of solar pumps installed under the sun is that the characteristics (flow, pressure, yield) are dependent on the sunshine which varies during the day and during the seasons. The solar pumps studied in the laboratory to simulate the actual operating conditions (well depth, flow) are installed in a fixed depth. This article aims to show the influence of the power absorbed and the HMT on the different performances of a solar pump installed in the laboratory. Experimental results are presented to show the quality of the performances obtained.

**Key Words -** PV Pumping Through the Sun, DC Pump, Flow.HMT

# Sommaire

---

.Introduction générale .....	1
------------------------------	---

## Chapitre I Etude préliminaire

1. Etude préliminaire .....	2
1.1 .Présentation de la région de Ghardaia .....	2
1.1.1 .Localisation .....	2
1.2 Etude Climatologie .....	3
1.3 .Synthèse climatique.....	8
1.3.1 .Diagramme ombrothermique de Gaussen.....	8
1.4 .Occupation des sols.....	8
1.5. potentiel d'eau.....	9
1.5.1 Introduction aux sources d'eau .....	9
1.5.2.Évaluation des sources d'eau au Sahara algérien.....	9
1.5.3. Évaluation des sources d'eau dans le bassin de Ghardaïa.....	11
1.5.4. Foggara: patrimoine hydraulique de la région de Ghardaïa.....	13
1.5.5. Conclusion .....	15

## Chapitre 2. Le Gisement solaire

2. Introduction .....	17
2.1 potentiel solaire .....	17
2.2. Le Soleil .....	18
2.2 Géométrie solaire .....	19
2.2.1 Le système terre-soleil .....	19
2.2.2 Unîtes utilisées .....	20
2.2.3 Constante solaire.....	21
2.3 Données astronomiques.....	22
2.3.1 la latitude du lieu .....	22
2.3.2 Longitude.....	22
2.3.3 latitude.....	23
2.3.4 Déclinaison .....	23
2.3.5 l'angle horaire.....	23
2.3.6 temps solaire moyen.....	24
2.3.7 temps universal (TU) .....	24
2.3.8 Temps legal .....	24
2.4 Diagramme solaire .....	24

## Chapitre 3La Conversion photovoltaïques

3.La conversion photovoltaïque .....	27
3. .semi-conducteur .....	27

# Sommaire

---

3.2 le rayonnement solaire .....	27
3.2.1 types de rayonnement .....	28
3.3. l'effet photovoltaïque .....	29
3.3.1 les cellules photovoltaïques ou photopiles.....	29
3.3.2 La cellule au module photovoltaïque.....	29
3.3.3 Module au panneau photovoltaïque.....	30
3.4 .Générateur photovoltaïque .....	31
3.4.1 .Montage parallèle.....	32
3.4.2 .Montage série .....	32
3.4.3 .Montage en parallèle et en série .....	33
3.5 Les systèmes photovoltaïques .....	35
3.5.1 Les module photovoltaïques .....	35
3.5.1.1 Les cellules monocristallines .....	36
3.5.1.2 les cellules poly cristallines .....	36
3.5.1.3 Les cellules amorphes.....	36
3.5.2 Avantages et les inconvénient d'une cellules photovoltaïque.....	37
3.5-3 principaux composant d'un système solaire photovoltaïque .....	37
3.6 Comparaison des différentes technologies.....	38
3.6.1 .Principe de fonctionnement .....	39
3.6.2 .Systèmes autonomes au fil du soleil .....	40
3.6.3 .Systèmes autonomes avec stockage .....	40
3.6.4 . Systèmes autonomes hybrides.....	41
3.8 Conclusion .....	41

## Chapitre 4 Les pompes hydraulique

4.Introduction .....	43
4.1 Les pompes hydrauliques .....	43
4.1.2 Fonctionnement et constitution .....	43
4.1.2.1 Partie moteur .....	43
4.1.2.2 Transmission .....	43
4.1.2.2.1 Transmission mécanique .....	44
4.1.2.2.1 Transmission électrique .....	44
4.1.2.3 Partie hydraulique .....	44
4.1.3 Classification .....	44
4.1.3.1 Selon le mode de fonctionnement .....	45
4.1.3.1.1 Les pompes centrifuges .....	45
4.1.3.1.2 Les pompes volumétriques .....	48
4.1.3.2 Comparaisons entre les pompes centrifuges et les pompes volumétriques .....	50
4.1.4.Selon le mode d'utilisation .....	52
4.1.4.1 Les pompes de surface .....	52
4.1.4.2 .Les pompes immergées .....	52
4.1.5 L'alimentation électrique .....	53

# Sommaire

---

4.1.5.1 comparatif des moteurs à courant continu et courant alternatif.....	53
4.1.5.2 La commande électronique : .....	54
4.2 .Couplage des pompes.....	54
4.2.1 .Couplage en série.....	55
4.2.2 .Couplage en parallèle .....	56
4.2.3 .Conclusion .....	57

## **Chapitre 5. Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque**

5 .Introduction .....	58
5.1 .Dimensionnement .....	58.
5.1.1 Les différentes étapes pour le dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque.....	58
5.1.1.1 calcule de la hauteur manométrique totale .....	58
5.1.1.2 calcule de l'énergie hydraulique .....	59
5.1.1.3 calcul de l'énergie électrique .....	60
5.1.1.4 calcule de la puissance crêt .....	60
5.1.1.5 Sélection de matériel .....	60
5.1.1.6 Dimensionnement des accessoire d'un SPPV.....	63.
5.2 Introduction.....	68
5.3 Description du banc d'essais du système de pompage solaire.....	68
5.3.1 Schéma Synoptique du laboratoire de pompage PV de L'UREAR (Ghardaïa ).....	69
5.3.2 Générateur photovoltaïque .....	70
5.3.3 Armoire de visualisation .....	70
5.3.4 Circuit hydraulique .....	71
5.3.5 Acquisition de données.....	72
5.4 Etude réel d'un système de pompage PV pour les HMT (10 m,15 m,20 m) à la région de Ghardaïa .....	73
5.4.1 Type de pompe .....	73.
5.4.2 Type de module photovoltaïque.....	74
5.5 La méthode du testes .....	74
5.5.1 TESTE HMT 10 METRE .....	75
5.5.2 TESTE HMT 15 METRE .....	78
5.5.3 TESTE HMT 20 METRE .....	81
5.6 Conclusion .....	86

# Sommaire

---

Figure 1.1..La carte de Ghardaïa .....	3
Figure 1.2.température annuelle .....	5
Figure 1.3. pluviomètre annuelle.....	5
Figure 1.4..direction des vents dominats .....	6
Figure 1.5...évolution des moyenne des mensuelles de l'humidité relative.....	7
Figure 1.6..évolution des moyenne des mensuelles de l'evatranspiration.....	7
Figure 1.7.diagramme ombrothermique de Gausсен de la région Ghardaïa.....	8
Figure 1.8.bassin versent de la région de Ghardaïa.....	11
Figure 2.1.plan de l'écliptique .....	20
Figure 2.2. organigramme de calcul du numéro des jour de l'année.....	23
Figure 2.3.Organigramme simplifié permettant le traçage du diagramme solaire.....	25
Figure 3.1 Schéma explicatif du phénomène.....	27
Figure 3.2.les composant du rayonnement solaire.....	28
Figure 3.3.Schéma d'une cellule solaire.....	29
Figure 3.4.les composant de générateur.....	32
Figure 3.5.Montage en parallèle.....	32
Figure 3.6.Montage en série .....	33
Figure 3.7.. Montage en parallèle et en série.....	33
Figure 3.8.Mise en série et en parallèle de deux panneau photovoltaïque.....	35
Figure 3.9 module photovoltaïque.....	36
Figure 3.10.les cellule de panneau photovoltaïque.....	37
Figure 3.11. principaux composants d'un système solaire photovoltaïque .....	38
Figure 3.12. système photovoltaïque avec stockage .....	40
Figure 3.13 système d'alimentation autonome hybride photovoltaïque.....	41
Figure 4.1 pompe centrifuge .....	46
Figure 4. 2 illustration d'une pompe centrifuge a volute .....	47
Figure 4.3. illustration d'une pompe centrifuge a turbine .....	48
Figure 4.4.les caractéristique d'une pompe centrifuge a,b.....	48
Figure 4. 5 .pompe volumétrique.....	49
Figure 4. 6. courbes caractéristique su couple en fonction de la vitesse.....	50
Figure 4. 7. Choix d'une pompe selon la HMT et le débit demandée.....	52
Figure 4.8.Exemple de courbe débit .HMT pour quelque pompes.....	52
Figure 4.9.pompe de surface.....	53
Figure 4.10.l'illustration d'une pompe immergé .....	53
Figure 4.11.Couplage des pompes en série.....	55
Figure 4. 12.point de fonctionnent de pompes en série .....	56
Figure 4.13.Couplage des pompes en parallèle.....	56
Figure 4. 14.point de fonctionnent de pompes en parallèle.....	57
Figure 5.1 schéma explicatif les paramètres de la hauteur manométrique totale.....	60
Figure 5.2 .Schéma Synoptique du laboratoire de pompage PV de L'UREAR (Ghardaïa ).....	70
Figure 5.3 Le générateur photovoltaïque du banc d'essai de pompage [au sien de l'UREAR]	71
Figure 5.4 l'emplacement de cellule du mesure les radiation....	71
Figure 5.5 Armoire de puits.....	72
Figure 5.6 Banc d'essai de systèmes de pompage photovoltaïque.....	72

## Sommaire

---

Figure 5.7 Débitmètre électromagnétique.....	73
Figure 5.8 Data logger et Ordinateur [laboratoire de pompage l'UREAR].....	73
Figure 5.9 la pompe utiliser et leur caractéristique .....	74
Figure 5.10 Fiche technique de module photovoltaïque.....	75
Figure 5.11 les courbe des caracterstique enrgitique et hydraulique.....	77
Figure 5.12 les courbe des caracterstique enrgitique et hydraulique.....	80
Figure 5.13 les courbe des caracterstique enrgitique et hydraulique.....	83

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau 2.1.</b> Valeur du flux solaire a la limite de la l'atmosphère terrestre. Ecarte relatif par rapport a la constante solaire.....	22
<b>Tableau 3.1.</b> Tableau des avantage et l'inconvénient d'une cellule photovoltaïque .....	31
<b>Tableau 3.2.</b> le tableau suivant récapitule les technologies existants selon les puissances et l'utilisation que l'on en fait .....	39
<b>Tableau4.1.</b> Tableau comparatif des moteur a courant continue et courant alternatif.....	54
<b>Tableau 5.1</b> Les résultats des caractéristiques énergétiques et hydrauliques moyenne a la journée de teste à cheque hauteur manométrique totale .....	85
<b>Tableau 5.2</b> Fiche technique pour installée un système de pompage photovoltaïque au fil de soleil a la région de Ghardaïa.....	86

## Liste des symboles

---

h: hauteur solaire  
a :azimut  
Z: distance zénithale  
 $\sigma$  :déclinaison .  
 $\Theta$  : latitude de lieu .  
w :angle horaire .  
t :temps .  
n j : nombre de jour .  
 $\beta$  : inclinaison de capteur .  
 $\gamma$  : azimut de capteur .  
C\* : constante solaire .  
P<sub>dir</sub>: Rayonnement direct .  
P<sub>dif</sub>: Rayonnement diffusé .  
G :rayonnement globale .  
 $\lambda$  : longueur d'onde .  
 $\alpha_\lambda$ : coefficient des longueurs d'ondes .  
Les symboles électriques  
I<sub>sc</sub> : courant de court circuit .  
P<sub>max</sub>:puissance maximale  
V:voltage .  
R<sub>s</sub> : résistance dirie .  
E<sub>d</sub> : énergie électrique convertie dans les cellules journalière .  
 $\eta_{elec}$ :Rendementélectrique .

### Les symboles géométriques

L<sub>g</sub> : distance parcourue par le rayon solaire dans le verre .  
PV: Photovoltaïque .  
DC: courant continu .  
Q: débit (m<sup>3</sup>/h) .  
HMT : hauteur manométrique totale (m) .  
 $\Delta e$  : Perte de charge produit par le frottement de l'eau sur les parois des conduites (w) .  
H<sub>g</sub> :hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation (m) .  
N<sub>s</sub>: niveau statique d'un puits ou d'un forage est la distance entre le sol et la surface de l'eau avant le pompage (m) .  
N<sub>d</sub>:le niveau dynamique .  
C1 :Débitmètre électromagnétique .  
C2 :Débitmètre électromagnétique .  
E<sub>h</sub> :energie hydraulique  
Ch:constanehydraulique .  
E<sub>ele</sub>: Energie electrique .  
 $\rho$ :densité de l'eau  
E<sub>e</sub>:energieelectrique exprimé en [Kwh/j] .  
 $\eta_p$ :rendement de motopompe .  
P<sub>c</sub> :puissancecrete .  
Q<sub>h</sub>:debitheuraire .  
D<sub>h</sub> : durée d'ensoleillement (nombre d'heures ) du moi le plus défavorables [h] .

### Introduction générale

Dans nos jours, il nous semble que personne ne peut s'en douter sur l'importance de l'eau et de l'énergie pour les besoins humains. Avec les avancées technologiques, le besoin en énergie ne cesse d'augmenter. Ce problème d'énergie est encore plus sensible dans les sites isolés où l'utilisation des ressources classiques s'avère souvent très coûteuse. En effet, plusieurs contraintes, comme, le transport du combustible et les entretiens périodiques des moteurs diesels, rendent la recherche d'une source d'énergie alternative indispensable pour ce type de sites.

Comme nous le savons, la plus grande partie de l'énergie consommée actuellement provient de l'utilisation des combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou encore l'énergie nucléaire. Les études et les prévisions récentes nous alertent que l'utilisation massive de ces ressources conduira certainement à l'épuisement total de ces réserves. En plus, tout le monde est mondialement convaincu par le danger de ce processus sur l'environnement.

À partir de ce constat, il a été nécessaire de chercher d'autres ressources d'énergie de remplacement. Les énergies renouvelables, comme l'énergie photovoltaïque, éolienne ou hydraulique, représentent une solution de remplacement par excellence et elles sont de plus en plus utilisées dans nos jours. Ce type d'énergie n'est pas seulement gratuit et inépuisable, mais aussi très propre pour l'environnement. D'ailleurs, on parle souvent d'une énergie « verte », puisqu'elle permet d'éviter totalement la pollution produite par les sources traditionnelles. [1]

Dans ce travail de recherche, nous nous sommes intéressés plus particulièrement par l'énergie solaire photovoltaïque avec comme application, le pompage d'eau pour l'irrigation dans des sites isolés sur la région de Ghardaia. Nous verrons que cette solution est particulièrement intéressante pour ce type de site. D'autant plus que le territoire national dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation peut atteindre les 3000 heures par an sur le Sahara.

L'utilisation de l'énergie photovoltaïque pour le pompage de l'eau est bien adaptée pour la plus part des régions arides et semi-arides en raison de l'existence dans ces régions d'un potentiel hydraulique souterrain peu profond.

Dans le premier chapitre nous avons étudié préliminairement la région de Ghardaia dans le deuxième chapitre, nous avons donné des explications générales sur la géométrie solaire.

Dans le troisième chapitre nous avons donné des explications générales sur la conversion photovoltaïque, dans le quatrième chapitre nous avons donné des explications générales sur les pertes hydrauliques.

Dans le cinquième chapitre et dernier chapitre a été entièrement consacré à une étude pratique de ce type de pompage d'eau sur la région de Ghardaia, nous avons dimensionné un système de pompage solaire pour l'irrigation dans la région de Ghardaia.

**Chapitre 1**  
**Etude préliminaire**

## 1 . Etude préliminaire

### 1.1 .Présentation de la région de Ghardaia

Avant d'entamer n'importe quel projet dimensionnement d'un system de pompage Solaire doit etre une étude préliminaire du site , qui est placé dans un projet .

#### 1.1.1 .Localisation

La wilaya de Ghardaia se situe au centre de la partie nord de sahara. A environ 600 km de la capitale alger . ses coordonnées géographiques sont :

-Altitude 480 m.

-latitude 32° 30' Nord.

-Longitude 3° 45' Est.

La wilaya de ghardaia couvre une superficie de 86.560 km<sup>2</sup>, elle est limitè.

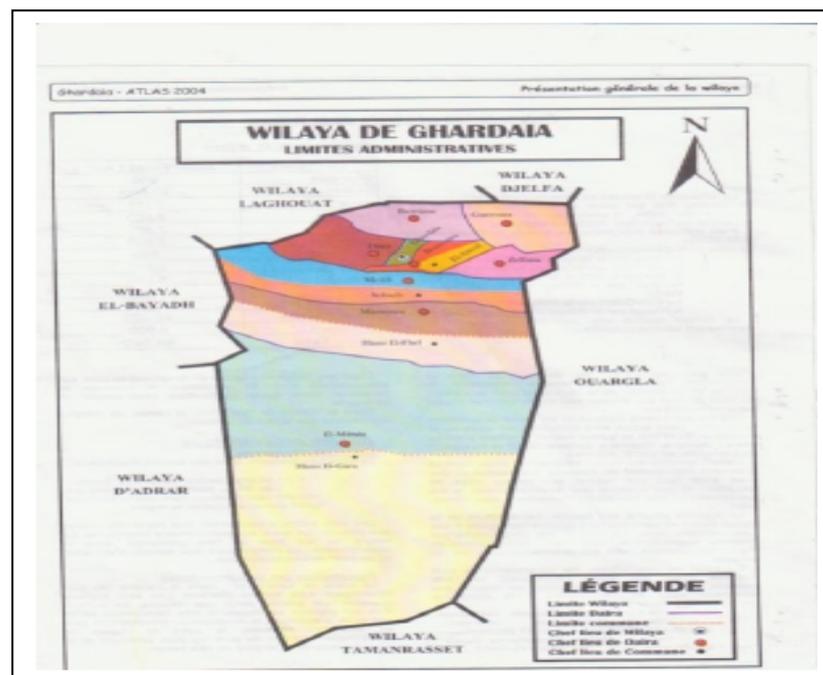


Figure 1.1: La carte de Ghardaïa

- Au sud par la wilaya de tamanrasset (1.470Km) .
- Au sud-ouest par la wilaya d' Adrar (400 Km) .
- Au nord est par la wilaya de Laghouat (200Km) .

-A l'est par la wilaya d'Ouargla (200Km) .

La wilaya comporte actuellement 11communes regroupées en 8 daïras pour une population 396.452 habitants ,soit une déiste de 4.68 habitants/km<sup>2</sup> [2] .

## 1.2 Etude Climatologie

Le climat de la région de Ghardaïa se caractérise par une grande sécheresse de l'atmosphère laquelle se traduit par un énorme déficit de sa saturation et d'évaporation considérable ainsi la tirs forte insolation due a la faible nébulosité qui sous cette altitude donne l'importance accrue aux phénomènes thermique.

Le climat saharien se caractérise par des êtes aux chaleur torrides et des hivers doux .surtout pendant la journée .

La très faible pluviosité a l'extrême fait disparaître la couverture végétale ,accrois l'importance du moindre souffle de vent et lui permet des actions mécaniques toujours notables [2].

Apparente au caractère fondamental du climat saharien <la sécheresse de l'air>nous remarquons que les micros-climat jouent un rôle considérable dans cette région du Sahara . caractérise par l'existence des palmeraies et des petits jardins disséminés le long de la commune et au sein des palmeraies qui constituent le centre de vie des habitants de la commune .

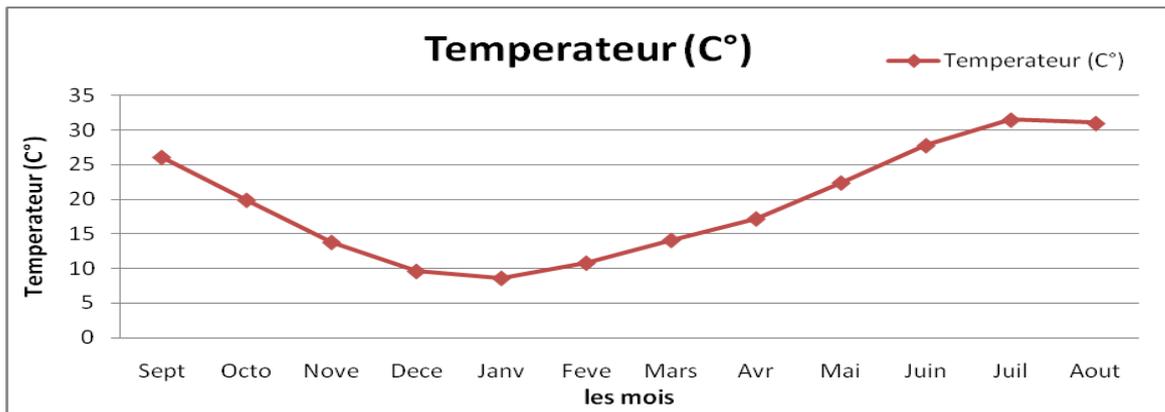
Les éléments qui viennent modifier considérablement les effets de la température par les êtres humaines et sur la végétation

- L'humidité
- le rayonnement
- la composition des sols

### 1-Température

Elle est marquée par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, été et d'hiver.

la période chaude commence au moins de mai et dure jusqu' au moins de septembre la température moyenne enregistrée mois juillet est de 6.3°C,le maximum absolu de cette période a atteint 47°C. pour la période hivernale, la température moyenne enregistrée au moins de janvier ne dépasse pas 9.2°C, le minimum absolu de cette période a atteinte -1°C.

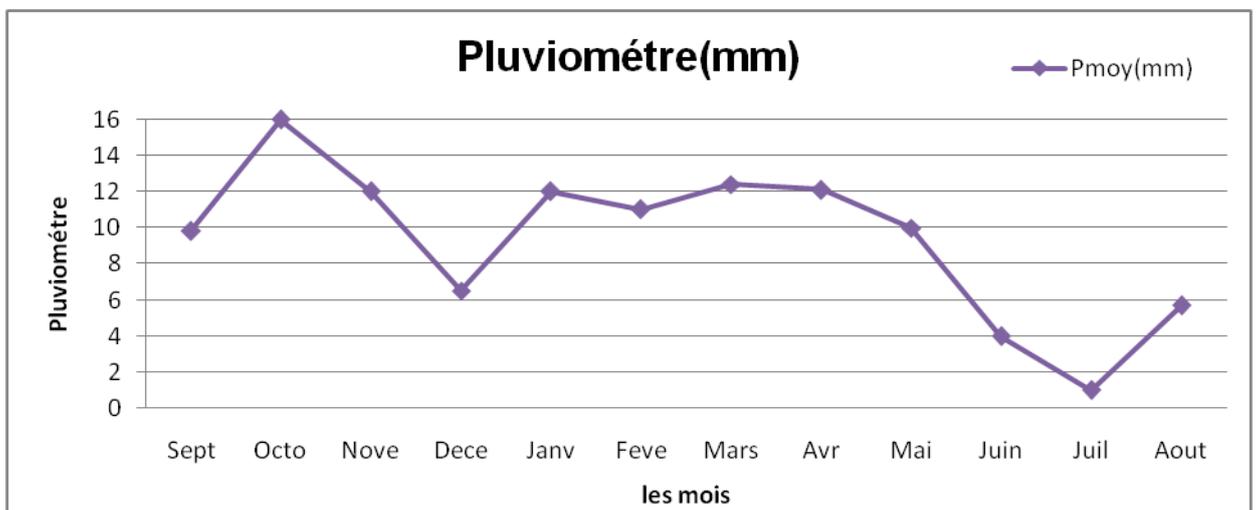


**Figure 1.2: Température annuelle (station météorologique de Ghardaïa 2008)**

**2-Pluviomètre :**

Les précipitations sont très faibles et irrégulières , elles varient entre 13 et 68 mm sur une durée moyenne de quinze (15à jour par ab .

Le nombre de jours de pluie ne dépasse pas onze (11à jours (entre les mois de janvier et Mars à , les pluies sont en générale torrentielles ,fluctuante et irrégulières durent peu de temps sauf cas exceptionnelles [2] .

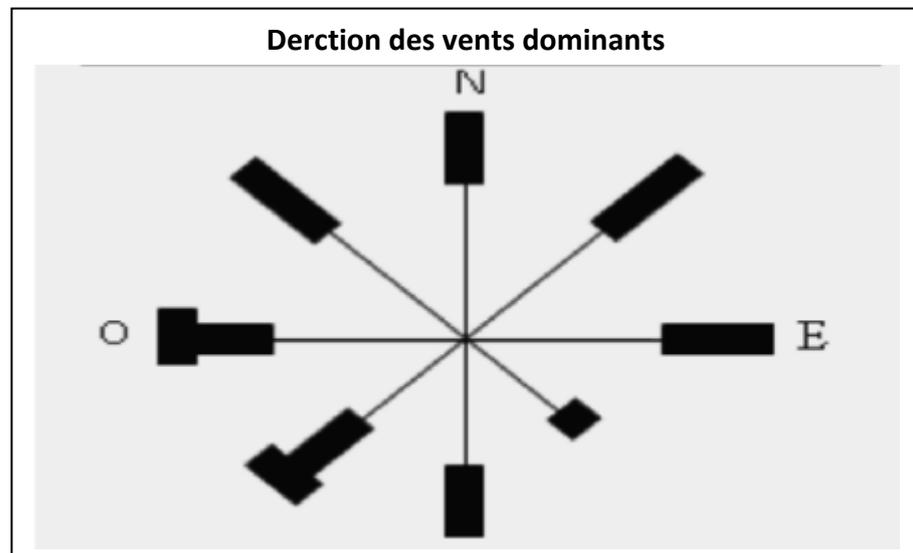


**Figure 1.3: pluviomètre annuelle (station météorologique de Ghardaïa 2008)**

**3- Les vents :**

Il n' ya pas de désert sans vents, Le vent est le facteur principal de la topographie de strique , pendant certaines périodes de l'année , en général en Mars et Avril ,on assiste au Sahara a de

véritables tempêtes de sable .Des Trompes de sable se déplacent avec violence atteignant plusieurs centaines de mètres de haut [2] .



**Figure 1.4:Direction des vents dominants (station météorologique de Ghardaïa 2008)**

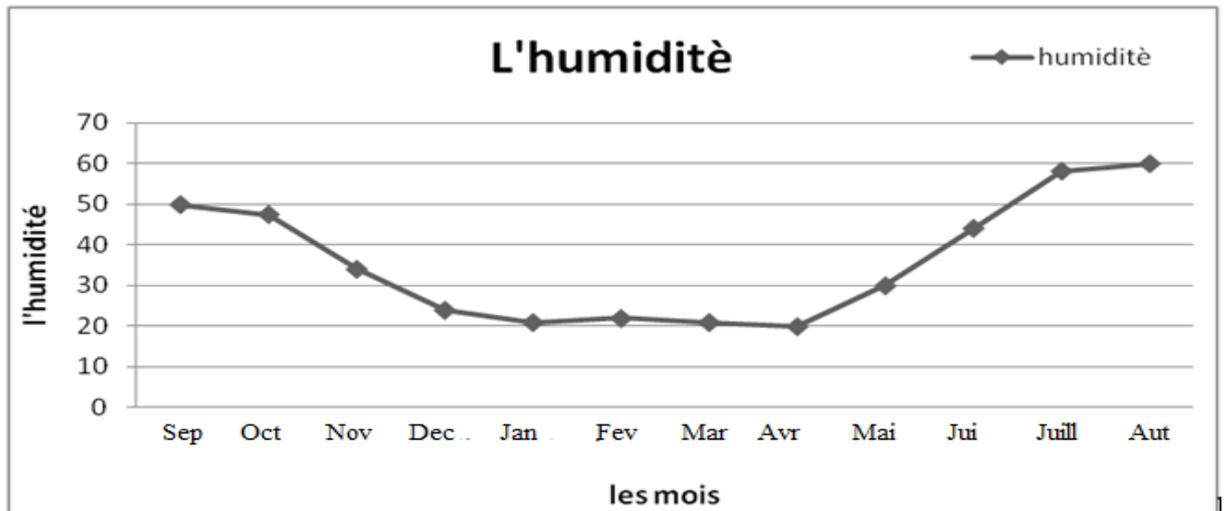
L'obscurité règne et toute activité cesse .Ces phénomènes peuvent durer a trois jours et plus , avec cependant une accalmie durant la nuit . Des masses de sable peuvent être transportées a des distances considérables .

Pour éviter les effets dévastateurs du vent sur les cultures , il est nécessaire de protéger celles-ci par des écrans suffisants. En région de désertique ,le vent et les particules de sable qui l'accompagnent imposent des contraintes a tous les niveaux de la vie sociale et économique ;Si l'homme ne peut pas changer les lois de la nature , il est cependant capable d'en prévoir les effets , de réduire ses conséquences néfastes et parfois aussi de les utiliser a des fins économiques , Les éoliennes peuvent dans certaines condition apporter un complément non négligeable d'énergie .

Les ergs , plaines caillouteuses qui courent vers l'horizon sans que le moindre relief vienne accrocher le regard .

#### 4- l'humidité relative

L'humidité relative dans la région de Ghardaïa est très faible Elle n'est supérieure à 50% que pour les mois d'octobre, novembre et décembre. Le reste de l'année, elle est très faible et oscille entre 20 et 40 % [3].

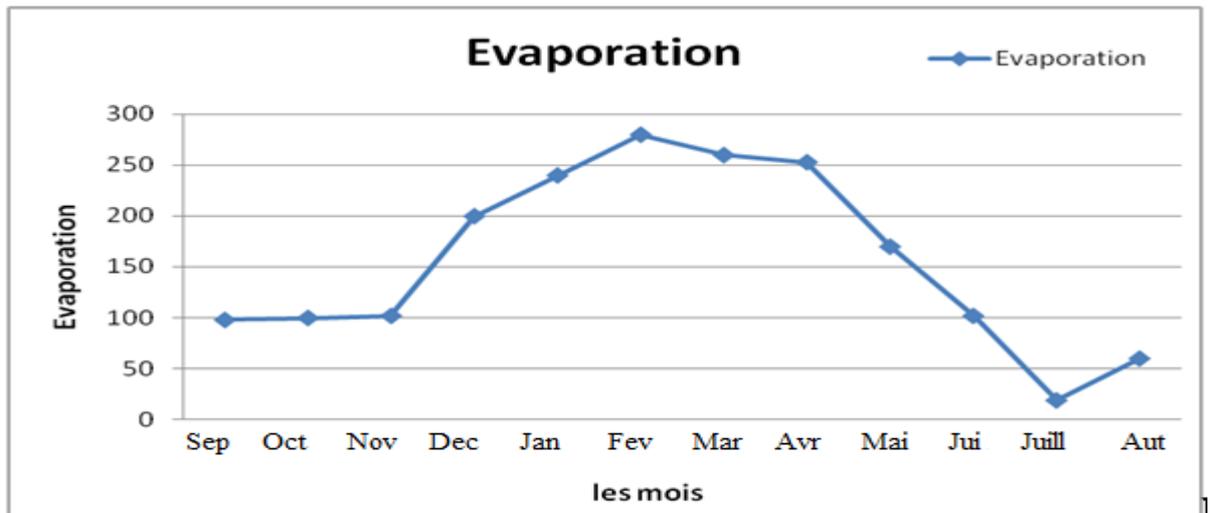


**Figure 1.5 Évolution des moyennes mensuelles de l'humidité relative (station météorologique de Ghardaïa 2008)**

#### E- évaporation :

L'évolution mensuelle de l'évaporation au cours de l'année 2002, montre qu'à l'exception du mois de novembre, le phénomène d'évaporation est très important. Il est supérieur à 100 mm durant la période allant de février à octobre et dépasse les 200 mm par mois pour la période mai-août.

La température élevée et les vents fréquents et violents provoquent dans la région de Ghardaïa un phénomène d'évaporation très intense [3].



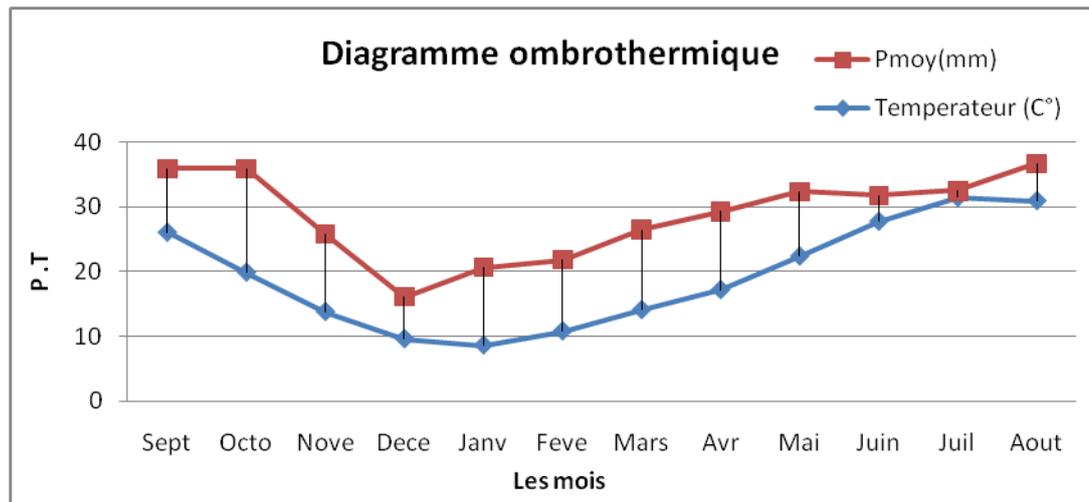
**Figure 1.6 Évolution moyenne mensuelle de l'évaporation (Station météorologique de Ghardaïa 2008)**

### 1.3.Synthèse climatique

La température et les précipitations représentent les facteurs les plus importants pour caractériser le climat d'une région donnée. Les périodes humides et sèches sont mises en évidence grâce au diagramme ombrothermique de Gaussen alors que l'étage bioclimatique est déterminé par le climagramme pluviométrique d'Emberger.

#### 1.3.1 .Diagramme ombrothermique de Gaussen

Le diagramme ombrothermique de Gaussen permet de définir les mois secs. Un mois est considéré sec lorsque les précipitations mensuelles correspondantes exprimées en millimètres sont égales ou inférieures au double de la température exprimée en degré Celsius. La représentation selon le diagramme ombrothermique de Gaussen de la région d'étude montre que la courbe thermique est entièrement positive par rapport à celle de la courbe ombrique, ce qui montre qu'il y a une période sèche qui s'étale sur dix mois de l'année et une courte période humide entre le mois de novembre et le mois de décembre [3] .



**Figure 1.7 Diagramme ombrothermique de Gausson de la région de Ghardaïa (Station météorologique de Ghardaïa 2008)**

## 1.4 .Occupation des sols

Dans la Wilaya de Ghardaïa, le secteur agricole est limité, il est à vocation phoénicienne. Sur les 8.656.000 Ha couverts par la superficie de la Wilaya 1.370.091 hectares sont affectés à l'agriculture et la superficie agricole utile est évaluée à 26.436 hectares. Dans la région du Ghardaïa 68 869 hectares sont affectés à l'agriculture et la superficie agricole utile est évaluée à 3 198 hectares (D.P.A.T., 2008). En considérant le facteur eau et les faibles précipitations, la superficie agricole utile exploitée se limite aux seules superficies bénéficiant d'une ressource hydrique (forages, puits). Le reste est constitué des parcours et des terres improductives des exploitations agricoles [3].

## 1.5. potentiel d'eau

### 1.5.1 Introduction aux sources d'eau

L'évolution de la vie est directement liée aux ressources en eau, qui sont essentielles pour satisfaire les besoins humains, les boissons, l'agriculture, l'industrie et l'énergie et la restauration des écosystèmes, ainsi que pour le développement social et économique et pour le développement durable. Bien que cela existe en quantité abondante, seule une petite partie de cette ressource précieuse est vraiment disponible pour la consommation humaine, animale et à des fins d'irrigation. Environ 97% du volume total d'eau existant dans notre planète est salé (océans et mers). Le volume restant de 3% existe sous forme de neige, de glace et de sous terre. Toutefois, selon le Rapport mondial des Nations Unies sur le développement de l'eau en

2003, on estime que plus d'un milliard de personnes n'ont pas accès à une boisson d'eau suffisante et sûre et environ deux milliards de personnes sont affectées par des pénuries d'eau dans plus de quarante pays . Par conséquent, un programme urgent d'approvisionnement en eau est nécessaire pour couvrir la demande future mondiale . Les systèmes de pompage d'eau à énergie renouvelable semblent être la solution prometteuse, en particulier pour les pays en développement, qui sont affectés par une faible pluviométrie et par la non disponibilité d'eau en saison chaude. En outre, les énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire, peuvent être utilisées dans les installations de purification et de dessalement pour produire de l'eau potable. [4]

### 1.5.2.Évaluation des sources d'eau au Sahara algérien

Le Sahara algérien couvre une superficie de plus de (2.000.000 km<sup>2</sup>) et s'étend des montagnes de l'Atlas Saharien aux frontières malienne, nigérienne et libyenne. La population estimée à trois millions d'habitants et demi, qui est généralement concentrée dans les villes du siège de wilayas dépassant un taux d'environ (150 000). Il se caractérise généralement par un climat extrêmement chaud et sec avec une température moyenne de 45 ° C, une faible humidité, des précipitations rares et irrégulières, en moyenne entre 50 et 200 mm par an, dans la partie nord et 12 mm par an dans la partie sud. Le Sahara algérien a également un nombre significatif de barrages potentiels pour la collecte de l'eau pendant les années humides afin de l'utiliser pendant les saisons sèches comme: El Gherza (Sidi Okbba, Biskra), Djorf -Torba (Bechar), Larouia (Brezina, El-Bayad ) Et Daya (Ghardaïa). Certaines régions sont spécifiées par une vitesse de vent significative qui peut atteindre les 6 m / s dans la région d'Adrar, causant des tempêtes de sable, en particulier au printemps et créant des mouvements et la formation de dunes. [4] .

Les principales régions semi-arides et sub-humides du Sahara sont situées dans le bassin d'Oued Righ dans le triangle de (Biskra-Oued-Souf-Touggourt), qui comprend le Melghig Chott (lac) couvrant une superficie d'environ 68 750 km<sup>2</sup> et Il se distingue par une grande rivière d'Oued Djedi . La pluviométrie moyenne annuelle dans ce bassin varie entre 200 et 300 mm par an. Ghardaïa situé dans la porte nord du Sahara et implique de nombreuses vallées riches en énormes eaux souterraines renouvelables et sous-humides de Meniaa. Ouargla, implique d'énormes eaux souterraines et le Chott de Malaha. Saoura, située dans le sud ouest de l'Algérie, couvrant une superficie d'environ 320 273 km<sup>2</sup> et impliquant; El

Bayadh, Bechar et Adrar. Les précipitations dans la région peuvent atteindre 200 mm au nord et diminuer à 70 mm au sud de la région . Ces régions impliquent les oasis principales, qui constituent la vie et la culture de la population. Cependant, la croissance de la population et la forte demande sur l'eau pour répondre aux besoins de l'agriculture et du bétail ainsi que l'utilisation aléatoire de techniques modernes pour pomper de l'eau à partir de sources souterraines peuvent affecter les ressources en eau et diminuer le débit d'eau, compromettent ainsi la diversité biologique, l'écosystème et le risque d'augmentation de l'eau dans certaines régions du Sahara, Meziani . La figure I.8 montre un système aquifère fossile avec émergence de la nappe phréatique dans l'oasis [4].

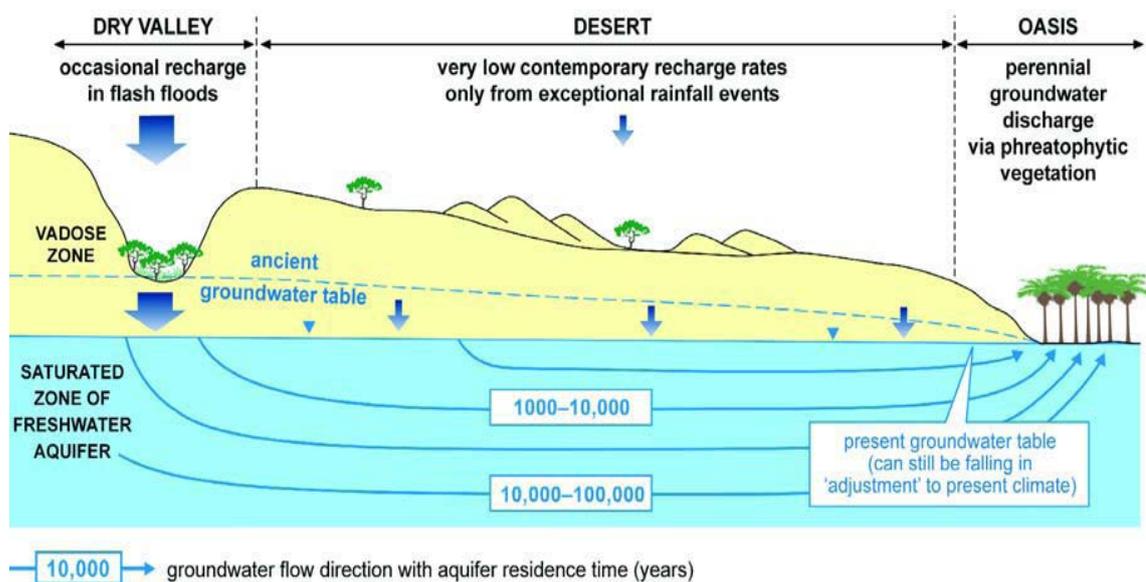
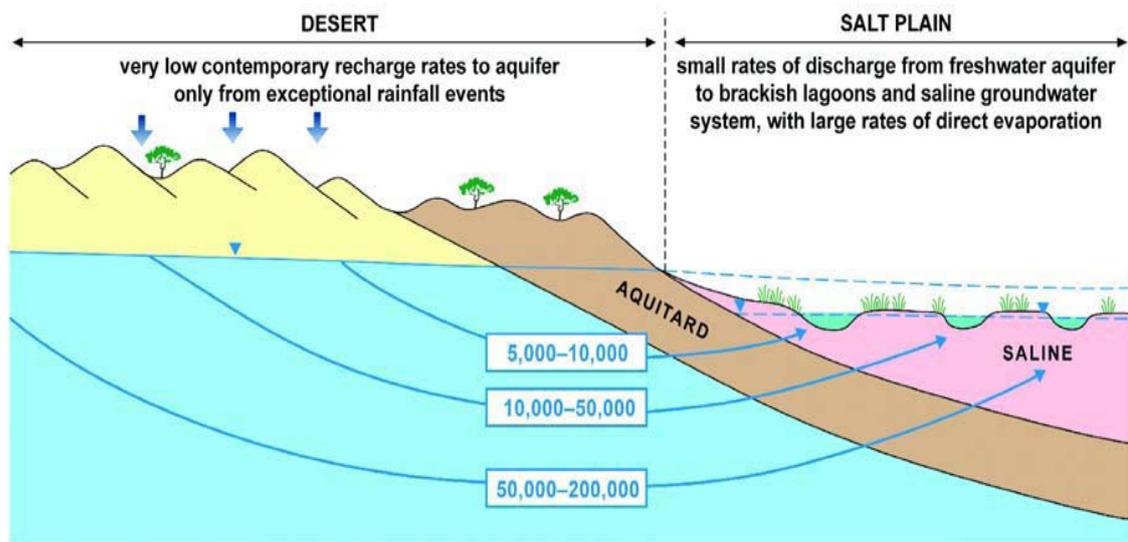


Figure 18 Section schématique d'un système d'aquifères fossiles avec l'émergence de la nappe phréatique dans l'oasis

La figure 1.9 montre un système aquifère fossile avec élévation de la nappe phréatique et la formation de Chott (lac Saline).



**Figure 1.9: Section schématique d'un aquifère fossile avec élévation de la nappe phréatique et formation de Chott**

### 1.5.3. Évaluation des sources d'eau dans le bassin de Ghardaïa

Les précipitations moyennes enregistrées dans Ghardaïa ne sont que de 60 à 67 mm, mais les journées de pluie soudaines qui se produisent au début de l'été et en automne sont la principale source de surface de l'eau de la région. Les barrages et les digues traditionnelles construites dans l'estuaire supérieur des vallées avec les systèmes de portes de contrôle des inondations sont la manière essentielle de collecter l'eau dans les vallées de la région. Daya Bendahoua est le principal barrage avec une capacité de stockage de 46 millions de mètres cubes d'eau, construit à la porte d'entrée de la vallée de M'Zab sur le delta de trois principaux cours d'eau; El-Haimeur, Bou-Brik et El-Biod. Les digues et les remous qui ont été utilisés pour collecter de l'eau, depuis de nombreux siècles, ont été renouvelés et élargis dans différentes entrées d'eau de la région. La vallée de Metlili, la vallée de Sebseb et la vallée d'Oued Zeghir en aval de la région de Daya (annexe à l'oued de Laghouat) ont connu de fréquentes inondations pendant les flux surpris et créent une situation privilégiée. La photo d'inondation de la vallée d'Intissa est illustrée à la figure 1.10 [4].

Ces vallées constituent la colonne vertébrale des sources d'eau pour les bassins voisins, puisque les débits de l'eau sont conduits dans les bassins de l'est et de l'ouest, comme les bassins Ouargla et El-Bayad. Les eaux souterraines sont également la principale source d'approvisionnement en eau, dans toutes les vallées de M'Zab, où la plupart des puits traditionnels ont été creusés. On a estimé que l'extrait

Les eaux souterraines apportées jusqu'à 63% des besoins dans l'eau dans la région. Les vallées de cette région sont également les domaines des vastes activités agricoles et de l'élevage. Les principales vallées sont: la vallée de M'Zab traverse la ville de Ghardaïa, où la moyenne de la nappe phréatique varie de 20 m à 60 m de vallées. La vallée de Guerrara se trouve dans le nord est de Ghardaïa, situé dans une zone de raccordement de différents débits d'eau et de vallées détournées des assiettes hautes. La vallée de Sebseb et Mansoura dans le sud, où les moyens du niveau d'eau statique varient de 15 m à 50 m. Le bassin d'El-Goléa (Meniaa), à environ 270 km au sud de Ghardaïa, est le bassin semi-aride le plus important de la région, qui contient d'énormes stocks d'eau douce, y compris sa zone sous- Humide connue sous le nom de son célèbre lac El-Goléa (Chott). La nappe phréatique varie de 5 m à 20 m dans la vallée de Meniaa et d'environ 10 m à 15 m à Hassi-Gara. La figure 1.11 et la figure 1.12 montrent, respectivement, un puits traditionnel dans Ghardaïa Oasis et un aperçu du lac El-Goléa [4] .



Figure 1.10. Inondation de la vallée de M'Zab [Oued Intissa le 1er octobre 2008] [4]



Figure 1.11. Figure Bien traditionnel dans la région de Ghardaïa Oasis [4]



Figure1.12 GénéralView of El-Goléa Chott (Lake) [4]

#### 1.5.4. Foggara: patrimoine hydraulique de la région de Ghardaïa

En ce qui concerne la précieuse nature des eaux souterraines en tant que principale ressource dans cette région, les habitants de cette région (Mozabites) ont développé une technique traditionnelle de distribution d'eau des tunnels souterrains pour récolter l'eau de pluie et la détourner vers l'oasis. Cette méthode est connue dans cette région par le «Foggara» et elle est réalisée grâce à une distribution de réseau précise. Tout d'abord, l'eau est recueillie dans le sous-sol et ensuite, à la deuxième étape, elle traverse des tunnels souterrains horizontaux avec une légère inclinaison menant à différentes oasis. La pente des tunnels est très faible pour garantir que l'eau coule à très faible vitesse. À l'étape finale, la technique assure une distribution équitable de l'eau à tous les jardins et maintient également de bonnes mesures de protection contre les inondations [4].

Au fil des siècles, ce système d'irrigation efficace et durable a été appliqué par les Mozabites. Ce système traditionnel permet à l'oasis de vivre sous les conditions météorologiques locales d'aridité, alors que la particularité des écosystèmes est respectée. Dans ce contexte, la réhabilitation et le renouvellement des Foggaras sont recommandés. On a étudié le Foggara classique (Foggara de Gourara), situé au milieu de la rivière Mzab. Il se compose d'une galerie ovoïde de 200 m de long, équipée de 9 puits d'air et reliée à une suite de 900 m de long. Il collecte de l'eau de l'aquifère continental intercalaire et le distribue avec un débit d'eau de 5 m<sup>3</sup> / s. La figure 1.13 montre la technique de distribution de l'égalité des volumes d'eau, dans la dernière étape du Foggara [4].



Figure 1.13 Système de transport et distribution d'eau [Foggara, dans la vallée de M'Zab] [4]

Le Foggara est classé aujourd'hui parmi les patrimoines précieux de l'humanité. L'ingéniosité de cette technique dans la collecte et la distribution de l'eau révèle, dans ce qui suit:

- Assure le transport de l'eau par gravité, pendant toute l'année.
- Prévenir l'évaporation en assurant l'écoulement de l'eau à travers un abri souterrain
- Assure une répartition équitable de l'eau
- Durable et préserver la particularité des écosystèmes
- Préserver la dégradation de la nappe phréatique en protégeant le système de remplissage de la nappe phréatique et évitant le raclage du sol et l'usure des tunnels [4].

### **I.5.5. Conclusion**

Après les études préliminaires, on a conclu les données qui nous aideront pour dimensionnement un système de pompage solaire pour l'irrigation dans la région de Ghardaïa et maintenant nous abordons le point important, à savoir l'identification du gisement solaire et la composition d'un système photovoltaïque.

## **Chapitre 2**

### **Le Gisement solaire**

## 2. Introduction

Ce chapitre présente les bases indispensables à la compréhension du sujet. Nous aborderons ainsi en premier lieu quelques notions sur la source d'énergie que présente le soleil, et son application dans le domaine photovoltaïque.

Le développement, l'optimisation et la caractéristique de cellules photovoltaïques impliquent une certaine connaissance de cette source d'énergie utilisée et du rayonnement solaire global. Pour cette raison, on va définir quelques notions sur le gisement solaire comme la géométrie solaire, les données astronomiques, le rayonnement global et le spectre solaire.

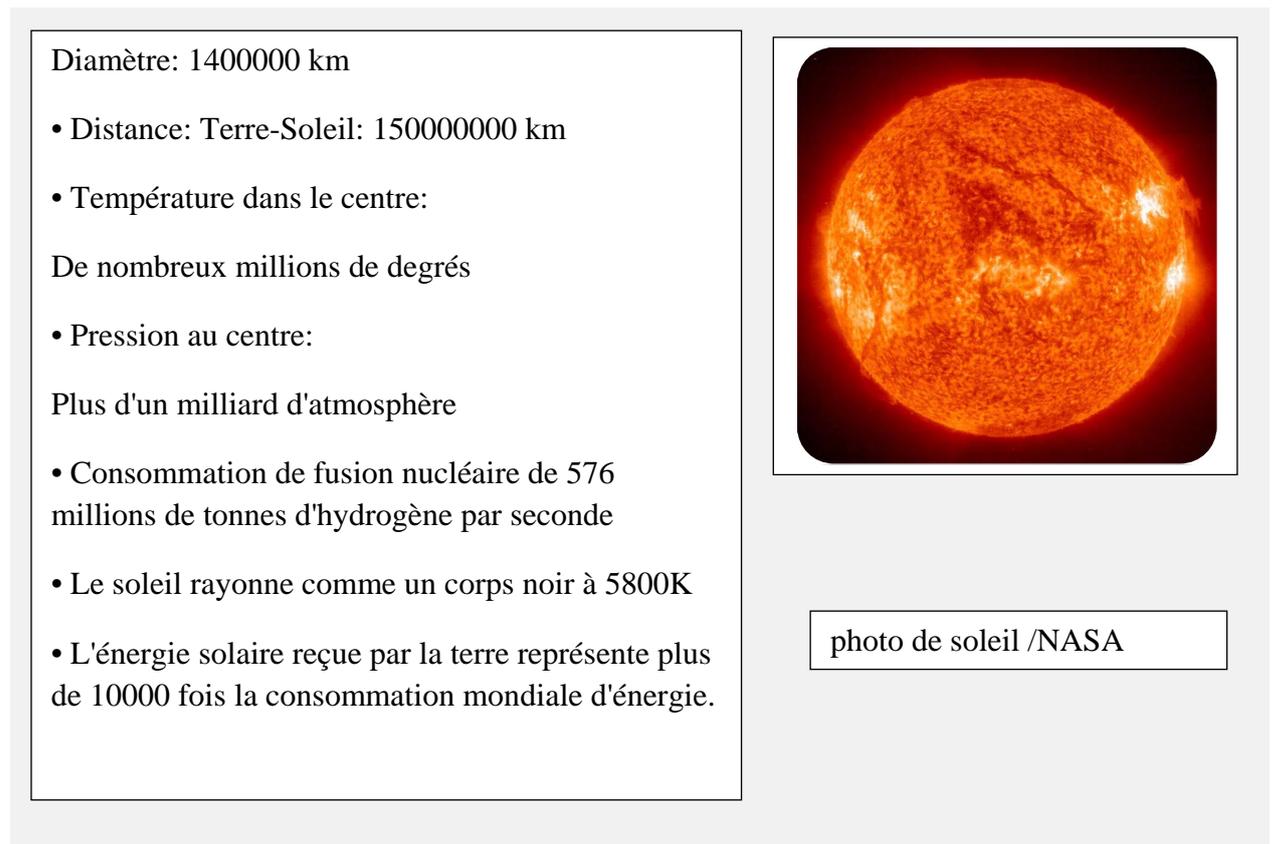
### 2.1 potentiel solaire

La principale source de lumière sur Terre est le soleil et la principale source d'énergie est la lumière du soleil. Depuis les décennies lointaines, l'humain n'a utilisé que des sources d'énergie renouvelables telles que l'hydroélectricité, le vent et en particulier l'énergie solaire pour soutenir et améliorer sa vie. La lumière et la chaleur sont les plus connues de l'énergie solaire qui ont été utilisées depuis longtemps. En fait, l'agriculture est considérée comme le principal domaine employant l'énergie de l'énergie solaire pour fournir les nécessités de vivre pour l'être humain et animal; Comme séchage des cultures et la fabrication des aliments et, en plus de cela, la puissance humaine était le seul consommateur d'énergie utilisé. Cependant, cette ancienne manière a été rapidement modifiée lorsque les machines sont entrées dans le secteur agricole pour améliorer la production, apparue dans tous les pays industrialisés en développement. Pour le moment, les sources de combustibles fossiles sont les plus dominantes pour satisfaire les besoins de l'ensemble de l'énergie humaine, mais elles ont également de graves répercussions sur l'environnement. Les demandes d'énergie ont augmenté rapidement en raison de l'augmentation élevée de la population et des industries; Alors que le réchauffement climatique est devenu un défi sérieux. À l'heure actuelle, la tendance humaine se concentre sur l'énergie renouvelable et l'énergie solaire semble être la source la plus prometteuse requise qui peut être utilisée pour produire de l'énergie électrique grâce au processus photovoltaïque. L'utilisation de l'énergie abondante et gratuite du soleil est également l'avantage important majeur, la conversion de l'énergie solaire est propre et a des coûts de maintenance plus faibles par rapport à d'autres alternatives, par ex. Vent, biomasse. À l'heure actuelle, l'énergie solaire devient la solution la plus préférable dans différentes applications pour les zones rurales, comme la production d'électricité, le pompage d'eau et le

chauffage. En outre, la réduction continue de leurs coûts promet un avenir brillant pour ces technologies de génération d'énergie pour être la compétition de la technologie énergétique conventionnelle. Néanmoins, ces systèmes sont encore confrontés à d'importants obstacles qui empêchent leurs applications répandues en raison de leur faible efficacité et de leurs coûts d'investissement élevés par rapport à d'autres technologies renouvelables. En outre, la dépendance à l'égard des conditions météorologiques et du savoir-faire de la technologie de l'énergie solaire sont les soins importants des concepteurs et des chercheurs. Par conséquent, l'évaluation du potentiel de l'énergie solaire est encore le défi important avant toute étude de conception [4] .

## 2.2. Le Soleil

Le soleil est une boule gigantesque de gaz ou étoile jaune d'environ 1,4 million de kilomètres de diamètre, soit 109 fois celle de la terre. Sa surface est d'environ 12 000 fois celle de la terre. La masse du soleil est de 333 000 fois celle de la terre et représente environ 99,9% de la masse totale de l'ensemble du système solaire. 73% de la masse du soleil est l'hydrogène, à des températures élevées suffisantes pour provoquer une fusion nucléaire alors que 25% est de l'hélium. Le reste de 2% se compose d'éléments plus lourds: l'oxygène, le carbone, le fer et un peu d'autres éléments. Le soleil est la source de l'insolation et du four thermonucléaire qui fusionne les atomes d'hydrogène dans l'hélium. La fusion nucléaire est une réaction nucléaire dans laquelle les noyaux d'hydrogène se fusionnent pour former des noyaux d'hélium et libèrent de l'énergie, où environ 120 millions de tonnes de matière, le plus souvent, sont converties en hélium au soleil chaque minute. La perte de masse résultante est convertie en environ  $3,8 \times 10^{20}$  MW d'énergie électromagnétique qui rayonne vers l'extérieur de la surface vers l'espace; Lobbes et Gilbert. La taille du soleil détermine sa température et la quantité d'énergie rayonnée. La lumière du jour est l'une des parties les plus importantes du spectre solaire qui forme la bande de l'énergie du soleil, qui peut être combinée avec le jour et la nuit.



**Figure 2.1 la photo du soleil et ses caractéristiques**

## 2.2 Géométrie solaire

### 2.2.1 Le système terre-soleil

Le soleil est une sphère de matière gazeuse ,composée principalement d'hydrogène et d'hélium ,dont le diamètre atteint environ 1.4 million de km.

La terre décrit autour du soleil une trajectoire légèrement elliptique dont le soleil occupe l'un des foyers .Sa distance moyenne est de 149.6 millions de Km ,avec une variation de  $\pm 1.7\%$  .

La terre traverse le grand axe de l'ellipse le 2 janvier (position la plus proche ) et le 2juillet ( la plus éloignée du soleil ).Depuis la terre , le diamètre du soleil est vu sous un angle de  $0.5^\circ$  .

[4] .

L'axe de rotation de la terre sur elle-même est incliné de  $23^{\circ}27'$  par rapport au plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre ). On appelle déclinaison l'angle forme par l'axe terre-soleil avec le plan de l'équateur a un moment donne de l'année . la déclinaison d'vaut donc +  $23^{\circ}27'$  au solstices d'été . $23^{\circ}27'$  au solstice d'hiver , et est nulle aux équinoxes .Dans l'approximation d'une trajectoire circulaire , la déclinaison s'écrit , pour chaque jour de l'année :

$$\sin \delta = 0.4 \cdot \sin t \dots\dots\dots(2.1) [4] .$$

Ou : t désigne la coordonnée angulaire de la terre en prenant l'équinoxe de printemps pour origine .[4]

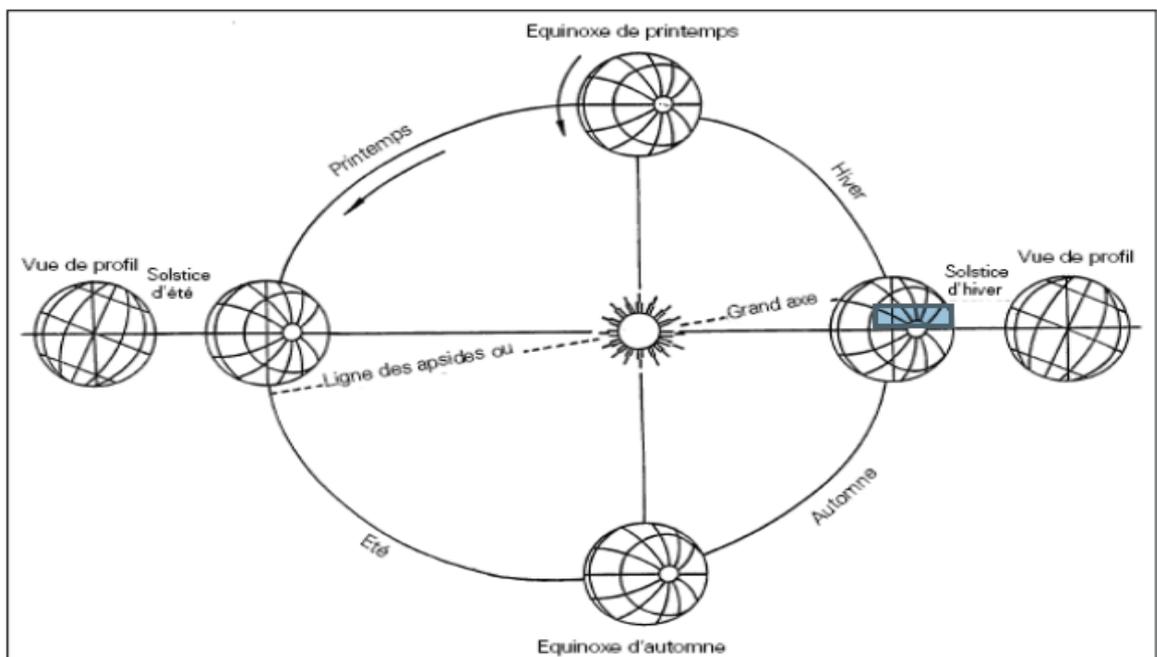


Figure 2.2:Plan de l'écliptique : L'orbite terrestre et les saisons

### 2.2.2 Unîtes utilisées

1) **L'éclairement** : est défini comme une puissance reçue par une surface .2 s'exprime en  $W/m^2$  (watt par mètre carre ) .Le S.I (système international d'unîtes ) recommande d'utiliser le symbole E. [4]

**2) L'irradiation ou rayonnement :** est l'énergie reçue par une surface . elle s'exprime en  $\text{J m}^{-2}$  ( joule par mètre carré) . L'ISES (international solar energy society ) recommande le symbole  $H$  , D'autres unités plus courantes sont le  $\text{Wh/m}^2$  (Wattheure par mètre carré)[4].

Le soleil décharge continuellement énorme quantité d'énergie radiante dans le système solaire , le terre intercepte une toute petite partie de l'énergie solaire rayonnée dans l'espace .Une moyenne de 1367 watts atteint chaque mètre carré du bord externe de ce que l'on appelle la constante solaire a  $1367 \text{ W/m}^2$  .

La part d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser .Celle -ci est caractérisée par le nombre de masse d'air  $AM$  [4] .

Le rayonnement qui atteint le niveau de la mer à midi dans un ciel clair est de  $1000 \text{ W/m}^2$  et est décrit en tant que rayonnement de la masse d'air "1"(ou  $AM1$ ).lorsque le soleil se déplace plus bas dans le ciel ,la lumière traverse une plus grande épaisseur d'air ,perdant plus d'énergie . puisque le soleil n'est au zénith que durant peu de temps , la masse d'air est donc plus grande en permanence et l'énergie disponible est donc inférieure à  $1000 \text{ W/m}^2$  [4] .

Les scientifiques ont donné un nom au spectre standard de la lumière du soleil sur la surface de la terre : $AM1.5G$  ou  $AM1.5D$  .le nombre "1.5"indique que le parcours de la lumière dans l'atmosphère est 1.5 fois supérieur au parcours le plus court du soleil ,s'est-à-dire lorsqu'il est au zénith (correspondant à une inclinaison du soleil de  $45^\circ$  par rapport au zénith).

Le  $\langle\langle G \rangle\rangle$  représente le rayonnement "global "incluant rayonnement direct et rayonnement diffus et la lettre  $\langle\langle D \rangle\rangle$  tient compte seulement du rayonnement direct.

**Normalisation:** les conditions standards de qualification des modules photovoltaïques sont: un spectre  $AM1.5$  sous un éclairement de  $1000 \text{ W/m}^2$  et une température de  $25^\circ\text{C}$ .

les constructeurs de panneaux spécifient les performances de leur matériel dans les conditions normalisées citées ci dessus (S.T. C:standard test conditions) [4] .

### 2.2.3 Constante solaire

une surface plane d'un mètre carré perpendiculaire au rayonnement solaire et située à la limite de la atmosphère terrestre reçoit une puissance rayonnée fonction de la distance solaire-terre .cette distance varie quelque peu de l'année .comme tenu de la légère excentricité de l'orbite terrestre il en est de même de la puissance reçue par la surface en question.

On appelle la constante solaire noté  $C^*$ , la valeur moyenne de flux solaire reçu à la limite de l'atmosphère terrestre [4] .

On a :  $C^* = 1353 \text{ W/m}^2$

**Tableau 2.1:** valeur du flux solaire à la limite de la l'atmosphère terrestre. Ecart relatif par rapport à la constante solaire  $C^* = 1353 \text{ W/m}^2$ .

Mois	Puissance surfacique $\text{W/m}^2$	Ecart relatif en $\%/C^*$
Janvier	1399	+3.40
Février	1394	+3.03
Mars	1379	+1.92
Avril	1354	+0.07
Mai	1333	-1.48
Juin	1312	-3.03
Juillet	1308	-3.33
Aout	1312	-3.03
Septembre	1329	-1.77
Octobre	1350	-0.22
Novembre	1373	+1.48
Décembre	1392	+2.88

## 2.3 Données astronomiques

### 2.3.1 la latitude du lieu

L'angle de latitude est l'angle entre une ligne tracée d'un point sur la surface de la terre avec le centre de cette dernière ,et la cercle équatorial de la terre . l'intersection de cercle équatorial avec la surface de la terre forme l'équateur, est indiquée en tant que latitude de  $0^\circ$ , le pôle nord par latitude  $+90^\circ$  et le pôle sud par la latitude  $-90^\circ$  [2] .

Cette convention de signe affecte le signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe (-) tous les lieux de l'hémisphère sud. la latitude sera désignée ici par lettre ( $\sigma$ ), et pour la ville de Constantine est environ  $36^\circ$  [4] .

### 2.3.2 Longitude

La longitude d'un lieu correspond à l'angle par deux plans méridiens (passant par l'axe des pôles). l'un étant pris comme origine (méridien de Greenwich  $0^\circ$ ) et l'autre déterminé par le lieu envisagé. [4] .

La longitude d'un lieu peut aussi être comprise entre  $-180^\circ$  et  $+180^\circ$ , à tout écart de  $1^\circ$  de longitude correspond à un écart de 4 minutes de temps.

On affecte du signe (+) les méridiens situés à l'est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'ouest.

**2.3.3 l'altitude**

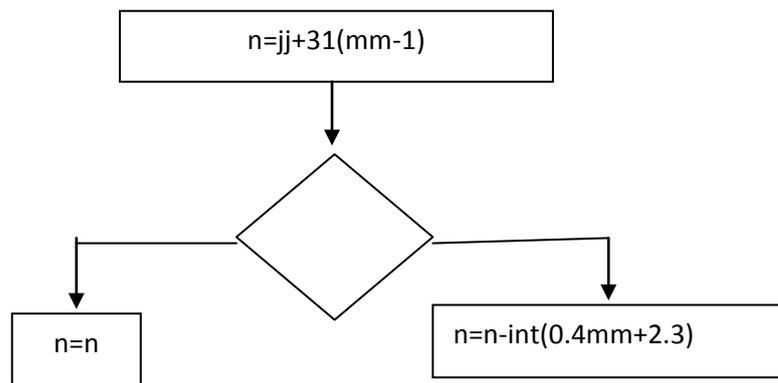
L'altitude d'un point correspond à la distance verticale en mètre entre ce point et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer) [4].

**II.3.4 Déclinaison**

Est la distance angulaire des rayons du soleil nord ou sud d'équateur ;C'est l'angle entre la lignes étendant du centre de la terre, et la projection de cette ligne le plan équatorial de la terre . [4].

Elle est donnée la formule suivante:

$$\delta = 2.45 \sin[360(280+n)/365] \dots \dots \dots (II.2) [4].$$



**Figure 2.3 .organigramme de calcul du numéro du jour de l'année.**

La fonction "int" consiste à prendre la partie entière de la valeur du terme entre parenthèse.

n: le numéro du mois.

jj: le nombre de jours

**2.3.5 l'angle horaire:**

C'est l'angle formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu (méridien) il définit le vrai temps solaire. [4].

$$\omega = 15(12 - TSV) \dots \dots \dots (II.3) [4].$$

Il est midi TSV. si  $\theta$

TSV; vrai temps solaire

### 2.3.6 temps solaire moyen

Il est appelé parfois le temps local (TSM).

$$\text{TSV} - \text{TSM} = \text{Et} \dots \dots \dots (\text{II.4}) [4] .$$

Et: équation du temps (min)

Elle est donnée par:

$$n = \frac{360}{365} \chi(n, -81) \dots \dots \dots (\text{II.5}) [4] .$$

### 2.3.7 temps universel (TU)

Est le temps moyen du méridien de Greenwich (méridien origine) Appelé encore GMT (Greenwich Mean Time), pour un lieu situé à longitude L:

$$\text{TU} = \text{TSM} - \left( \frac{L}{15} \right) \dots \dots \dots (\text{II.6}) [4] .$$

### 2.3.8 Temps légal :

Il est lié au  $\langle\langle \text{TU} \rangle\rangle$  par une différence fixe exprimée en un nombre entier d'heures qui dépend de la longitude, et des coutumes de chaque pays [4] .

### 2.4 Diagramme solaire :

L'énergie solaire reçue par un capteur dépend de l'orientation que fait celui-ci avec le soleil : et pour connaître rapidement les coordonnées horizontales de l'astre du jour en fonction de la journée choisie et de l'heure désirée , on trace un diagramme circulaire appelé diagramme solaire [4].

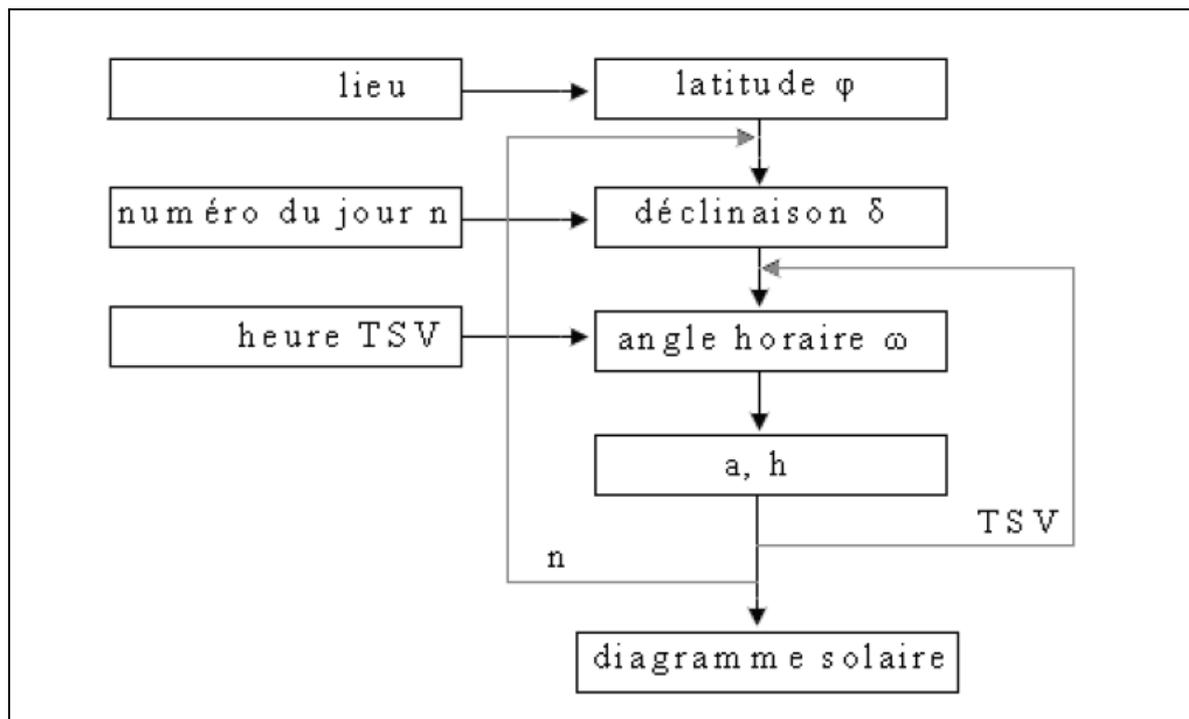


Figure 2.4: Organigramme simplifié permettant le traçage du diagramme solaire. [4]

# **Chapitre 3**

## **La conversion photovoltaïque**

### 3. La conversion photovoltaïque

La conversion de l'énergie solaire est une opération qui consiste à transformer en énergie électrique l'énergie des photons provenant du soleil sous forme d'ondes électromagnétiques. Pour obtenir cette opération, il est nécessaire de mettre en œuvre des dispositifs optoélectroniques appropriés appelés « cellules solaires » ou « photopiles solaires ».

#### 3.1. semi-conducteur

Un semi-conducteur est un matériau dont la concentration en charges libres est très faible par rapport aux métaux. Pour qu'un électron libéré participe à la conduction, il doit d'abord devenir libre dans un semi-conducteur et participer à la conduction des énergies supérieures (bande de conduction). C'est l'énergie du "band gap",  $E_g$ , en électronvolt (eV).

Cette valeur seuil est propre à chaque matériau semi-conducteur et va de 1,0 à 1,8 eV pour les applications photovoltaïques. Elle est de 1,1 eV pour le silicium cristallin (c-si), et 1,7 eV pour le silicium amorphe (a-Si), [5].

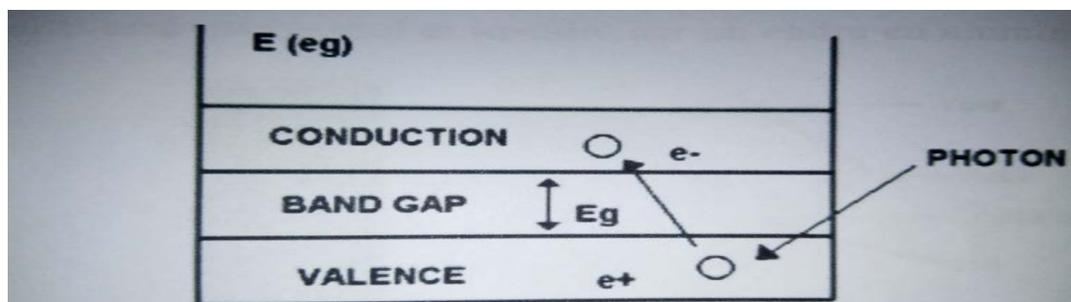


Figure 3.1 Schéma explicatif du phénomène

#### 3.2 le rayonnement solaire

Les rayonnements solaires concernés par le photovoltaïque sont des rayonnements électromagnétiques (ultraviolet, rayonnement visible et infrarouge). Ils peuvent être divisés en trois types : rayonnement direct, rayonnement diffus provenant de l'atmosphère et rayonnement réfléchi provenant du sol. Le rayonnement solaire à cause de la partie invisible (les infrarouges) qui représentent plus de la moitié de ce rayonnement. Par ailleurs, lorsque le soleil est voilé (nuages, vent de sable), une grande partie de l'énergie solaire n'arrive pas au niveau du sol (de l'ordre de 50 à 70%). [5].

Il faut correctement distinguer deux notions qui caractérisent le gisement solaire :

- Le rayonnement correspond à la puissance instantanée qui est reçue au sol. Il s'exprime en watt par mètre carré ( $W/m^2$ ). Par temps clair le rayonnement solaire maximal est voisin de  $100 W/m^2$  :
- l'irradiation ou ensoleillement correspond à l'énergie totale qui est reçue sur un plan horizontal, pour une durée déterminée (souvent par jour). Elle peut s'exprimer en  $KW/m^2.j$  en moyenne annuelle [5].

Ces données sont variables en fonction du site, de l'heure de la journée et de la saison.

### 3.2.1 types de rayonnement

- Le rayonnement direct est le rayonnement reçu directement du soleil. Il peut être mesuré par un pyréliomètre
- Le rayonnement diffus est le rayonnement provenant de toute la voûte céleste. Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages. Il peut être mesuré par un pyranomètre avec écran masquant le soleil.
- Le rayonnement solaire réfléchi ou l'albédo du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant. Le rayonnement global est la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface. Il est mesuré par un pyranomètre ou un solarimètre sans écran [5].

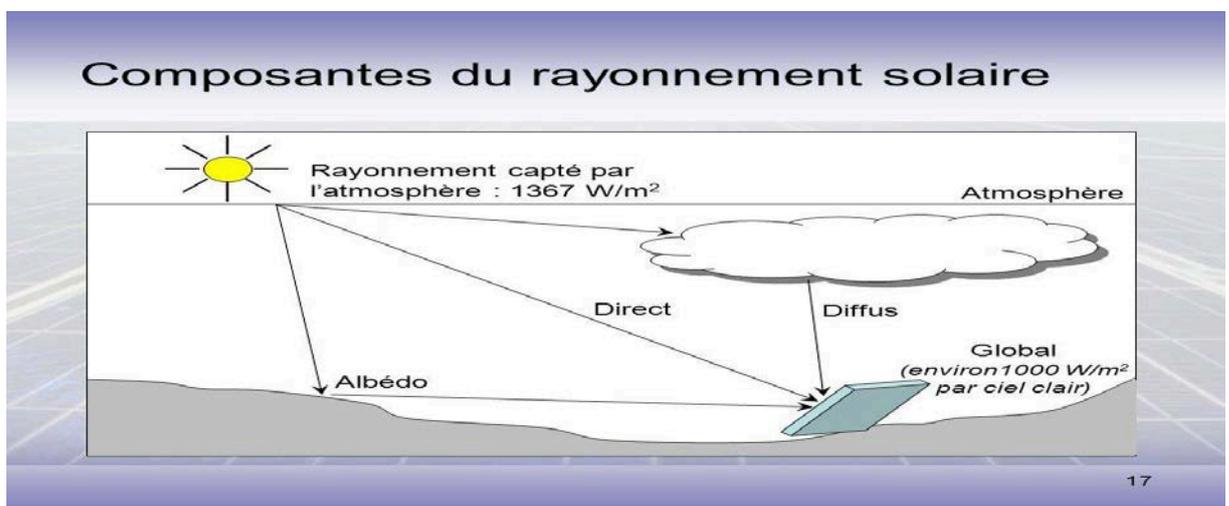


Figure 3.2: Les composantes du rayonnement solaire

### 3.3. l'effet photovoltaïque

#### 3.3.1 les cellules photovoltaïques ou photopiles

semi-conducteur qui transforment directement la lumière solaire en électricité .elle dépôts sur un substrat.les matériaux les plus connus sont :

- le silicium(Si)
- le sulfure de cadmium (CdS)
- le tellure de cadmium (Cd Te)
- l'arséniure de gallium (As Ga)
- le germanium(Ge)
- le phosphore d'indium(InP)

toute fois ,le matériau le plus couramment utilisé est le silicium pur obtenu a partir de la silice (quartz ou sable ) par transformations chimiques et métallurgiques .

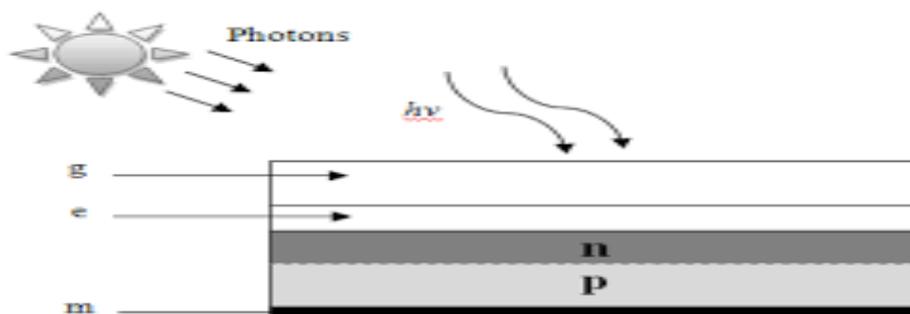


Figure 3.3 Schéma d'une cellule solaire

#### 3.3.2 La cellule photovoltaïque

A la base .une cellule photovoltaïque fournit un courant sous une faible tension (de l'ordre de 0.6 V en circuit ouvert ) pour obtenir une tension plus importante , il est nécessaire de raccorde plusieurs cellules en série . Cet ensemble de la cellule est encapsule de façon étanche afin de les protéger de l'humidité et des choc .L'assemblage constitue un module photovoltaïque .Le module devient alors l'élément de base de tout le système d'énergie photovoltaïque .

Pour obtenir une puissance électrique exploitable ,plusieurs modules peuvent être raccorde ensemble pour forme un panneau photovoltaïque . [5]

La valeur du courant recueilli aux bornes d'une cellule photovoltaïque pour une tension donne est déterminée par la nature et la qualité du matériau semi-conducteur .La capacité\_ a fournir plus ou moins d'énergie pour un module PV dépendra donc:

- du type de cellule photovoltaïque retenu:
- du nombre de cellules montées en série sur ce panneau .

Le nombre d'électrons libres par une cellule pour une unité de temps donné dépend pour sa part des caractéristique du semi-conducteur ,mais aussi fortement du flux de photons arrivant sur la cellule .Le courant de sortie d'un panneau solaire dépendra donc :

- de l'ensoleillement .
- de l'orientation du modèle par rapport au soleil (un panneau perpendiculaire aux rayons du soleil reçoit le plus grand flux de photons ) .
- du nombre de circuits de cellules montés en parallèle .

La tension aux bornes d'un module PV ,ainsi que la puissance électrique qu'il fournit sont donc déterminées fortement par les choix du constructeur (nombre de cellules en série et dimension des panneaux ) .Les tensions standard sont le 12V .D'autre tension ,adaptées à des besoins très spécifiques ,sont imaginables . Les panneaux risquent alors de couter plus cher s'ils ne sont pas produits en série [5] .

### 3.3.3 Module au panneau photovoltaïque

A fin d'augmenter la puissance et/ou la tension d'un générateur , on peut associer plusieurs modules , qui constituent alors un panneau photovoltaïque pour les gros générateurs , le panneau est également appelé "champ photovoltaïque" . Le type de montage (série ou parallèle , nombre de panneaux ) dépend ici des paramètres d'utilisation du générateur de courant (puissance requise, tension aux bornes des appareils ).Avant de décrire ces différents types de montages ,nous foison un bref rappel d'électricité [5] .

Rappel succinct des mesures utilisé en électricité :

Concernant l'électricité photovoltaïque, et dans le cas d'une utilisation en courant continu, sept variables sont couramment utilisées :

- ⇒ la tension (U) exprimée en volt (V);
- ⇒ l'intensité (I) exprimée en ampère (A);
- ⇒ la puissance (P) exprimée en watt (W);
- ⇒ le temps (t) exprimé en heures (h);
- ⇒ l'énergie (E) exprimée en watt-heure (Wh);
- ⇒ la résistance crête exprimée en watt-crête (WC).

**Ces grandeurs sont :**

-système pendant un temps t est égale à:  $E=P.t$ :

-dans le cas d'un système n'impliquant reliées entre elles :

-la puissance est le produit de l'intensité par la tension :  $P=U.I$ ;

-l'énergie fournie par un st, dans les utilisations, que des résistances peut d'une résistance totale R, la tension est égale au produit de la résistance par l'intensité :  $U=R.I$

Enfin, on appelle puissance-crête d'un module, exprimée en Wc (watt-crête) ou watt-peak (Wp) en anglais, la puissance qu'il délivre sous un rayonnement solaire de  $1000\text{W/m}^2$  dans les conditions standard (température de  $25^\circ\text{C}$  et module présente perpendiculairement au rayon du soleil).

Notons que l'énergie, souvent exprimée en watt-heure en photovoltaïque, s'exprime en joules dans le système international. Elle s'exprime aussi parfois en calories (l'ancienne unité).

Les équivalences sont les suivantes : 1 watt-heure = 3600 joules, et 1 calories = 4.186 joules. [5]

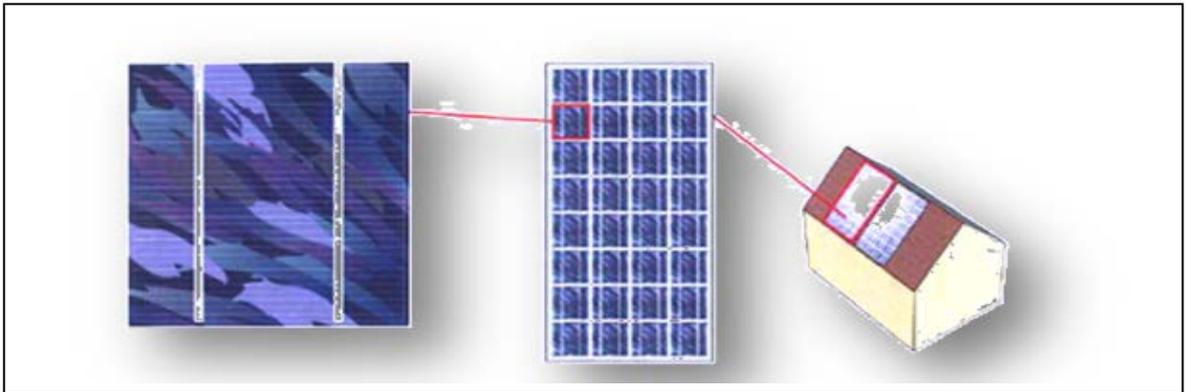
### 3.4 .Générateur photovoltaïque

L'élément de base d'un base d'un générateur photovoltaïque est la cellule solaire.

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photons), génère une tension électrique (volt) (cet effet est appelé l'effet photovoltaïque) le courant obtenu est un courant continu et la tension obtenue est de l'ordre de 0.5 V

Les cellules photovoltaïque sont constituées de semi-conducteur à base de silicium (Si), de sulfure de cadmium (CdS) ou de tellure de cadmium (CdTe). [5]

Elles se présentent sous la forme de deux fines plaques en contact étroite. Ce semi-conducteur est pris en sandwich entre deux électrodes métalliques et le tout est protégé par une plaque de verre.

Figure 3.4 *Cellule**Module**Générateur*

### 3.4.1 .Montage parallèle

Tous les pôles positifs sont reliés entre eux et tous les pôles négatifs entre eux.

Lorsque des modules semblables sont montés en parallèle ,la tension résultante est la somme des intensités de chaque module . [5]

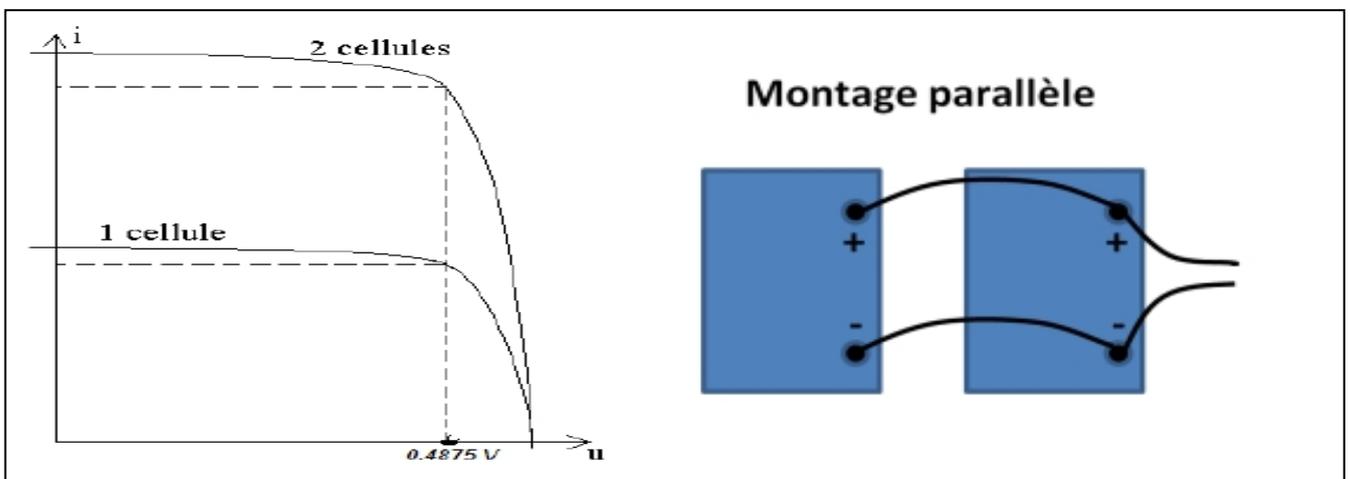


Figure 3.5: Montage de deux panneaux en parallèle

### 3.4.2 .Montage série

En additionnant des modules identiques en parallèle , la tension de la branche est égale a la tension de chaque module et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de modules en parallèle dans la branche .

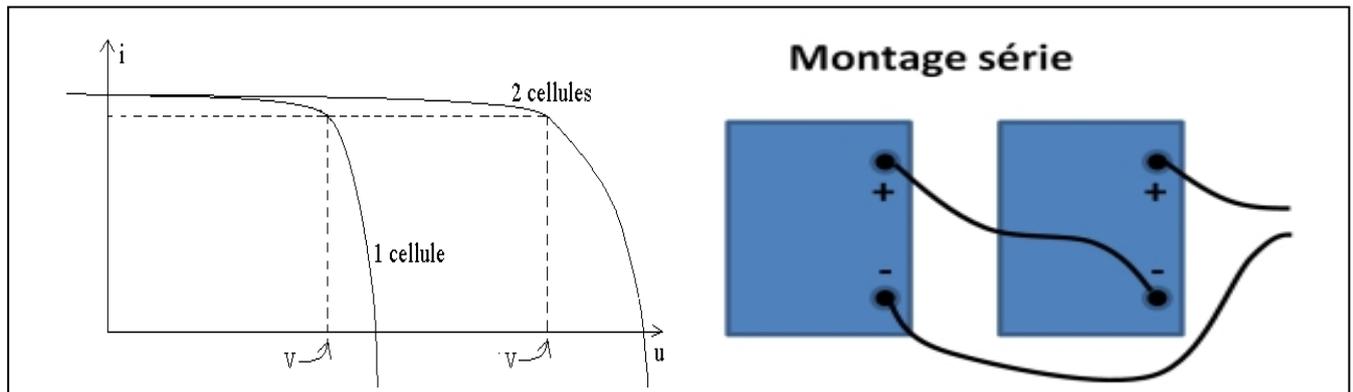


Figure 3.6 : Montage de deux panneaux en série

### 3.4.3 .Montage en parallèle et en série

LA combinaison de montages série et parallèle est également possible ,ce qui permet d'augmenter tension et puissance en même temps .

Le générateur de l'exemple ci-dessous comprend 21 module est de 15V (usage fréquent pour le pompage ).la tension nominale de sortie de ce générateur est de 3A le courant maximal de sortie de ce générateur est de 9A.

#### Remarque

La mise en parallèle ou en série doit faire avec des éléments identique .Ceci est particulièrement important pour les montages en série et en parallèle [5].

Les caractéristiques d'une branche de modules seront celles du plus mauvais.

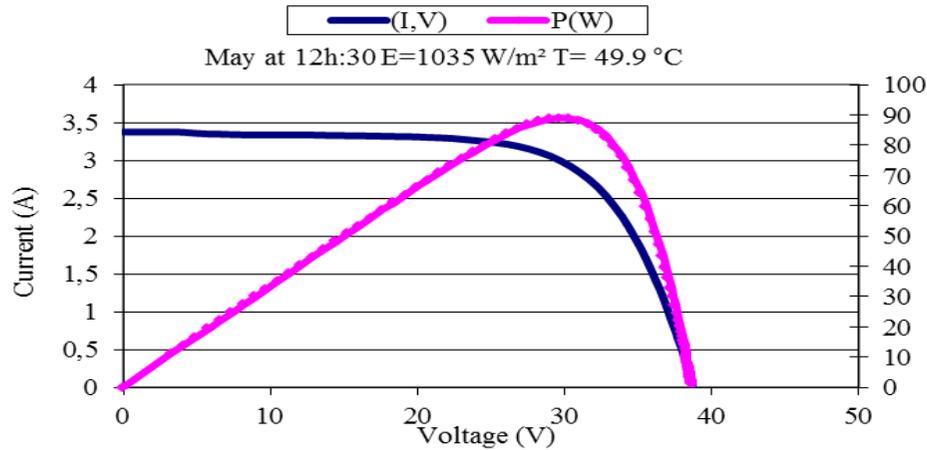


Figure 3.8.A un module PV

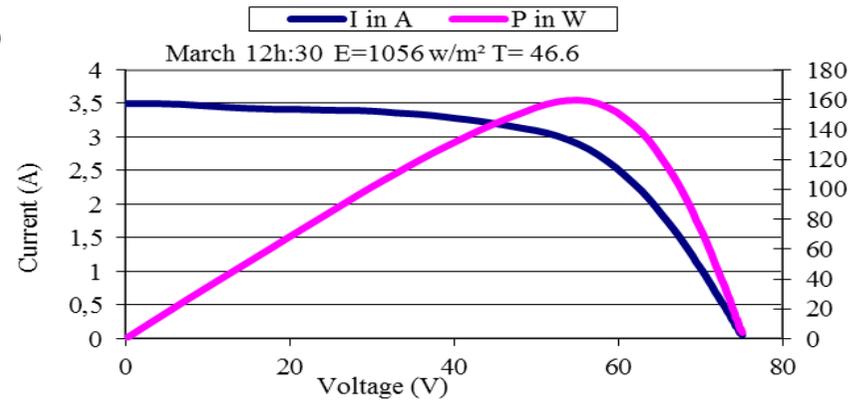


Figure 3.8.B deux modules en série

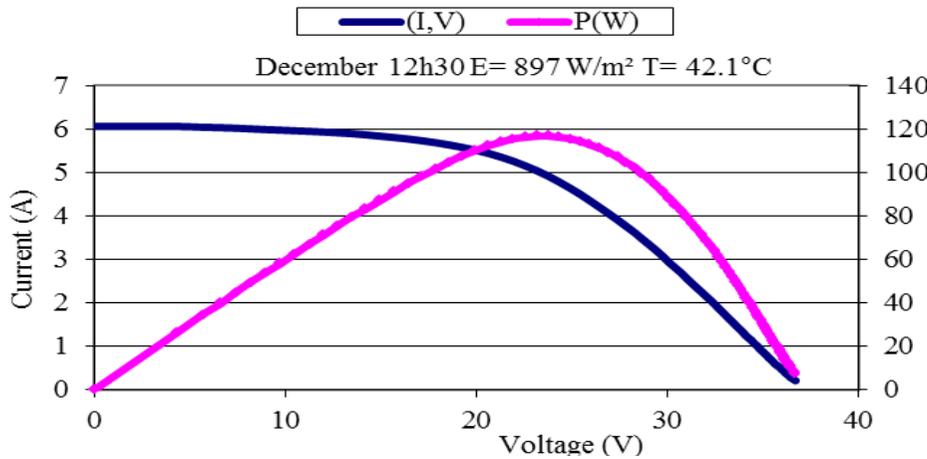


Figure 3.8.C. Deux modules PV en parallèle

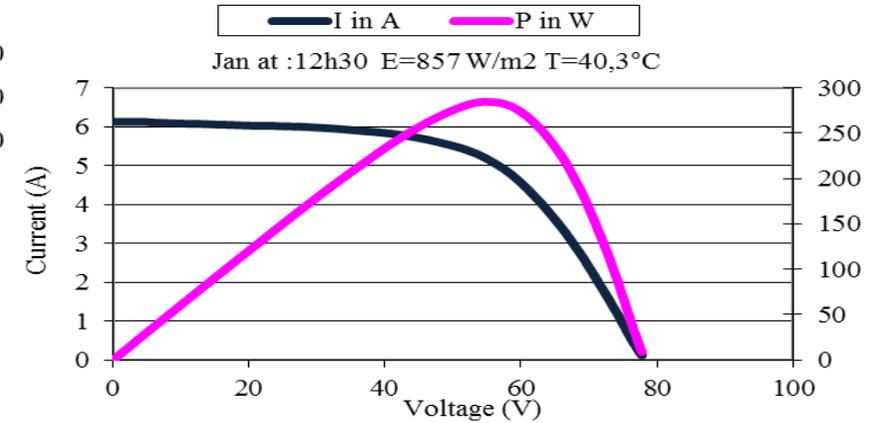


Figure.3.8. Deux modules PV en série et en parallèles

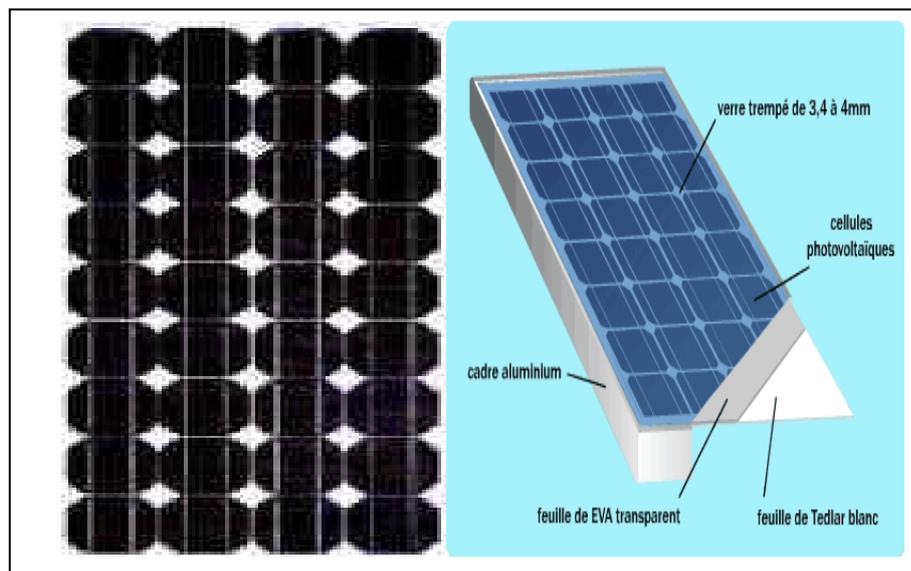
Figure 3.8 Courbes de caractéristiques de différentes configurations de matrice basées sur le module PV type Isofoton

## 3.5 Les systèmes photovoltaïques

### 3.5.1 Les module photovoltaïques

Les modules photovoltaïques sont des convertisseurs d'énergie lumineuse en électricité ,donc par définition le module photovoltaïque est un groupement de cellules connecte entre elles en série pour générer une puissance électrique exploitable lors de son exposition a la lumière. [5]

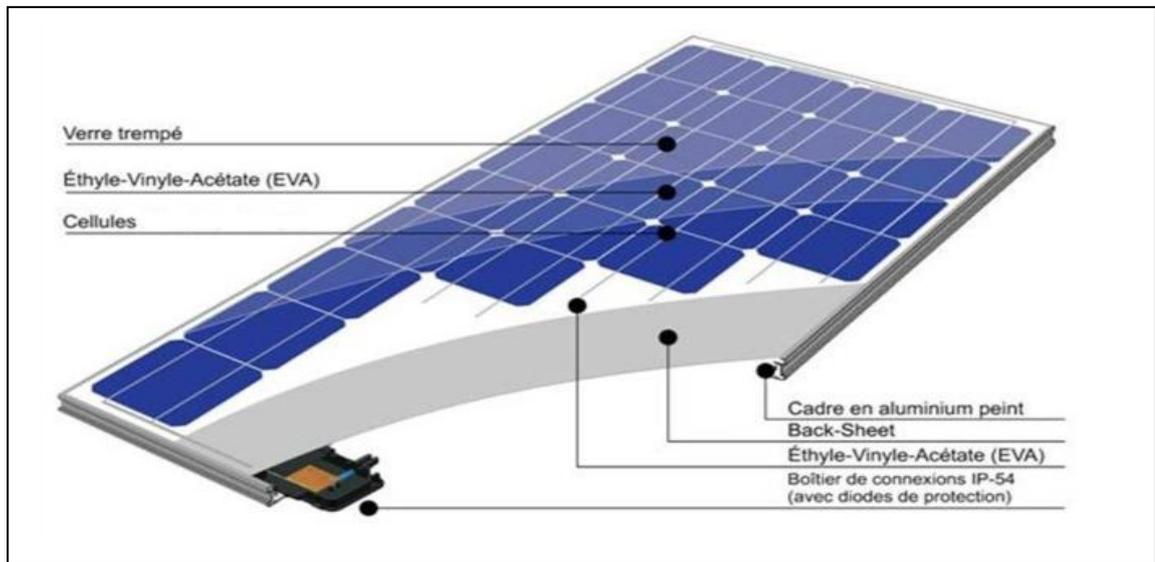
Ce module est protégé en face avant par une plaque de verre et en face arrière par un autre matériau (verre ou résine)et installé sur un cadre en aluminium anodisé .



**Figure 3.9: Module photovoltaïque**

#### 1) Les types de modules photovoltaïques

Il existe différents types de cellules photovoltaïque .il est donc indispensable de connaître les particularités de chacune [6] .



**Figure 3.10 : les cellules de panneau PV**

### 3.5.1.1 Les cellules monocristallines

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. les cellules sont rondes ou presque carrées et, vues de près, elles ont une couleur uniforme. elles ont un taux de rendement de 12 à 16%, mais la méthode de production est laborieuse et difficile, et donc très cher, car il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir du cristal pur [6].

### 3.5.1.2 les cellules poly cristallines

les cellules poly cristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé des cristaux (tonalités différentes) elle ont un rendement de 11 à 13%. mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines [6].

### 3.5.1.3 Les cellules amorphes

les cellules amorphes ont un coût de production bien plus bas, mais malheureusement leur rendement n'est que 6 à 10%. cette technologie permet d'utiliser des couches très minces de silicium [6].

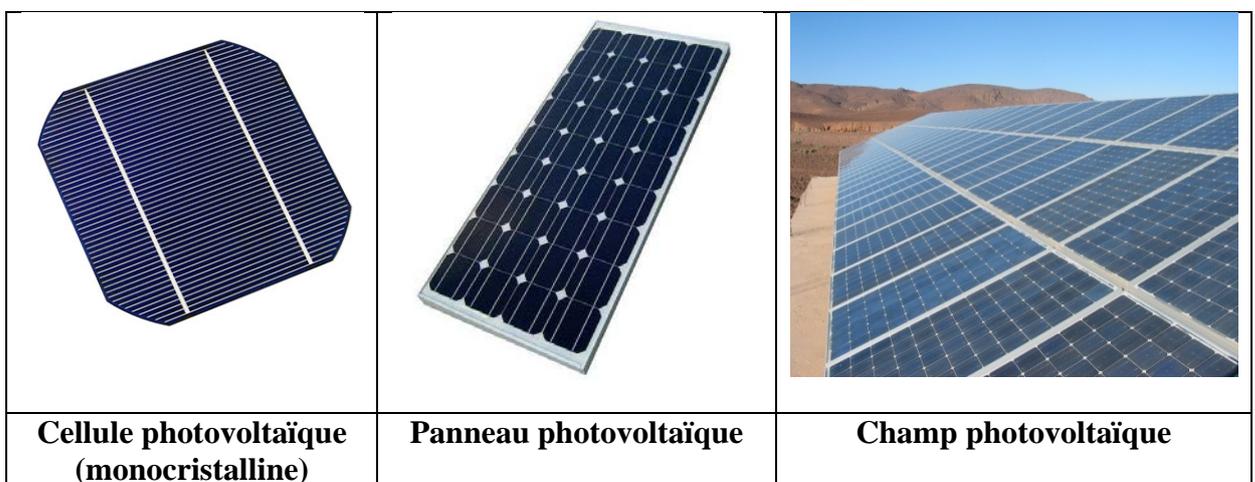
**3.5.2 Avantages et l'inconvénient d'une cellule photovoltaïque**

**3.1. Tableau des Avantages et l'inconvénient d'une cellule photovoltaïque ;**

Type	Silicium mono Crystalline	Silicium poly Crystalline	Amorphe
Durée de vie	35 ans	35ans	10ans
Avantage	Bon rendement en soleil direct	Bon rendement en soleil direct (moins que le monocristallin l'amorphe)	Souplesse élevé que les cristallins Bon rendement en diffus
Inconvénient	Mauvais rendement en Soleil diffus (temps nuageux....),prix élevé	Mauvais rendement Soleil diffus (temps nuageux .....,)prix élevé	Mauve plain soleil
Rendement	12à18%(24.7% en laboratoire )	11à15%(19.8% En laboratoire)	5à8%(13 en laboratoire)

**3.5.3 principaux composant d'un système solaire photovoltaïque :**

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque .plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un panneau solaire(ou module) photovoltaïque sont regroupés dans une centrale solaire -l'effet photovoltaïque - ou la technologie associée . [6]



**Figure 3.11 :Principaux composants d'un système solaire photovoltaïque**

### 3.7 Comparaison des différentes technologies

3.2. Le tableau suivant récapitule les différentes technologies existantes selon les puissances et l'utilisation que l'on en fait [6]

Matériau	Rendement	Longévité	Caractéristiques	Principales utilisations
Silicium mono cristallin	12 à 18% (24.7% en laboratoire)	20 à 30 ans	*Stabilité de production d'énergie *très performant Méthodes de production coûteuses et laborieuses	Aérospatiale . Modules pour toits Façades .....
Silicium poly cristallin	11 à 15 % (19.5 % en laboratoire)	20 à 30 ans	*Adapte a la production a grand échelle *Pour les faibles puissances ( 2.10Wc) *Stabilité de production d'énergie plus de 50% du marché mondial	Module pour trois façade générateur
Amorphe	5 à 8 % (13 % en laboratoire)		*peut fonctionner sous la lumière fluorescente . *Peut fonctionner sous faible luminosité *peut fonctionner par temps couvert *La puissance de sortie varie dans le temps *pour les micros puissance(0-2 Wc )	Appareils électroniques 5montre ,calculatrices ...) Intégration dans les bâtiments .
Composite mono cristallin (Ga As)	18 à 20 % (27.5 % en laboratoire)		Lourde fissure facilement	*Système de concentrateur Aérospatiale
Composite poly cristallin (Cds.Cdte)	8 a 10 % en laboratoire		*Nécessite peu des matériau mais certain contiennent des substance polluante	Appareils électroniques 5montre ,calculatrices ...) Intégration dans les bâtiments

### 3.6 .Les différent systèmes photovoltaïque :

Ce sont les système les plus simples puisque l'énergie photovoltaïque est utilisée directement a partir des panneaux . [6]

On peut les trouver dans les deux cas suivants :

### 1) Alimentation directe

Dans ce cas, les fonctions du système autonome se réduisent à PRODUIRE et utiliser de l'énergie.

L'appareil alimenté ne fonctionnera qu'en présence d'un rayonnement lumineux et dès que l'éclairement sera suffisant pour atteindre la puissance demandée. C'est intéressant pour toutes les applications qui n'ont pas besoin de fonctionner dans l'obscurité, et pour lesquelles le besoin en énergie coïncide avec la présence de la lumière. S'il y a de la lumière, cela fonctionne, sinon cela s'arrête ; Mais il faut calculer le panneau ou la cellule solaire de sorte qu'il ait assez de puissance pour alimenter l'appareil à l'éclairement le plus faible rencontré, et c'est souvent contraignant puisque par le fait, on ne profite pas toujours des éclairements plus élevés : pas de stockage, donc pas de récupération du surplus d'énergie solaire. [6]

### 3.6.3 .Systèmes autonomes avec stockage

C'est la configuration la plus courante des systèmes photovoltaïques autonomes que les anglophones appellent Stand-Alone Systems. L'ensemble est le plus souvent en courant continu (DC). Ce qui est préférable car plus simple. Mais dès que l'on touche à l'habitat, il y a presque toujours des appareils en courant alternatif (AC) à alimenter, parce qu'ils n'existent pas en continu [6] .

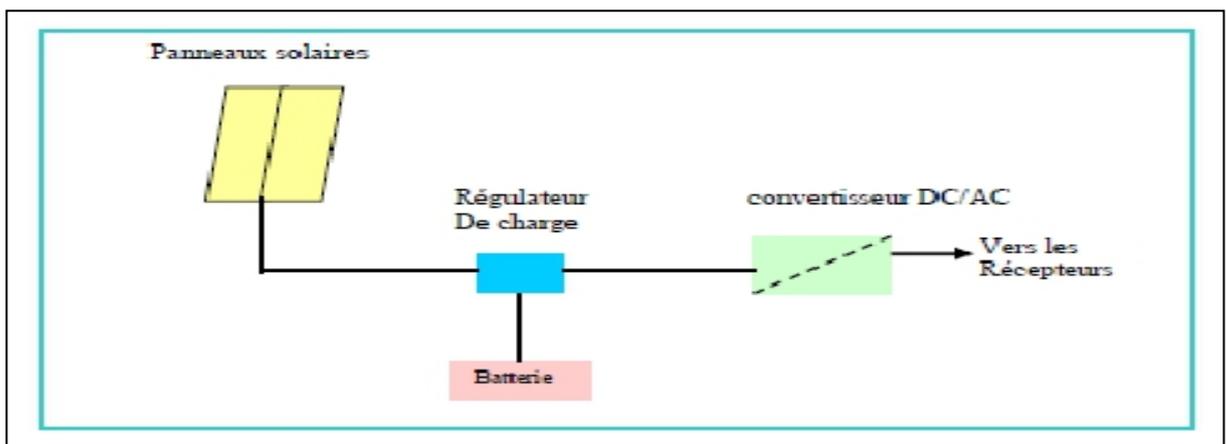


Figure 3.12: Système photovoltaïque avec stockage( Avec ou sans convertisseur )

### 1) Système photovoltaïque avec stockage (Avec ou sans convertisseur).

La batterie d'un tel système se charge le jour, et sert de « réservoir » d'énergie en permanence, tout comme la citerne d'eau du système de pompage solaire décrit précédemment. Elle peut sans problème, à un instant donné, recevoir un courant de charge et débité un courant de décharge de valeur différente. Les appareils alimentés sont donc câblés sur la batterie au travers du régulateur de charge. Lorsque la batterie est pleine, ce dernier, coupe la charge pour éviter qu'elle ne souffre de surcharge, ceci a pour conséquence la perte d'une part de l'énergie produite en été notamment sous nos climats [6].

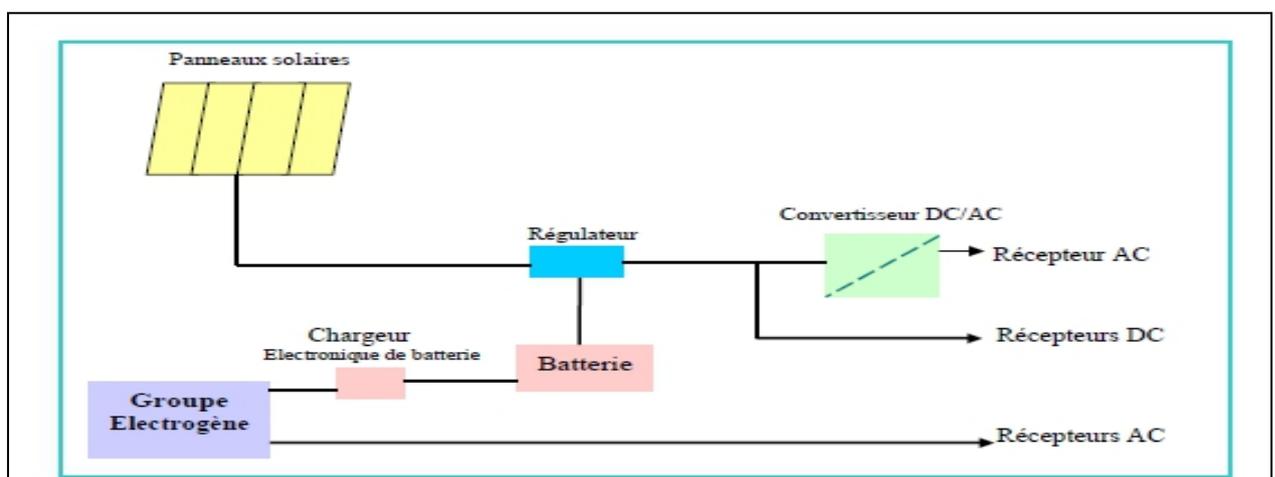
Quand un récepteur doit nécessairement fonctionner en courant alternatif – noté AC – on recourt à une conversion DC/AC (de courant continu en alternatif) en sortie de batterie.

Cela n'est pas sans conséquence, notamment :

- Augmentation du coût et de l'encombrement de l'installation .
- Réduction du rendement énergétique (aucun convertisseur ne restitue 100% de l'énergie) ;
- Risque de panne complète en cas de problème sur le convertisseur si toute l'installation électrique est alimentée par son intermédiaire [6] .

#### 3.6.4 . Systèmes autonomes hybrides

Une des limites d'un système autonome purement photovoltaïque, comme on vient de le décrire, est qu'il fournit une puissance donnée, variable selon la saison, mais que l'on ne peut pas dépasser, au risque de détruire la batterie par décharge profonde. Or, les consommateurs que nous sommes ne sont pas des machines et ont des besoins qui évoluent, et pas forcément en phase avec les saisons [6] .



**Figure 3.13: Système d'alimentation autonome hybride photovoltaïque**

Avoir un système hybride, c'est disposer d'une autre source d'électricité autonome qui vient compléter l'apport photovoltaïque.

Cette autre source peut être un groupe électrogène (appelé aussi « génératrice ») ou une éolienne.

On retiendra l'éolienne si le site est bien venté, de préférence au cours des saisons où l'ensoleillement est plus bas.

Mais quand l'approvisionnement en diesel est possible, le groupe électrogène est plus confortable, car on y a recours à volonté. Et il permet en outre de recharger la batterie lorsqu'elle est faible. [6] .

**1)Avantage et inconvénient de l'énergie photovoltaïque****➤ AVANTAGE**

- 1) une haute fiabilité : les modules sont garantis pendant 25 ans par la plupart des constructeurs
- 2) la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique , car le produit final est non polluant , silencieux , laisse peu de déchets , pas de linges électriques supplémentaires et pas de nuisance sonore olfactive
- 3) plus que le prix du KWH , c'est le coût de la substitue à la création d'un réseau électrique , est moins cher en zone rurale que ce réseau . Cette technologie est de plus en plus utilisée pour apporter de l'énergie électrique aux nombreuses populations qui en sont encore privées [6] .

**➤ INCONVENIENT**

- 1) la fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé .
- 2) l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions
- 3) le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28% ) [6] .

**3.8 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous identifions les composantes du rayonnement solaire, la différente système photovoltaïque, principe de fonctionnement (systèmes autonomes au fil du soleil, systèmes autonomes avec stockage, systèmes autonomes hybrides ) et le générateur photovoltaïque . Ce qui est une information très importante pour dimensionnement d'un système de pompage solaire .

## **CHAPITRE 4**

### **les pompes hydrauliques et les systèmes de pompage photovoltaïque**

### 4.1.1 Introduction

L'objectif dans ce chapitre , deux technique de pompage PV ont été présentées pompage au fil de soleil et pompage avec batterie. Nous montre l'intérêt du pompage dit << au fil du soleil >>, Nous avons également pu conclure que les système de pompage photovoltaïque le plus courants, selon l'état de l'art. actuel, sont constitués d'une pompe centrifuge menue d'un moteur .le moteur est alimente par un générateur photovoltaïque sans batteries , et le convertisseur et partie stockage

## 4 .Les pompes hydrauliques

### 4.1.2 Fonctionnement et constitution

Les pompes permettent de déplacer un liquide d'un point à un autre. Pour déplacer ce liquide il faut lui communiquer de l'énergie. Les pompes remplissent cette fonction. Le moteur qui alimente les pompes transforme l'énergie thermique ou électrique en énergie mécanique pour permettre le mouvement des organes des pompes. Cette énergie mécanique est retransmise au fluide. Cette énergie fluide se traduit sous forme de débit ( énergie cinétique) et de pression ( énergie potentielle). Ces énergies vont s'échanger et se consommer dans les circuits de l'installation.

-Ils sont constitués de : partie moteur, de la transmission et de la partie hydraulique. [7]

#### 4.1.2.1 Partie moteur

Le moteur d'un groupe motopompe convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Il peut être à courant continu ou alternatif. Elle fournit la puissance nécessaire au pompage.

#### 4.1.2.2 Transmission

Elle transmet la puissance générée par le moteur à la partie hydraulique.

Il y a plusieurs façons de transmettre l'énergie fournie par une machine motrice à la pompe. La méthode plus courante consiste à utiliser un accouplement mécanique rotatif (arbres, courroies ou engrenages) ou alternatif (bielles de pompe ou leviers). [7]

La puissance transmise peut être définie comme le produit d'une force par une vitesse.

#### 4.1.2.2.1 Transmission mécanique

Un système de transmission mécanique est pour la plupart du temps utilisé par l'accouplement d'un moteur thermique ou électrique à une pompe. En règle générale, les machines motrices de ce genre sont associées à des pompes centrifuges ou rotors dynamiques qui ont la même vitesse de rotation que le moteur. [7]

La méthode de transmission de la puissance mécanique à n'importe, quelle distance consiste à utiliser un arbre tournant à grande vitesse. Il faut alors maintenir le bon alignement de l'arbre par des paliers de faible équidistance pour éviter le flambage qui pourrait provoquer des vibrations intenses et la destruction de la pièce. [7].

#### 4.1.2.2.1 Transmission électrique

L'emploi d'un groupe moteur, diesel (ou d'une génératrice à éolienne ou à pile solaire électrique ou hydroélectrique) comme force motrice, garantit une souplesse de transmission (au sens propre) considérable. En effet, il suffit alors d'avoir un câble électrique pour relier la force motrice au groupe motopompe.

Parmi les autres options qui sont techniquement réalisables, mais rarement utilisées, on peut citer les transmissions hydrauliques ou pneumatiques qui agissent par le pompage d'un liquide (de l'eau, de l'huile) ou de l'air dans les canalisations afin de mettre en marche la pompe. [7] .

#### 4.1.2.3 Partie hydraulique

La partie hydraulique, elle aussi, cette puissance transmise à l'eau pour le déplacer (aspiration et refoulement). On distingue plusieurs technologies pour transférer l'eau : on note les pompes à palettes, à axes brisés, à vis, à engrenages, à pistons en ligne, delasco, à lobes, à membranes, à pistons axiaux et à pistons radiaux. [7] .

#### 4.1.3 Classification :

Les pompes à eau sont habituellement classés selon leur principe fonctionnement. On peut classer les pompes de plusieurs façons :

- Soit par les mouvements mécaniques
- Soit par le mode de déplacement du fluide
- Soit par le mode de fonctionnement

- Soit par le domaine d'utilisation .

Le critère de choix reste le domaine d'application qui est bien spécifique et qui tient compte de l'utilisation faite. Dans le corps de ce mémoire, nous nous limiterons seulement au mode d'utilisation et au fonctionnement [7] .

#### **4.1.3.1 Selon le mode de fonctionnement**

Ils sont de deux types :

- Pompe centrifuge
- Pompe volumétrique

##### **4.1.3.1.1 Les pompes centrifuges**

###### **1) Principe de fonctionnement :**

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 poussé vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages. Le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge. [7] .

La pompe centrifuge est conçue pour une hauteur manométrique (HMT) relativement fixe. Le débit de cette pompe varie en proportion de la vitesse de rotation du moteur. Son couple augmente très rapidement en fonction de cette vitesse et la hauteur de refoulement est fonction du carré de la vitesse du moteur. [7].

On utilise habituellement les pompes centrifuges pour les gros débits et les profondeurs moyennes ou faibles (10 à 100 mètres).

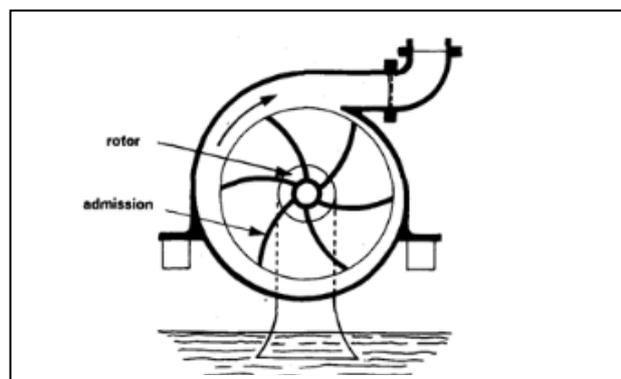


**Figure 4.1: pompe centrifuge.**

## 2) Constitution :

- Une pompe centrifuge est constituée par :
- Une roue à aubes tournant autour de son axe
- Un distributeur dans l'axe de la roue
- Un collecteur de section croissante, en forme de spirale.

Le schéma IV.2 représente le type de pompe le plus courant, la pompe centrifuge à volute, généralement connue sous le nom simple de "pompe centrifuge". Elle comporte un carter en volute, communiquant avec un canal extérieur en forme de coquille d'escargot à section transversale graduellement variable. L'écoulement de l'eau à la sortie du rotor se transforme en écoulement tangential dans ce canal où il sera ralenti progressivement. Ainsi l'eau sort tangentiallement et passe dans la conduite de refoulement à vitesse réduite et à forte pression.



**Figure 4.2 : Illustration d'une pompe centrifuge à volute**

Le schéma IV.3 représente un autre type, à savoir la pompe dite "centrifuge à turbine" ou "turbo pompe". Elle comporte un diffuseur à aubes dont la section augmente progressivement (six dans le cas de la figure) afin de ralentir la vitesse de l'eau tout en augmentant sa pression. Pour la turbine représentée sur la figure, les filets liquides sont déviés à la sortie des aubes pour suivre une trajectoire moins tangentielle et plus radiale afin à faciliter son passage dans le canal entourant le diffuseur, à section constante avant de sortir à la partie supérieure. [7].

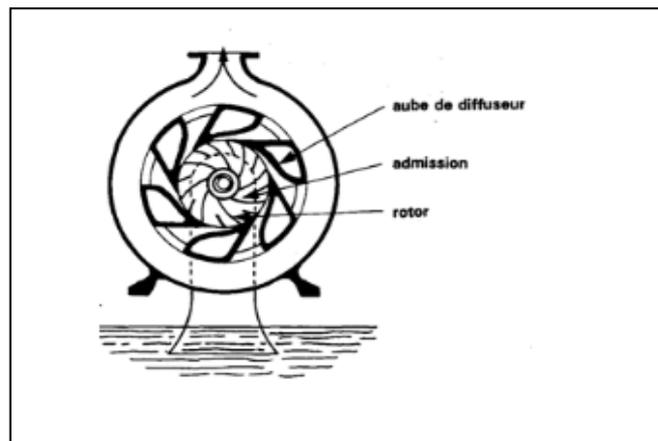


Figure 4.3 : Illustration d'une centrifuge à turbine

### 3) Caractéristiques d'une pompe centrifuge :

Ces pompes peuvent s'adapter à de petits forages, ce qui permet de capter les nappes phréatiques profondes qui ont souvent un niveau d'eau dynamique. [7].

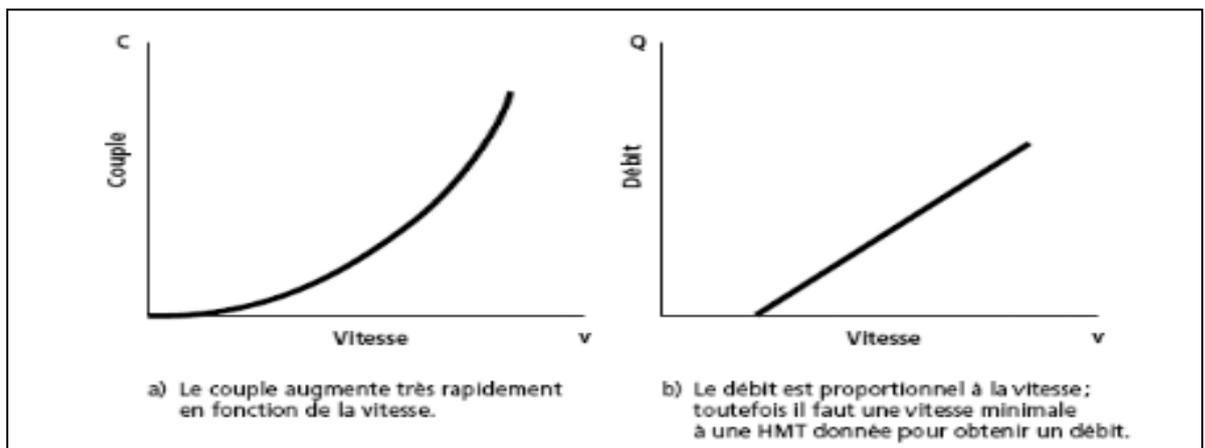


Figure 4.4 : Caractéristiques d'une pompe centrifuge 1) et 2)

Les figures IV.4 montrent les paramètres de fonctionnement de la vitesse en fonction du couple d'une part, et en fonction du débit d'autre part. [7]

Il existe aussi dans la même technologie, les pompes centrifuges flottantes.

#### 4.1.3.1.2 Les pompes volumétriques

##### 1) Principe de fonctionnement :

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 [7] .

L'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide. L'eau est pratiquement incompressible. Par suite, si un piston coulisse parfaitement dans un tuyau plein d'eau, l'eau sera déplacée le long du tuyau sous l'effet du mouvement du piston. De même, si le tuyau plonge en partie ou en totalité dans l'eau, au moment où l'on soulève le piston le vide est produit dans la partie inférieure du tuyau, et l'eau monte dans le tuyau par aspiration [7] .

Le débit de ces pompes est en général un débit continu ou quasi-continu. Le principal avantage des machines rotatives c'est qu'elles se prêtent aisément à la mécanisation et aux grandes vitesses de fonctionnement. Cet avantage est un facteur important, car à dimensions égales, plus une pompe est rapide, plus son débit est fort et plus elle est productive et rentable. En outre, dans un régime continu de fonctionnement les risques de coups de bélier et de cavitation sont bien moins importants que dans le cas des machines à mouvement alternatif.



Figure 4.5 : pompe volumétrique

**2) Constitution :**

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté.

On distingue généralement les pompes volumétriques rotatives et les pompes volumétriques alternatives.

Les pompes volumétriques rotatives : ces pompes sont constituées par une pièce mobile animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe, qui tourne dans le corps de la pompe et crée le mouvement du liquide pompé par déplacement d'un volume depuis l'aspiration jusqu'au refoulement.

Ces pompes se subdivisent en :

- Pompes à palettes
- Pompes à engrenages
- Pompes à rotors hélicoïdaux excentrés
- Pompes péristaltiques

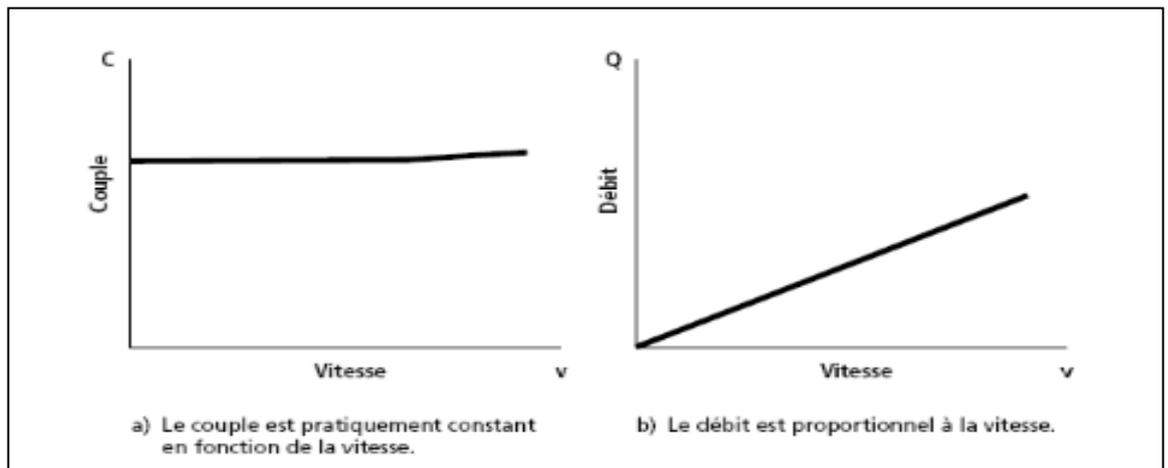
Les pompes volumétriques alternatives: la pièce mobile est animée d'un mouvement alternatif.

On distingue :

- Les pompes à piston
- Les pompes doseuse

**3) Caractéristiques :**

Le débit d'eau d'une pompe volumétrique est proportionnel à la vitesse du moteur. Mais son couple varie essentiellement en fonction de la hauteur manométrique totale (HMT) et est pratiquement constant en fonction de la vitesse de rotation du moteur. Le couple de démarrage est donc pratiquement indépendant du débit et sera proportionnel à la HMT. La puissance consommée sera proportionnelle à la vitesse [7] .



**Figure 4.6 : courbes caractéristiques du couple en fonction de la vitesse (1) et du débit en fonction de la vitesse (2)**

Le débit d'eau d'une pompe volumétrique est proportionnel à la vitesse du moteur. Mais son couple varie essentiellement en fonction de la hauteur manométrique totale (HMT) et est pratiquement constant en fonction de la vitesse de rotation du moteur [7].

#### **4.1.3.2 Comparaisons entre les pompes centrifuges et les pompes volumétriques :**

Pour de petites HMT et de faibles débits journaliers ( $HMT \cdot Q < 25 \text{ m}^3/\text{j}$ ), les pompes à main peuvent s'avérer plus intéressantes. On utilisera alors un seau pour pomper l'eau. L'utilisation de pompes mécaniques sur cette plage d'utilisation se limitera principalement aux pompes volumétriques de faible puissance.

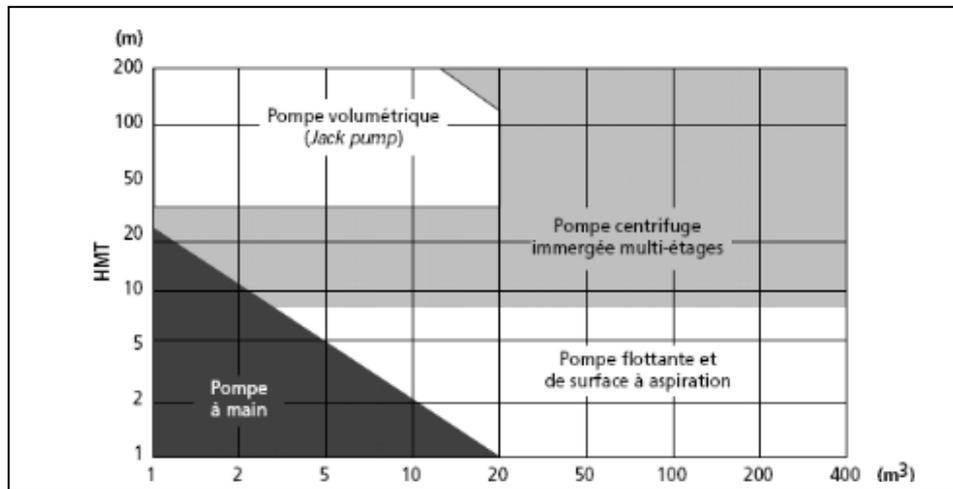
Pour les hauteurs de moins de 7 mètres, l'emploi de pompes à aspiration sera préféré. Cette pompe est généralement de type centrifuge à ailettes.

Pour de faibles débits et une puissance disponible variable (par exemple, couplage éolien), l'emploi d'une pompe à cavité (volumétrique) permet un débit plus constant.

Pour une HMT moyenne, comprise entre 10 et 50 mètres, la pompe immergée centrifuge est généralement la plus efficace. Mais son rendement est très étroitement lié à la HMT et son dimensionnement est critique.

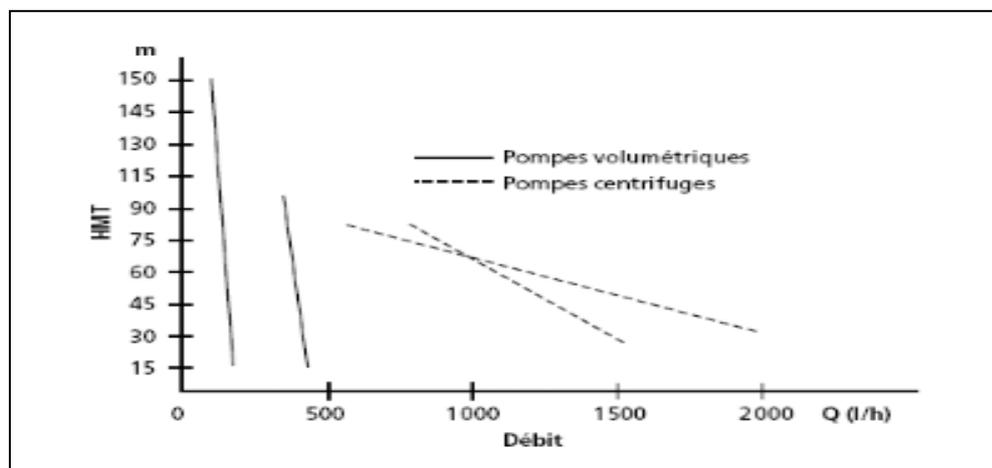
Pour les HMT supérieures à 35 mètres et de faibles débits journaliers ( $< 20 \text{ m}^3$ ), la pompe volumétrique sera la plus utilisée, surtout si une forte variation du rabattement de la nappe (donc de la HMT) est constatée.

Pour des débits plus élevés, l'emploi d'une pompe centrifuge est souvent le seul choix possible.



**Figure 4.7: Choix d'une pompe selon la HMT et le débit demandés**

Le choix d'une pompe se portera également sur sa capacité à répondre aux conditions variables du site. Nous avons vu que le débit d'une pompe volumétrique est moins affecté par la variation de la HMT alors que la pompe centrifuge verra son débit diminuer rapidement à mesure que la HMT augmente. La hauteur de refoulement d'une pompe centrifuge est fonction du carré de la vitesse du moteur. À mesure que la HMT augmente, le rendement de la pompe diminue très rapidement ; le moteur devrait tourner beaucoup plus rapidement pour fournir un même débit [7].



**Figure 4.8: Exemples de courbes débit - HMT pour quelques pompes**

#### 4.1.4. Selon le mode d'utilisation

En fonction de l'emplacement physique de la pompe, nous distinguons : les pompes à aspiration et les pompes à refoulement.

##### 4.1.4.1 Les pompes de surface

La hauteur d'aspiration de n'importe quelle pompe est limitée à une valeur théorique de 9,8 mètres (pression atmosphérique en mètres d'eau) et dans la pratique à 6 ou 7 mètres. Les pompes à aspiration sont donc toujours installées à une hauteur inférieure à celle-ci. Ces pompes doivent également être amorcées, c'est-à-dire que la section en amont de la pompe doit être remplie d'eau pour amorcer l'aspiration d'eau [7] .



**Figure 4.9:pompe de surface.**

##### 4.1.4.2 .Les pompes immergées

Les pompes de refoulement sont immergées dans l'eau et ont soit leur moteur immergé avec la pompe (pompe monobloc), soit le moteur en surface ; la transmission de puissance se fait alors par un long arbre reliant la pompe au moteur. Dans les deux cas, une conduite de refoulement après la pompe permet des élévations de plusieurs dizaines de mètres, selon la puissance du moteur [7] .



Figure 4.10: l'illustration d'une pompe immergée

### **.1.5 L'alimentation électrique**

Les pompes sont alimentées par un moteur électrique qui convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Ils fonctionnent soit en alternatif, soit en continu.

Parmi les moteurs à courant continu nous distinguons :

- Les moteurs à balais
- Les moteurs à commutation électronique qui utilisent un circuit électronique pour inverser le courant circulant dans le rotor
- Les moteurs série qui s'adapte particulièrement à la traction
- Les moteurs shunt, utilisés dans les machines-outils
- Les moteurs à excitation composée

Outre les moteurs à courant continu, il y a les moteurs à courants alternatifs. Les moteurs alternatifs asynchrones sont les plus couramment employés pour une gamme variée d'applications industrielles [7].

### 4.1.5.1 comparatif des moteurs à courant continu et courant alternatif :

Tableau 4.1 comparatif des moteurs à courant continu et courant alternatif

	Moteurs à courant continu	Moteur asynchrone
Avantages	Facilité de régulation (variation de vitesse, couple,..) · Rendement de 90%	fiabilité. nécessite peu d'entretien · Rendement de 90%
Inconvénients	coût d'entretien. Le système balai collecteur est à changer	difficulté et coût de régulation (nécessite la réalisation de commandes vectorielles)

### 4.1.5.2 La commande électronique

Le moteur de la pompe ne fonctionnera pratiquement jamais au point maximal (Pm) du générateur Photovoltaïque durant la journée. Pour cela il nous faudra un adaptateur de puissance qui pourra moduler l'énergie .

En utilisation moteur continu, on parlera d'adaptateur de charge. C'est un dispositif électronique permettant de varier le point de fonctionnement du champ [7] .

Avec le moteur alternatif, l'énergie continue délivrée par la génératrice continue doit être convertit. La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant continu, produit par le générateur solaire, en courant alternatif monophasé ou triphasé. Un onduleur est habituellement conçu pour fonctionner sur une plage assez réduite[7]..

## 4.2 .Couplage des pompes :

Dans l'utilisation pratique des pompes on recherche souvent à :

- Augmenter la hauteur
- Augmenter le débit

### Deux possibilités

- Couplage en série
- Couplage en parallèle

### 4.2.1 .Couplage en série:

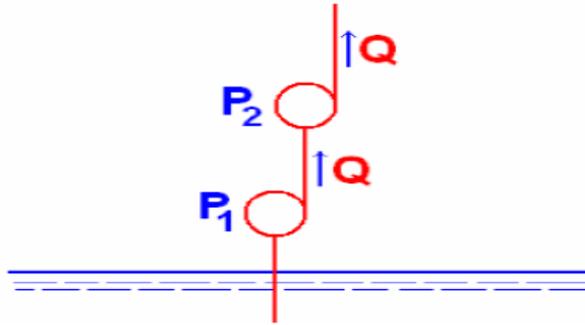


Figure 4.11 : Couplage des pompes en série[7].

- Les deux pompes refoulent le même débit  $Q$
  - Pour ce débit  $Q$ 
    1. La pompe  $P_1$  fournit une hauteur  $H_1$
    1. La pompe  $P_2$  fournit une hauteur  $H_2$
- Le système couplé fournit  $H_1 + H_2$  avec un débit  $Q$

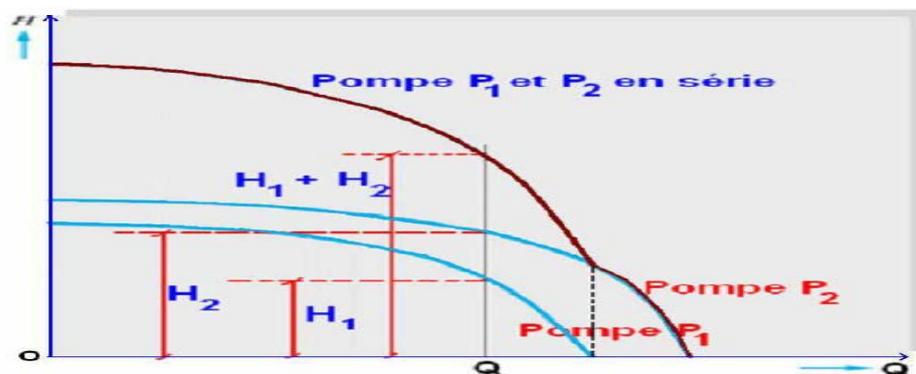


Figure 4.12 : Point de fonctionnement de pompes en série[7].

### 4.2.2 .Couplage en parallèle :

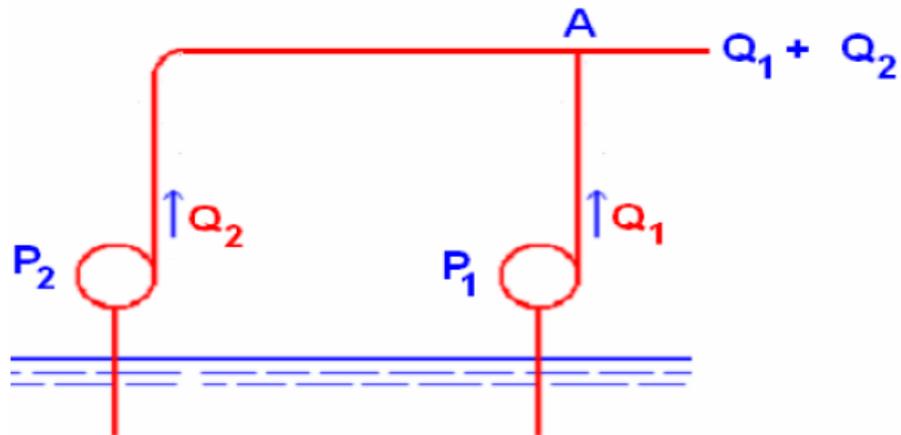


Figure 4.13 : Couplage des pompes en parallèle[7].

- Les pompes refoulent des débits partiels  $Q_1$  ,  $Q_2$
- Le système couplé fournit  $Q_1 + Q_2$

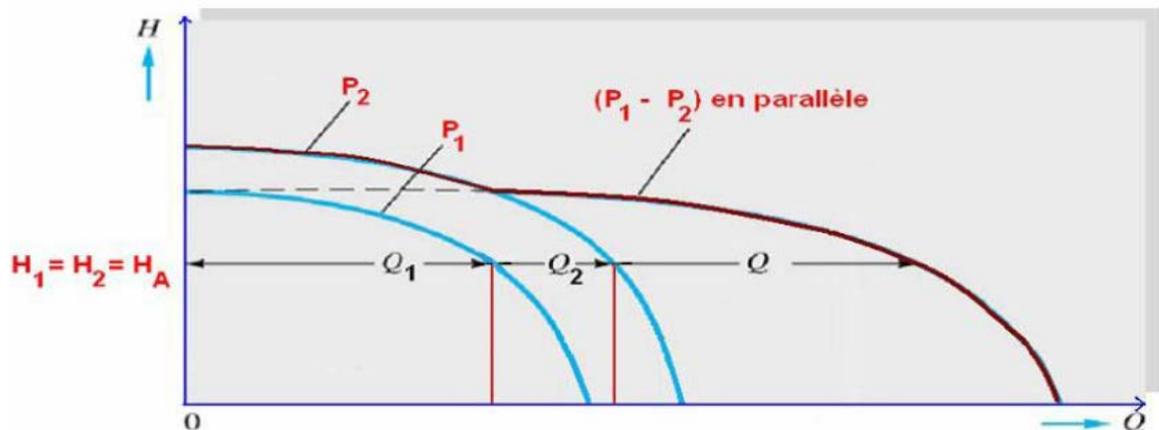


Figure 4.14 : Point de fonctionnement de pompes en parallèle [7].

### 4.2.3 .Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné des explications générales sur les classifications caractéristiques des pompes. le couplage des pompes .dans le chapitre suivant en a dimensionné une pompe photovoltaïque.

## CHAPITRE 5

# Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque

## 5 .Introduction

Les systèmes de pompage d'eau photovoltaïque (PVPS) constituent une option potentielle pour abaisser l'eau dans les zones desservies à distance pour l'utilisation domestique, l'irrigation et l'eau de germination, l'absorption de les radiations solaire et les sources d'eau souterraine, dans la région de Ghardaïa, sont aptes à tirer profit de Nouvelle technologie. Grâce à une étude de dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque autonome, l'installation de PVPS mentionnée est conçue et les études pour fournir une quantité quotidienne moyenne d'eau .en a fait ce dimensionnement pour deux buts principaux sont :

- pour des résultats optimum d'un système de pompage photovoltaïque
- pour un coût réduite

### 5.1 .Dimensionnement

#### 5.1.1 Les différentes étapes pour le dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque sont :

- 1) calcule de La hauteur manométrique totale
- 2) calcule de l'énergie hydraulique
- 3) calcule de l'énergie électrique
- 4) calcule de Puissance crêt
- 5) sélection de matériel

##### 5.1.1.1 calcule de la hauteur manométrique totale

La hauteur manométrique totale (HMT) d'une pompes est différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration est de refoulement .Cette hauteur peut être calculée comme suit [8].

$$\mathbf{HMT = Hg + \Delta c.....(5.1) [8].}$$

**Hg**=hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée et le plan d'utilisation .

$$\mathbf{Hg = (Ns+Nd ).....(5.2) [8].}$$

**Ns**:Le niveau statique d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau avant pompage[8]. .

**Nd**:Le niveau dynamique d'un puits ou d'un forage est la distance du sol a la surface de l'eau pour un pompage a un débit donne .pour le calcul de la HMT ,le niveau dynamique et le

niveau statique est appelée rabattement .  $R_m$  est le rabattement maximal acceptable avant de stopper la pompe[8]. .

$\Delta c$ : la pertes de charge produite par le frottement de l'eau sur les parois des conduites .Ces pertes sont fonction de distance des conduites ( $D$ ), de leur diamètre ( $d_c$ ) et du débit de la pompe ( $Q$ ) et s'expriment en mètres d'eau .Le diamètre des conduites doit être calculé afin que ces pertes de charge correspondent au plus à [10 % -20%] de la hauteur géométrique totale [8]..

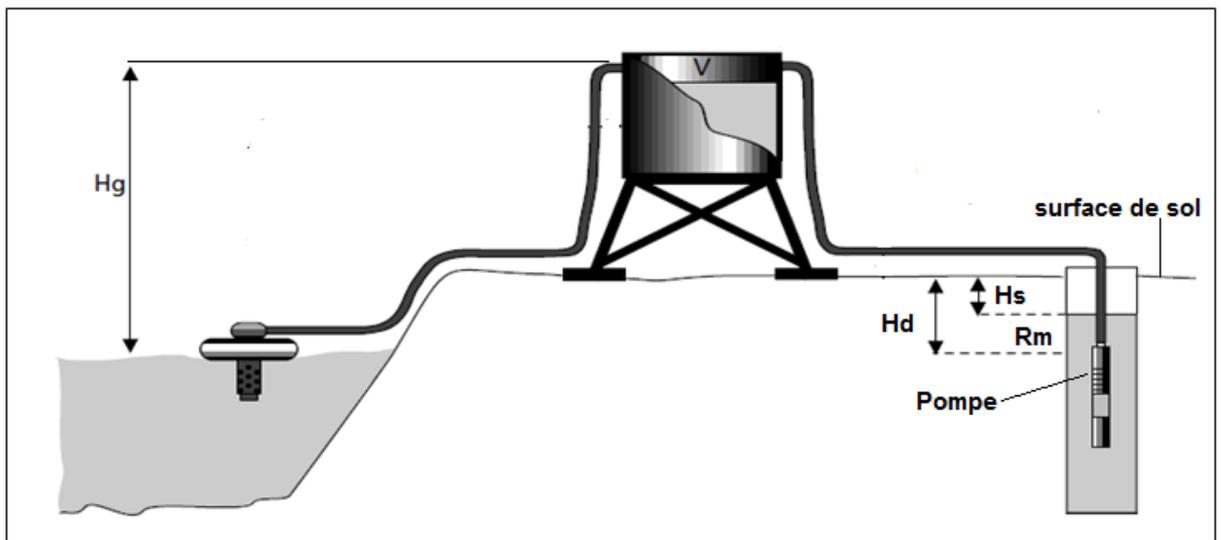


Figure 5.1 schéma explicatif les paramètres de la hauteur manométrique totale[8].

### 5.1.1.2 calcul de l'énergie hydraulique

Une fois définies les besoins nécessaires en volume d'eau pour chaque mois de l'année, nous pouvons calculer l'énergie hydraulique moyenne journalière et mensuelle nécessaire à partir de la relation suivante[8]. :

$$E_h = C_H \cdot HMT \cdot Q_d \dots \dots \dots (5.3) [8].$$

$E_h$ : énergie hydraulique [wh/j ]

$Q_d$ : le débit quotidien maximal d'eau en[m<sup>3</sup>/j]

$C_H$ : c'est la constante hydraulique est calculer par la relation suivante :

$$C_H = g \cdot \rho \dots \dots \dots (5.4) [8].$$

$\rho$ : la densité de l'eau (1000 Kg /m<sup>3</sup>)

$g$  : constante de la gravite (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$$C_H = g \cdot \rho = 9.81 \text{ (m.s}^2) \cdot 10^3 \text{ (Kg/m}^3) / 3600 \text{ (s/h)} = 2.725 \text{ Kg.s.h /m}^2$$

$$C_H = 2.725 \text{ Kg.s.h /m}^2$$

donc:

$$E_h = 2.725.HMT.Q_d$$

### 5.1.1.3 calcul de l'énergie électrique

$$E_{elec} = \frac{C_H \times Q_d \times HMT}{\eta_p} \dots \dots \dots (5.5) [8].$$

$E_{elec}$ : énergie électrique en (wh/j).

$C_H$ : c'est la constante hydraulique,  $C_H$ : 2.725

$Q_d$ : le débit quotidien maximal d'eau en ( $m^3/j$ )

$HMT$ : la hauteur manométrique total en mètre (m)

$\eta_p$ : en générale le rendement des groupes motopompes est de 30 % a 45 %, selon le type de pompe et de moteur en parentage (%) [8].

### 5.1.1.4 calcule de la puissance crêt

$$P_c = \frac{E_e}{D_h.[1-\Delta e]} \dots \dots \dots (5.6) [8].$$

$P_c$ : puissance crêt en Watt (w).

$E_e$ : c'est l'énergie électrique (wh/j).

$D_h$ : c'est la duré d'ensoleillement dans la région de Ghardaïa en (nombre d'heures) du moi le plus défavorables (h).

$\Delta e$ : c'est la perte de charge électrique .

### 5.1.1.5 Sélection de matériel :

#### 1) choix de la pompe PV :

- Les pompes solaires tirent habituellement l'eau d'un puits ou d'un forage avec un faible débit.
- Ce débit peut être plus important que la capacité de la nappe a se régénérer et le niveau d'eau dynamique de la nappe baissera.
- L'orifice de la pompe doit être suffisamment immergé afin d'être toujours sous l'eau.
- Pour protéger la pompe, il faut mettre un interrupteur de niveau d'eau qui stoppera la pompe si elle est au-dessus du niveau d'eau.
- Le niveau d'eau peut aussi varier selon les saisons et les années. Le degré de

variation est difficile à prédire et dépend de certaines caractéristiques aquifères et du rythme de pompage.

- Chaque puits ou forage doit être testé avant d'installer la pompe afin de déterminer son niveau de tirage[8].

**a) Les accessoires de la pompe**

- Afin d'augmenter le rendement de la pompe solaire fonctionnant au fil du soleil il est recommandé d'ajouter un adaptateur d'impédance (maximum power point tracking). Cet adaptateur permettra à la pompe de fonctionner à son point de charge maximal en diminuant la tension et en augmentant l'intensité de sortie provenant du champ PV lors de faible ensoleillement.

Le moteur d'une pompe solaire peut être un moteur DC ou AC. Les DC se branchent

- directement sur le champ photovoltaïque et sont, en général, plus simples à utiliser que les moteurs AC.
- Les pompes DC ont habituellement des balais de commutation qui doivent être changés périodiquement, ce qui n'est pas facile pour les pompes immergées. Certains types de moteurs DC sont à commutation électronique et n'ont pas de balai.
- Les moteurs AC requièrent l'emploi d'un onduleur pour leur fonctionnement photovoltaïque.
- Les moteurs AC ne requièrent pratiquement pas de maintenance et s'avèrent souvent plus efficaces que les moteurs DC[8].

**b) calcul de débit d'une pompe photovoltaïque**

Le choix de la pompe solaire photovoltaïque correspond au débit de la pompe, et dépend de la capacité ou la quantité d'eau demandée  $V_T$  (volumes totale d'eau demandée) et  $D_h$  la durée minimale de l'ensoleillement dans la région.

$$Q_h = \frac{V}{D_h} \dots \dots \dots (5.7) [8].$$

$Q_h$ : débit moyen de la pompe (m<sup>3</sup>/h)

$V_T$  : volumes totale d'eau demandée .

$D_h$ : c'est la durée d'ensoleillement dans la région au mois le plus défavorable (h).

Et  $Q_{pompe} \geq Q_h$

Donc le choix de la pompe correspond a le débit de la pompe. le débit de la pompe est supérieur ou égal le débit moyen demander en heure[8]. .

## **2) Choix de module photovoltaïque:**

Au moment d'installer des panneaux solaires photovoltaïques , il est très important de sélectionner le matériel le plus adapté a notre pompe parmi les solutions proposées par les fabricant , et celui qui vous assura le meilleur rendement[8]. .

### **a)La technologie de modules photovoltaïque**

Les différents types de panneaux solaires photovoltaïque proposés dans le commerce ont des usages différents , avant de débuter vos travaux d'installation de panneaux solaires photovoltaïques, Nos artisans partenaires sauront vous conseiller au mieux , parmi les choix de panneaux solaires possibles , si vous disposez d'une plus faible luminosité a votre domicile , il sera préférable d'opter pour des panneaux monocristallines ,Si en revanche l'ensoleillement de votre toiture est idéal , les panneaux poly cristallin sont envisageables , par ailleurs , en cas de budget serré et limité , préférez cette fois les panneaux amorphes dont le coût est moins important [8]..

### **b) La puissance nominale de module photovoltaïques**

La puissance crête des panneaux photovoltaïques permet de comparer les différentes marques ou technologie entre elles , sur des bases communes et standardisées .Mais ces données indicatives ont été réalisées dans des conditions quasi-parfaites d'ensoleillement et de température , il ne faut donc pas prendre les chiffres fournis au pied de la lettre notre simulateur d'économies d'énergie vous permettra d'obtenir une indication intéressante qui facilitera votre choix concernant votre future installation de panneaux solaires photovoltaïques destinée a vous faire réaliser des économies[8]..

### **c)Le rendement de panneau photovoltaïque**

avec le temps le rendement des panneaux solaires photovoltaïques tend a diminuer peu a peu.la majorité des garanties de rendement de long terme qui assurent la pérennité du retour sur généralement le rendement d'un panneau est généralement garanti a 90% au bout de 10 ans et a 80% au bout de 20 ans d'autre . attention a ne pas acheter un panneau qui est elle de l'ordre de 30 ans en moyenne[8]..

#### **d) La configuration de générateur photovoltaïque**

La configuration du réseau photovoltaïque est composée des modules photovoltaïques, . Le choix de la configuration du générateur PV s'effectue de manière à pouvoir satisfaire la puissance de crête nominale requise, préalablement calculée et il est nécessaire que les caractéristiques I-V du jeu de pompe correspondent à celles du réseau photovoltaïque. La puissance maximale requise par la pompe, le courant maximal et la tension sont les principales caractéristiques électriques qui devraient être impliquées dans la configuration du générateur PV , la configuration du générateur PV doit correspondre aux caractéristiques électriques de la pompe sélectionnée ,En ce qui concerne les caractéristiques électriques nominales du module PV le nombre estimé sur le module PV mentionné[8]. .

nombre de module PV= Pcrêt de générateur photovoltaïque / Pcrêt de module photovoltaïque.

#### **5.1.1.6 Dimensionnement des accessoire d'un SPPV**

##### **1) la conduite d'eau**

- Les pertes de charge occasionnées par la conduite d'eau entre la pompe et le réservoir peuvent être importantes si cette conduite est:

- ✓ trop longue,
- ✓ trop étroite,
- ✓ si plusieurs coudes sont utilisés.

- Afin de minimiser les pertes, il faut installer le réservoir le plus près possible et le relier le plus directement a la pompe.

- La largeur de la conduite doit être dimensionnée afin que, pour le débit demande, la perte de charge exprimée en hauteur dynamique soit petite (<5 %) comparée a la hauteur géométrique totale.

##### **2) le batterie**

Étant donné que les batteries sont sensibles à des températures extrêmes, l'énergie souhaitée ne peut pas être retirée d'une batterie froide aussi chaude. Dans ce contexte, un abri à température moyenne est nécessaire pour installer la batterie. De plus, le concepteur doit utiliser le graphique sur le parallèle La connexion de la batterie est évitée car toute dégradation d'une batterie peut provoquer une dysfonctionnement de toutes les matrices. Les types recommandés sont généralement l'acide plomb scellé, le gel et l'AGM, en particulier

lors de la détermination du jeu de coupure dans le régulateur. Les considérations suivantes sont requises dans ce dimensionnement:

- nombre de jours de «jours d'autonomie» est la période qui devrait alimenter notre système à partir de la batterie, sans recevoir l'alimentation du réseau photovoltaïque.
- la profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité nominale de la batterie retirée de la batterie.
- la capacité de l'ampère-heure d'une batterie est habituellement spécifiée avec dix ou vingt références d'heure standard. Par exemple, supposons que la batterie est réactivée à 100 ampères-heures et qu'une référence de 20 heures est spécifiée.
- la durée de vie de la batterie dépend d'un certain nombre de facteurs tels que la vitesse de charge et de décharge, la profondeur de décharge, le nombre de cycles et les températures de fonctionnement extrêmes.
- La vérification de la durée de la batterie est nécessaire pour changer le liquide et assurer les connexions adéquates.

L'estimation de la capacité de la batterie est basée sur la capacité énergétique nécessaire de notre système, appelée «la capacité nécessaire,  $C_{Nec}$ ». La capacité nécessaire dépend de la disponibilité de l'énergie moyenne quotidienne dans le «pire mois» ( $E_{wm}$ ) et le nombre souhaité de jours d'autonomie ( $N_d$ ). Si la capacité nécessaire est donnée par l'équation

$$C_{Nec} (Ah) = E_{wm} \cdot N_d \dots \dots \dots (5.8) [8].$$

$C_{Nec}$ : la capacité énergétique nécessaire

$E_m$  : l'énergie moyenne quotidienne dans le «pire mois»

$N_d$ : Nombre de jours d'autonomie

La capacité nominale de la batterie ( $C_{Nom}$ ) doit être plus grande que le ( $C_{Nec}$ ) qui permet une charge complète de la batterie. Basée sur la profondeur maximale de décharge ( $P_{dec.max}$ ) que la batterie permet, la capacité nominale est calculée par l'équation .

$$C_{Nom} (Ah) = C_{Nec} / P_{dec.max} \dots \dots \dots (5.9) [8].$$

$C_{Nom}$ : La capacité nominale de la batterie

$C_{Nec}$ : la capacité énergétique nécessaire

$P_{dec.max}$  : la profondeur maximale de décharge

### 3) Le régulateur

Le régulateur solaire est utilisé en conjonction avec un système de pompage d'eau photovoltaïque autonome qui incorpore une banque de batteries de secours. Il contrôle la charge et la décharge de la batterie et régule l'énergie générée par le réseau photovoltaïque.

Un régulateur solaire doit être éloigné de la lumière du soleil et dans un lieu de circulation d'air pour éviter le risque d'incendie. Il est recommandé de placer un fusible retouché entre le panneau solaire et le régulateur, en conséquence. Les régulateurs sont utilisés uniquement en série mais deux possibles Les configurations du système sont adoptées

- le régulateur peut être connecté directement à la charge pour réguler l'énergie et, dans ce cas, sa taille dépend uniquement des panneaux solaires rets.
- le régulateur peut être connecté à la charge via la batterie de stockage, waheras sa taille dépend de la taille du tableau pv et de la tension de fonctionnement de la batterie

Les informations suivantes sont nécessaires pour déterminer la taille du régulateur:

- Sélectionnez la tension de fonctionnement de la tension (12V ou 24V).
- Sélectionnez le potentiomètre nominal des panneaux solaires et toute charge d'étirage sur la batterie
- la charge est connectée directement à la batterie ou à travers le régulateur (en option)
- puissance de pointe sur la batterie

Le dimensionnement du régulateur est basé sur son courant de fonctionnement maximal ( $I_{reg}$ ), qui doit fonctionner au moins 20% de l'efficacité du courant maximal du PV Arry ( $I_{pv}$ ). Le courant de fonctionnement maximal du régulateur peut être calculé par l'équation:

$$I_{reg}=1.2\times I_{pv}\dots\dots\dots(5.10) [8].$$

$I_{reg}$ : Le courant de fonctionnement maximal du régulateur

$I_{pv}$ :l'efficacité du courant maximal du PV

#### 4 )Le câble

Une fois le dimensionnement de tous les composants de la configuration du système de pompage de l'eau PV sélectionnée, comme la séparation et le nombre des modules photovoltaïques, des batteries et du type de régulateurs et onduleurs à utiliser, il est nécessaire de dimensionner le câble. Cela signifie qu'il est nécessaire de Calculer la longueur et la section des câbles nécessaires à la connexion des différents appareils.

la longueur du câble dépend de la position et de la distance entre les éléments, qui doit être minimisée autant que possible, dans le but de minimiser les pertes de tension.

la section du câble est sélectionnée sur la longueur des câbles et le courant qui le traverse. Si la longueur du câble est minimisée, la section est également minimisée et le poids et le coût total sont minimisés[8].

Afin de calculer la section Sauf le câble qu'il faut savoir:

- le débit maximal du câble ( $I_c$ ) qui a été calculé pour passer à travers le câble. Dans le cas d'un système de pompage d'eau PV tamponné par batterie, le courant maximal calculé pour chaque mois est pris en considération comme courant maximal du câble.
- la tension chute ( $V_d$ ) qui est la somme de toutes les pertes de tension possibles, calculées pour tous les dispositifs du système. Toutes les pertes de tension sont exprimées en pourcentage de la tension nominale de chaque élément.

La section du câble est alors déterminée par la loi Ohm de l'équation

$$S_c = r \cdot \frac{L_c \times I_c}{V_d} \dots \dots \dots (5.11) [8].$$

$S_c$ : la section de câble ( $\text{mm}^2$ ).

$r$ : est la résistivité du câble (pour le cuivre 0,01286) ( $\Omega\text{mm}^2 / \text{m}$ ).

$L_c$ : la longueur du câble (m).

$I_c$ : le courant maximal en passant par le câble (A)

$V_d$ : la chute de tension dans le système (V).

# Application expérimental

## 5.2 INTRODUCTION

Dans cette partie de mémoire , nous allons bien détailler l'étude et le dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque . IL est alors intéressant d'appliquer les techniques étudiées sur un site réel pour valider la méthode choisie et d'en tirer des conclusions .

Dans ce Partie nous étudions le dimensionnement d'un système de pompage PV fonctionnant par la méthode dite << au fil du soleil >> .

-Notre testes s'est déroulé a laboratoire de pompage photovoltaïque a l'unité de recherche applique en énergies renouvelables Ghardaïa(UREAR).

## 5.3 Description du banc d'essais du système de pompage solaire

Le banc d'essai installé au niveau du laboratoire de l'UREAR permet de tester et caractériser différents systèmes de pompage PV .Il permet de simuler des hauteurs de pompage dans des conditions réelles d'opération .Les intervalles de mesure peuvent être alimentés soit a l'aide du générateur PV ,soit a L'aide d'une alimentation DC programmable .Est constitué des éléments suivants :

- Une cuve inoxydable d'une profondeur de 2m de diamètre 1m
- Un circuit d'eau en boucle fermé ( la méthode de teste.
- Des capteurs de débit et de niveaux (C1;débitmètre électromagnétique de 10.000L/h et C2:débitmètre électromagnétique 2.500L/h )
- Armoire de visualisation ;
- Des armoires de connexion .
- Un générateur photovoltaïque
- Un data-logger pour l'acquisition de données
- Un ordinateur personnel PC pour stockage et le traitement des mesures [9].

### 5.3.1 Schéma Synoptique du laboratoire de pompage PV de L'UREAR (Ghardaïa ).

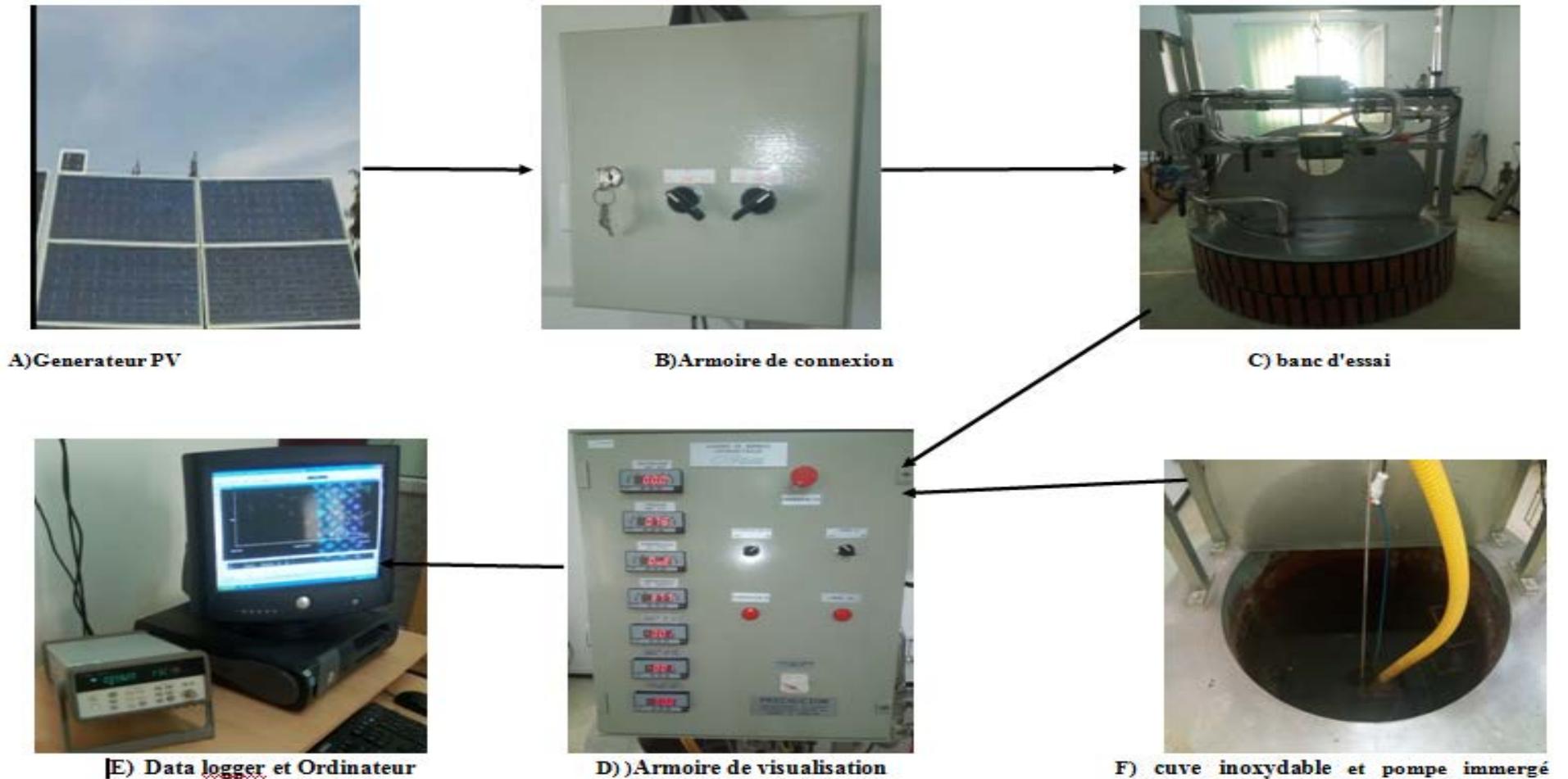
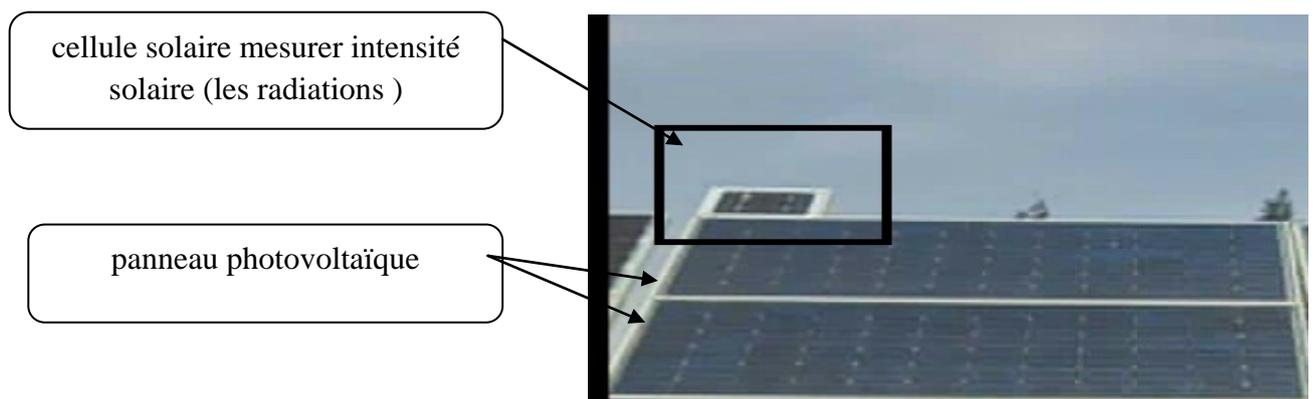


Figure 5.2 .Schéma Synoptique du laboratoire de pompage PV de L'UREAR (Ghardaïa )

### 5.3.2 Générateur photovoltaïque



**Figure 5.3 Le générateur photovoltaïque du banc d'essai de pompage [au sien de l'UREAR]**



**Figure 5.4 l'emplacement de cellule du mesure les radiation**

### 5.3.3 Armoire de visualisation

Elle est a visualiser les paramètres essentiels du système de pompage et permettre le choix de la configuration du système de pompage a savoir

:

- Avec ou sans MPPT
- pompe continue ou alternative
- Option de source auxiliaire



Figure 5.5 Armoire de puits

### 5.3.4 Circuit hydraulique

La figure suivante représente un circuit fermé qui possède d'eaux débitmètre l'un pour petits débit ( C1;débitmètre électromagnétique de 10.000L/h ) et l'autre pour les grands débit ( C2:débitmètre électromagnétique 2.500L/h ) , une vanne de regulation et deux vannes papillon de diamètre 50 mm [9].

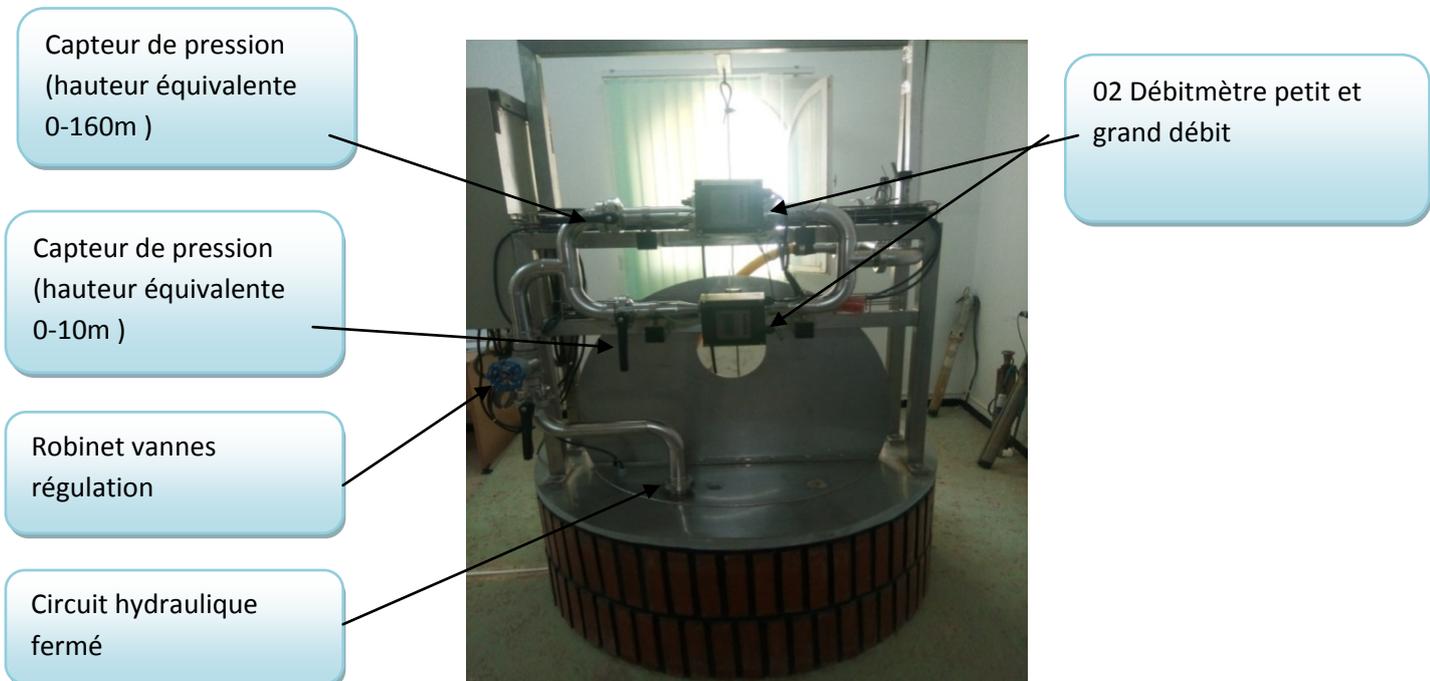
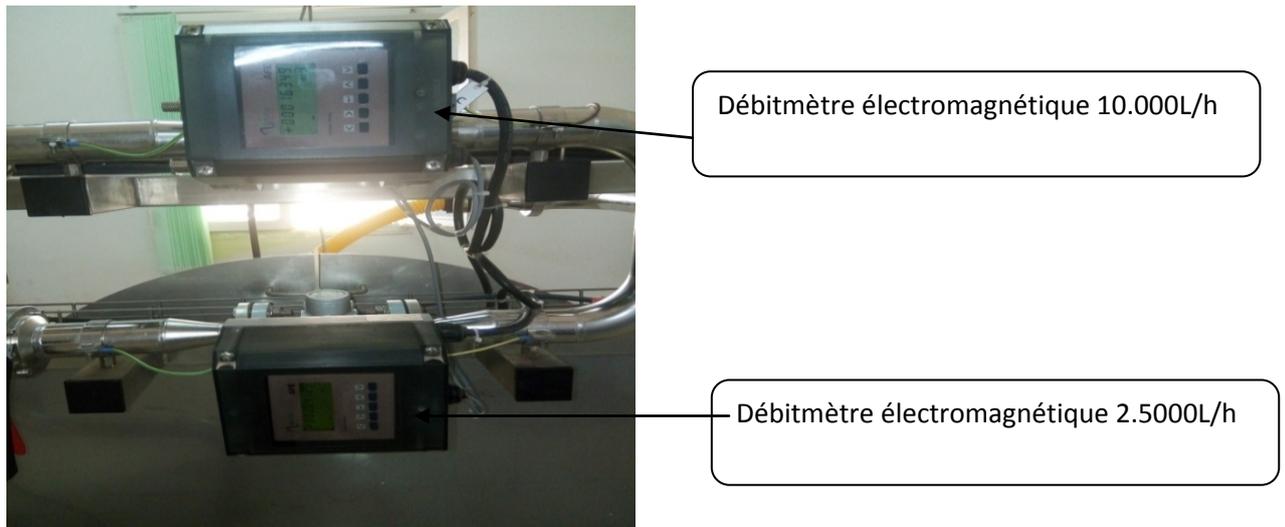


Figure 5.6 Banc d'essai de systèmes de pompage photovoltaïque



**Figure 5.7 Débitmètre électromagnétique**

### 5.3.5 Acquisition de données

Le data-logger Agilent , modèle 34970 A permet l'acquisition de données , Il comporte deux cartes :

- La 34001 A est un module de 20 entrées analogiques indépendantes plus 2 entrées pour la mesure du courant DC ou AC (100 nA-1A )
- La carte 34002 A correspondant à un module de 16 entrées analogiques , indépendantes de 300V. [9].



**Figure 5.8 Data logger et Ordinateur [laboratoire de pompage l'UREAR]**

### 5.4 Etude réel d'un système de pompage PV pour les HMT (10 m,15 m,20 m) à la région de Ghardaïa

-Dans cette étude en fait le dimensionnement d'un système de pompage PV fonctionnant par la méthode dite << au fil du soleil >>.

#### 5.4.1 Type de pompe

Dans ce travail la pompe choisie de type **shurflo.modèle no 9325-043-101 DC** maximum voltage  $V_{max}=240$  V maximum courant  $I_{max}=4$  A de la puissance KW.



Figure 5.9 la pompe utiliser et leur caractéristique

Il s'agit d'installer la pompe immergée (shurflo) pour faire le test dans le puits pendant la journée à des différentes hauteurs 10(m),15(m),20(m). En fixant la hauteur, pour garder cette hauteur fixe, nous procédons au vannage en utilisant le robinet installé à la sortie de la conduite de refoulement

### 5.4.2 Type de module photovoltaïque

On va choisir un module solaire de type ISOFOTO MONOCRISTALLIN avec caractéristiques électriques nominales (tension de circuit ouvert  $V = 40$  V = Courant de court-circuit  $I_{SC} = 3.5$  A puissance maximale  $P_{max} = 110$  W chacun.

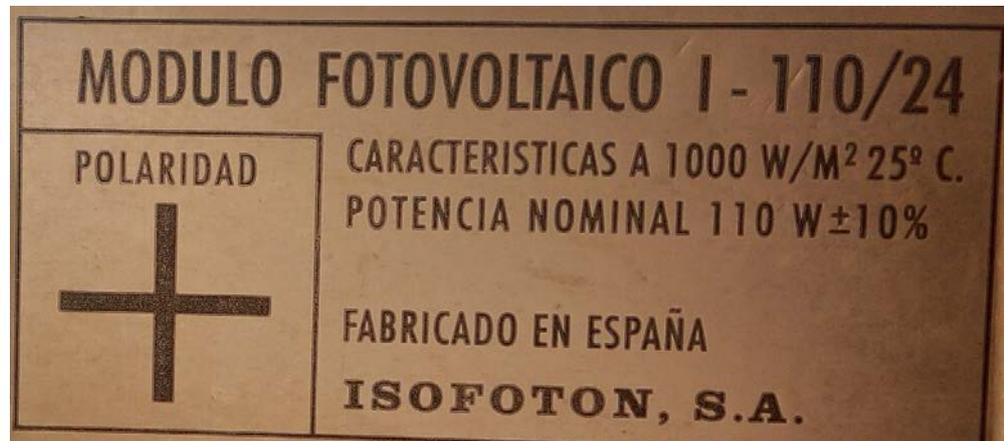


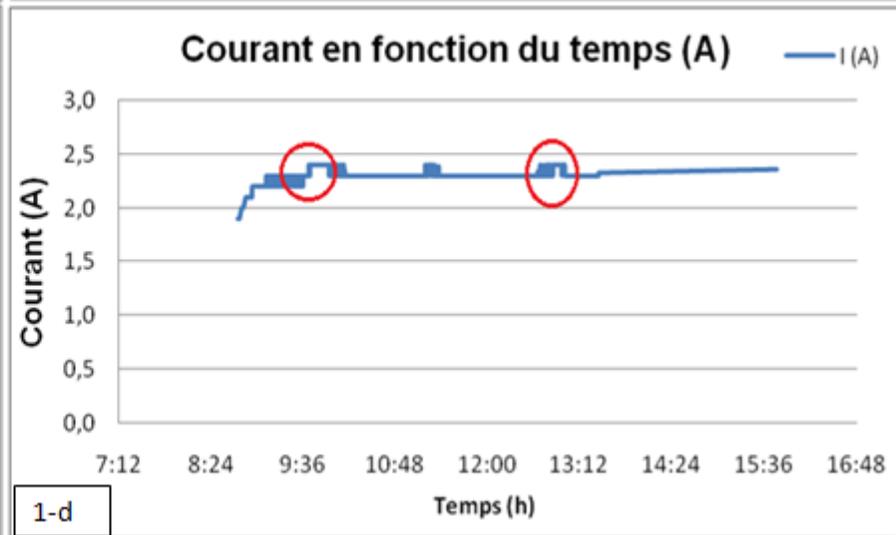
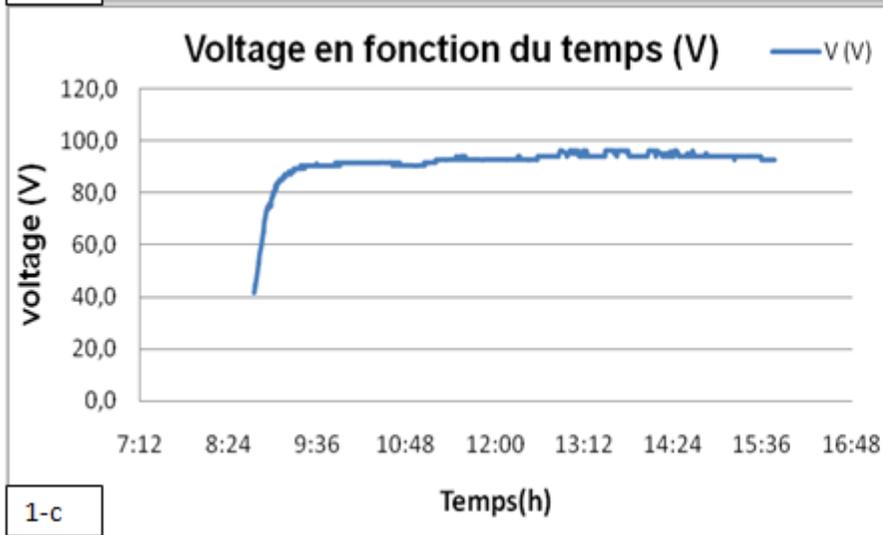
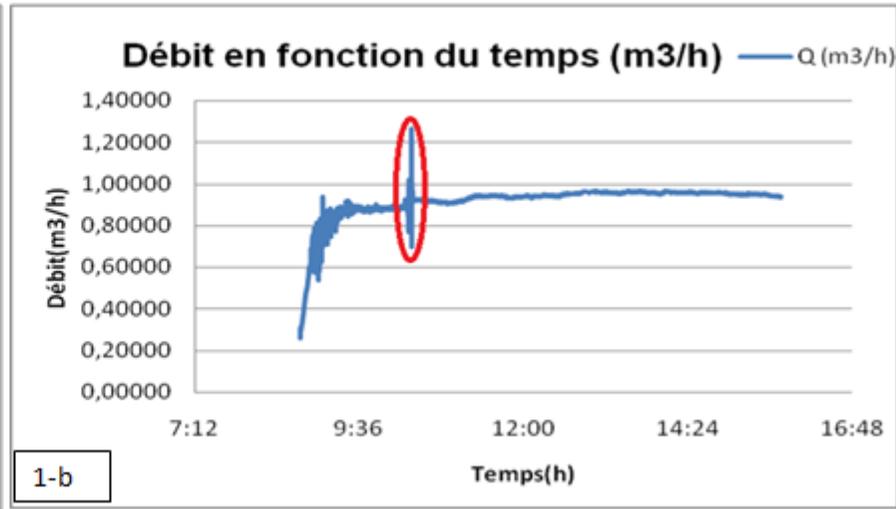
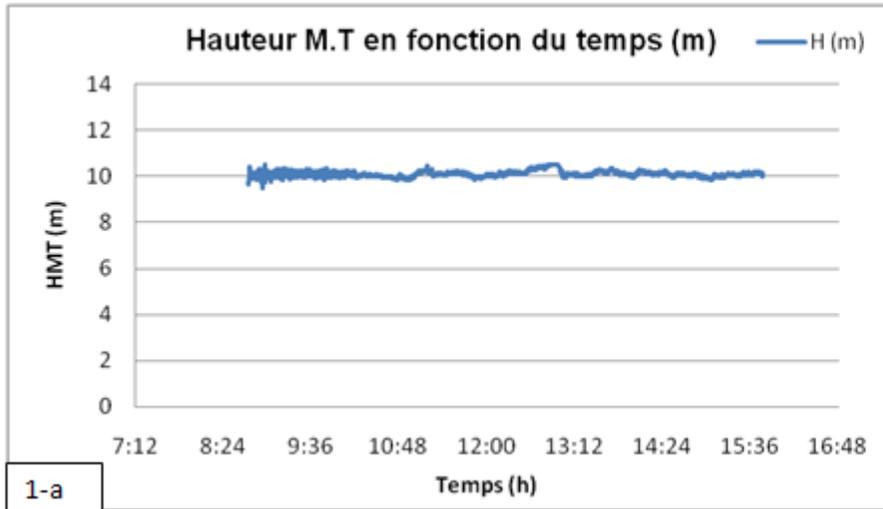
Figure 5.10 Fiche technique de module photovoltaïque

### 5.5 La méthode du testes

Dans le cadre de l'utilisation du photovoltaïque comme source d'énergie pour le pompage d'eau, au niveau du laboratoire de pompage photovoltaïque UREAR Ghardaïa, le puits charge en eau, le générateur connecte avec l'armoire de connexion et la pompe branchée et tout connecte à l'armoire de puits. nous avons fixons la hauteur manométrique totale par une robinet manuelle installé à la sortie de la conduit de refoulement, puis prendre le mesure chaque 10 seconde et les donnée enregistré à l'Ordinateur chaque 10 seconde après nous avons traites ces donne .et présente par des courbe graphiquea l'aide de programme EXEL.

5.5.1 TESTE HMT 10 METRE

Les courbes ci dessus présente les résultats de la correspondance de chaque paramètre énergétique et hydraulique a la HMT de 10 mètre



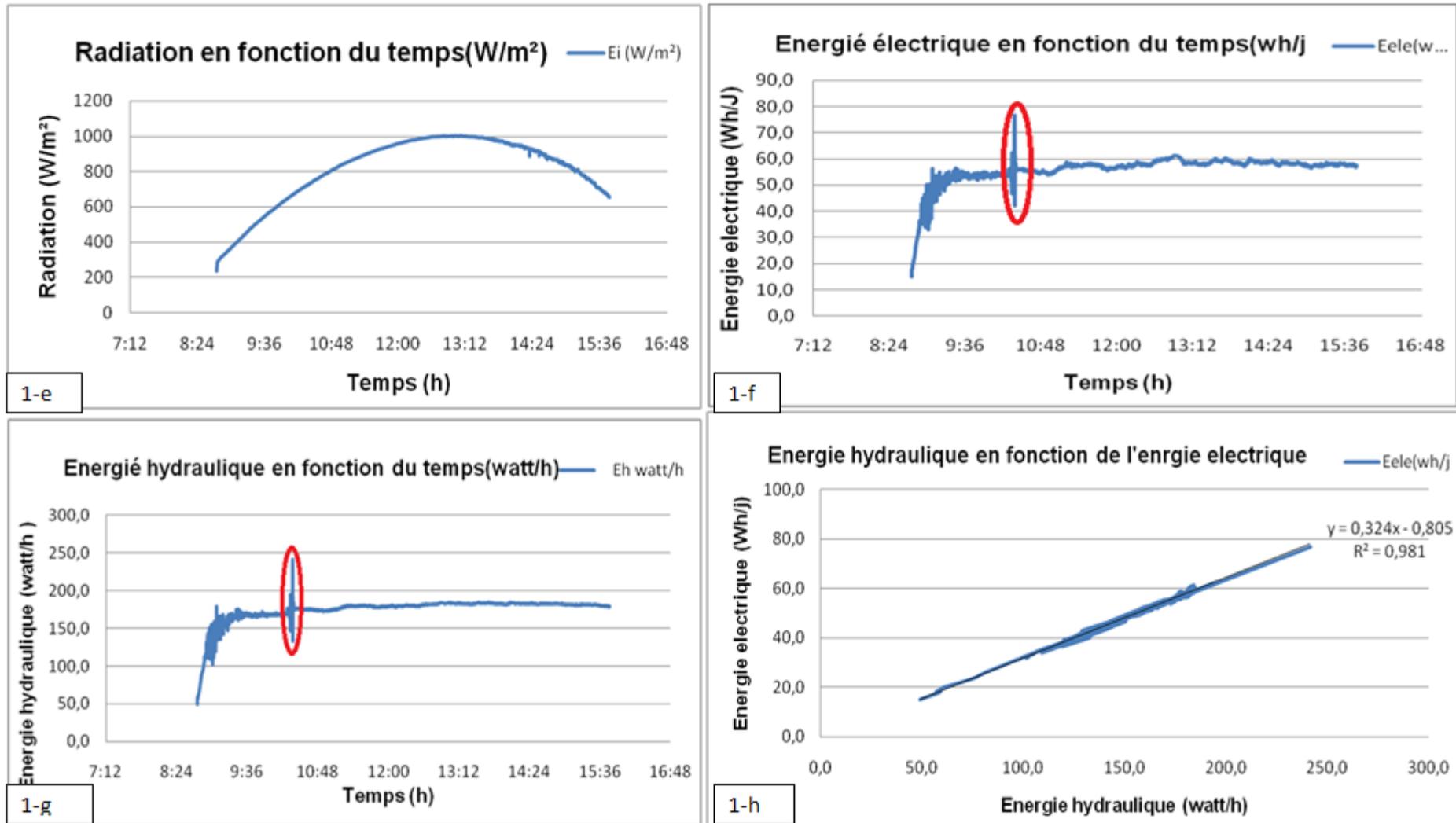


Figure 5.11 les courbes des caractéristiques énergétiques et hydrauliques

**1) Discussions des résultats a la HMT 10 mètre**

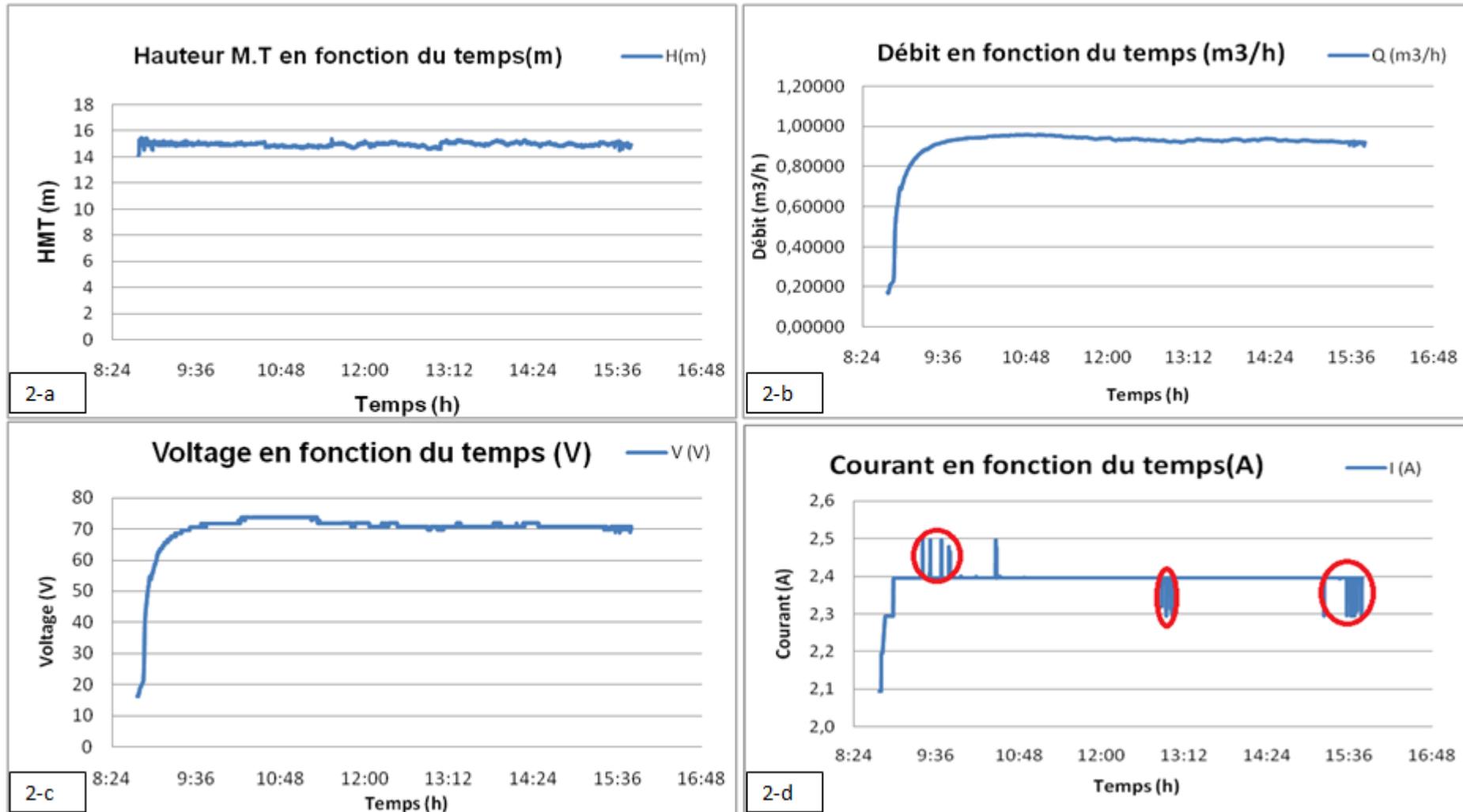
en a représenter les résultats en des courbes graphiques .Nous avons remarquons dans les courbes des vibration relatif qui nous présentons par d'un cercle rouge , cette vibration a cause de deux facteur principaux sont :

- la méthode de teste que garder la hauteur manométrique totale fixe par une robinet manuelle installé a la sortie de la conduit de refoulement .
- le mouvement des nuage au dessus de la générateur photovoltaïque

-Nous avons remarquons a les courbes de I , V , P en la hauteur manométrique totale la production de l'énergie électrique par le générateur PV estime a une moyenne de (200 w-heur).est en a également remarque que nous obtenions des résultats optimum à la hauteur manométrique totale dix mètre (10 m) nous avons enregistré une faible consommation d'énergie électrique par la pompe a une moyenne de (56.2watt-heur) est compense une débit moyenne de(0.92 m<sup>3</sup>/h) et l'intensité de soleil au courbe( 1-e les radiations ) a ce journées acceptable avec un moyenne de (813w/m<sup>2</sup>) et en concluions a la courbe (1-h) que la relation entre l'énergie électrique et l'énergie hydraulique une relation linaire .

## 5.5.2 TESTE HMT 15 METRE

Les courbes ci dessus présente les résultats de la correspondance de chaque paramètre énergétique et hydraulique a la HMT de 15 mètre



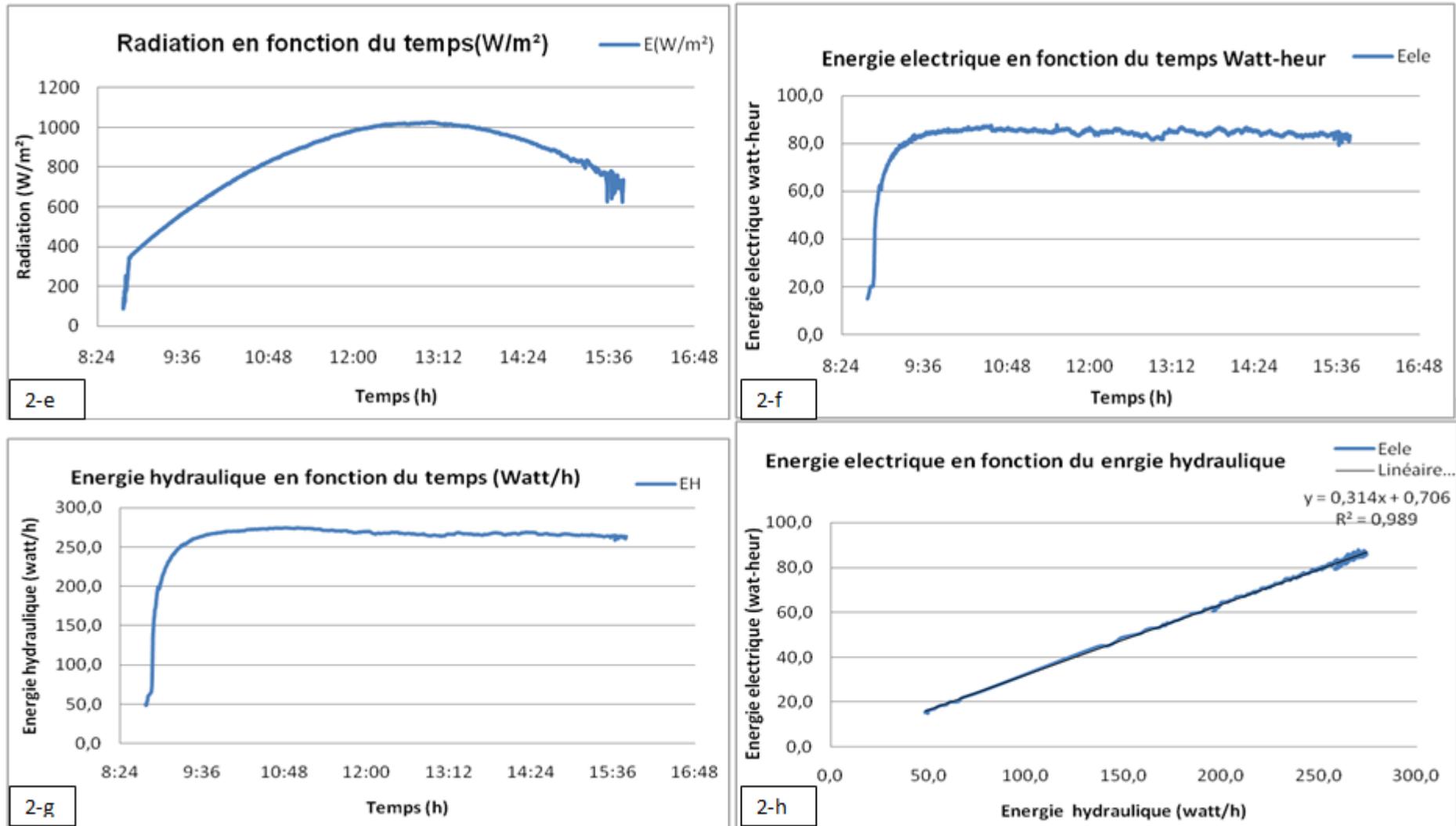


Figure 5.12 les courbe des caracterstique enrgitique et hydraulique

**1) Discussions des résultats a la HMT 15 mètre**

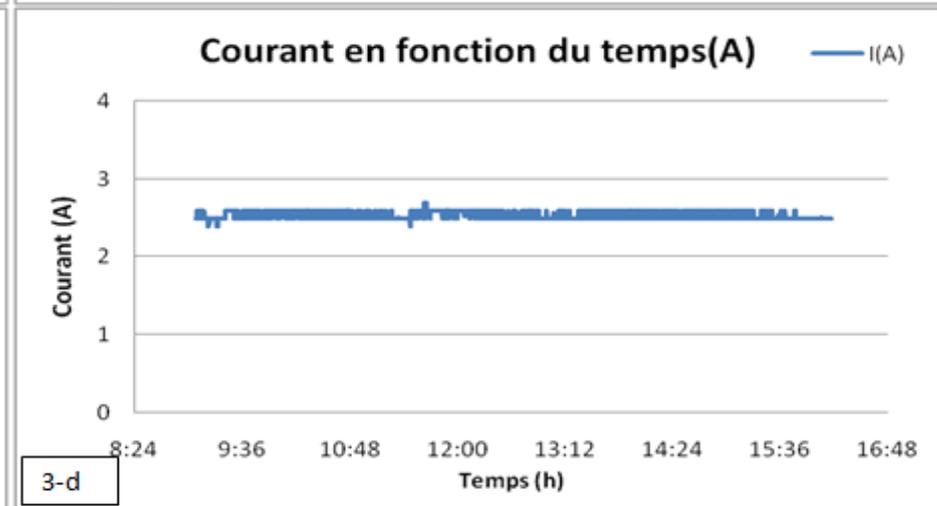
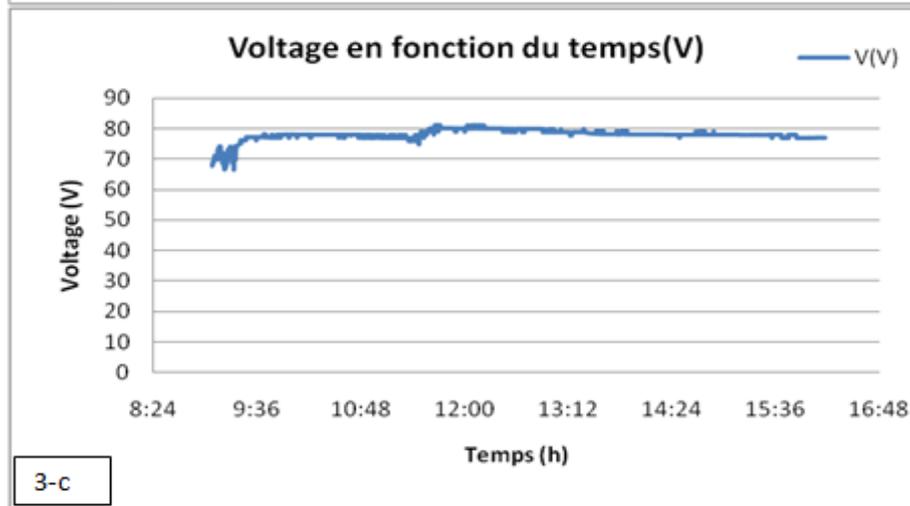
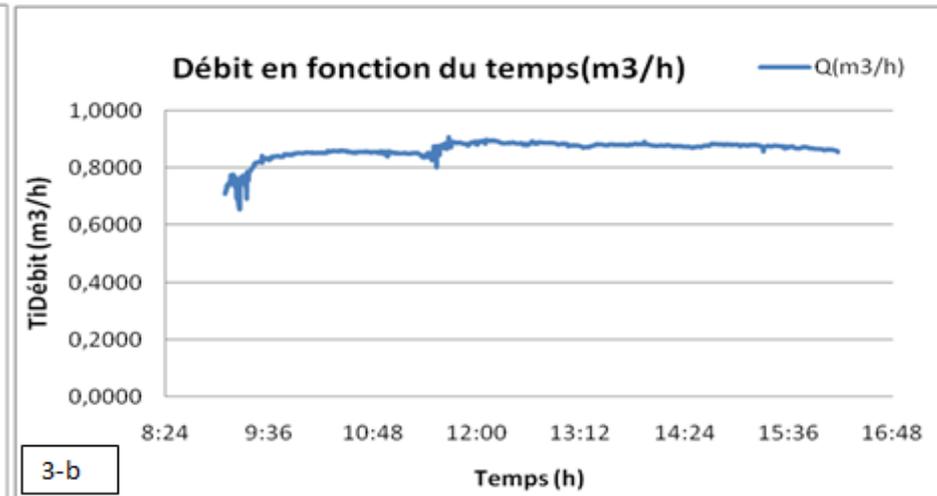
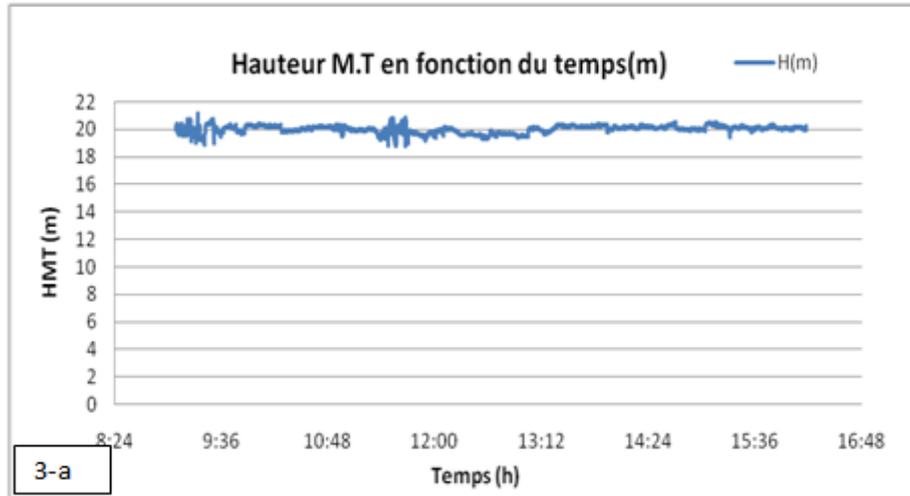
en a représenter les résultats en des courbes graphiques .Nous avons remarquons dans les courbes des vibration relatif qui nous présentons par d'un cercle rouge , cette vibration a cause de deux facteur principaux sont :

- la méthode de teste que garder la hauteur manométrique totale fixe par une robinet manuelle installé a la sortie de la conduit de refoulement .
- le mouvement des nuage au dessus de la générateur photovoltaïque

-Nous avons remarquons a les courbes de I , V , P en la hauteur manométrique totale la production de l'énergie électrique par le générateur PV estime a une moyenne de (168.7 w-heur).es également remarque que nous obtenions des résultats optimum à la hauteur manométrique totale 15 mètre (nous avons enregistré une consommation d'énergie électrique par la pompe a une moyenne de (83.3watt-heur) cette moyenne élève par rapport a la hauteur manométrique de 10 mètre en a déduire que l'augmentation a HMT facteur principal a évaluations de la consommation de l'énergie électrique est compense une débit moyenne de(0.91 m<sup>3</sup>/h) et l'intensité de soleil au courbe( 2-e les radiations ) a ce journées acceptable avec un moyenne de (838w/m<sup>2</sup>) et en concluons a la courbe (1-h) que la relation entre l'énergie électrique et l'énergie hydraulique une relation linéaire..

5.5.3 TESTE HMT 20 METRE

Les courbes ci dessus présente les résultats de la correspondance de chaque paramètre énergétique et hydraulique a la HMT de 20 mètre



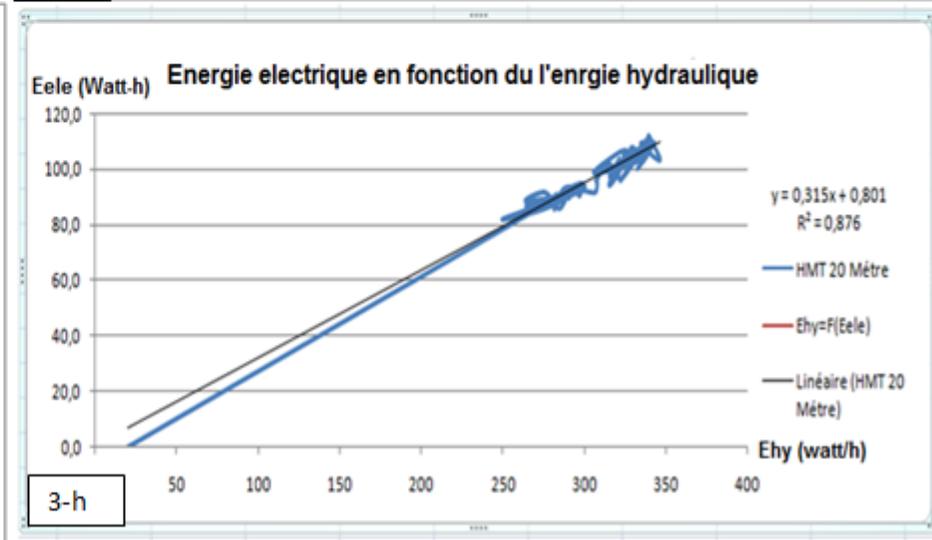
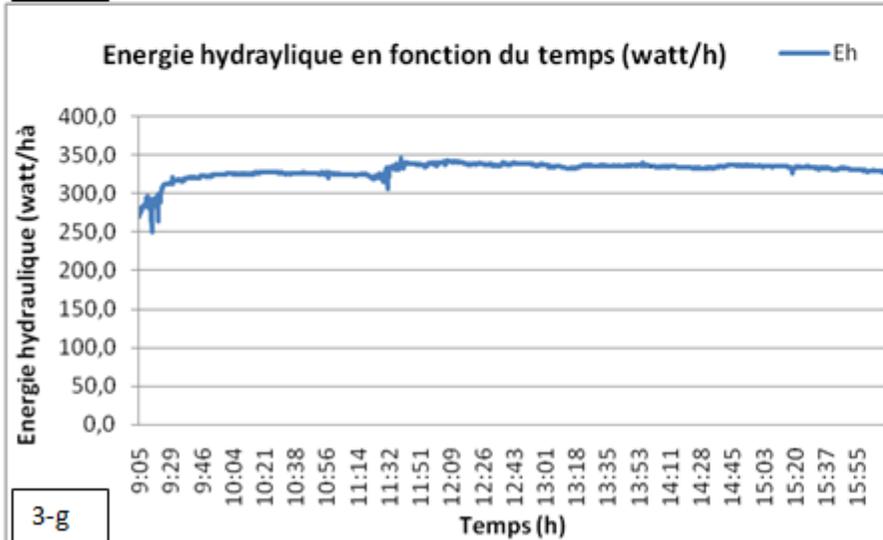
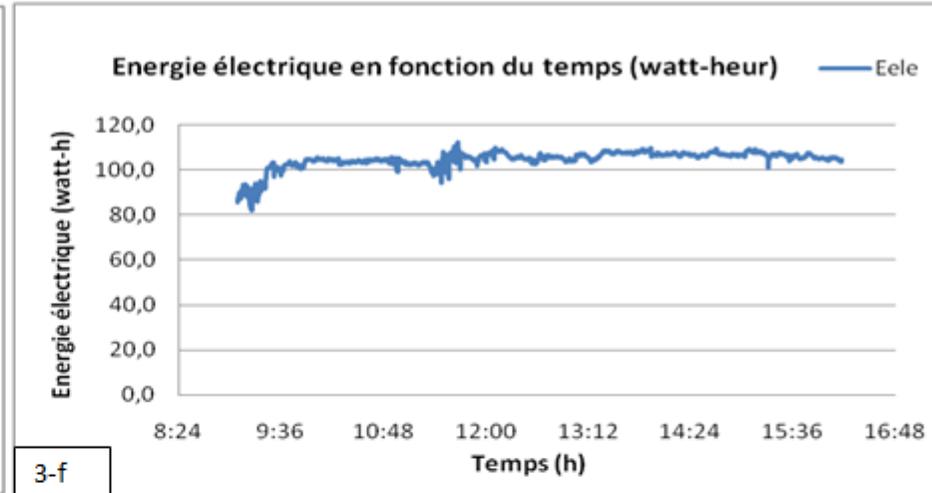
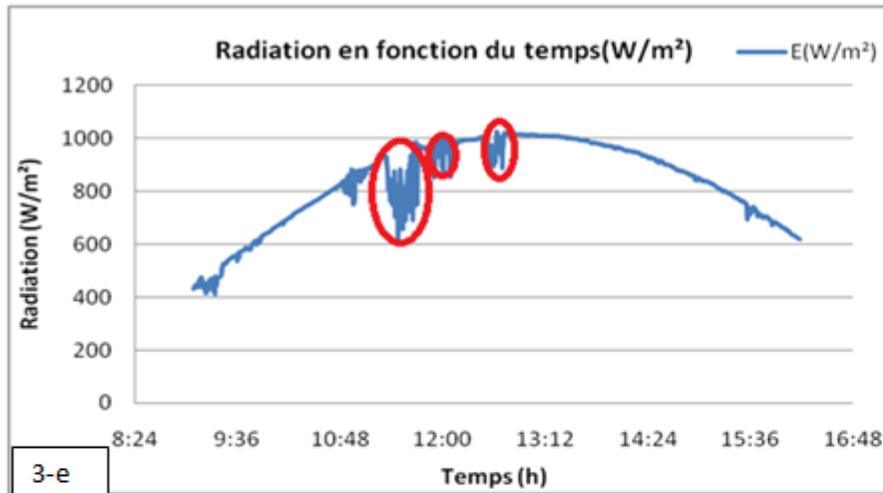


Figure 5.13 les courbe des caractéristique énergitique et hydraulique

### 1) Discussions des résultats a HMT 20 mètre

en a représenter les résultats en des courbes graphiques .Nous avons remarquons dans les courbes des vibration relatif qui nous présentons par d'une cercle rouge , cette vibration a cause de deux facteur principaux sont :

- la méthode de teste que garder la hauteur manométrique totale fixe par une robinet manuelle installé a la sortie de la conduit de refoulement .
- le mouvement des nuage au dessus de la générateur photovoltaïque

-Nous avons remarquons a les courbes de I , V , P à la hauteur manométrique totale la production de l'énergie électrique par le générateur PV estime a une moyenne de (198 w).est en a également remarque que nous obtenions des résultats acceptable à la hauteur manométrique totale (20 m) nous avons enregistré une consommation d'énergie électrique par la pompe a cette hauteur avec moyenne de (105.1 watt-heur) pour fourni une énergie hydraulique estime a une moyenne de (330watt/heur) et pommée l'eau a une débit moyenne de(0.86 m<sup>3</sup>/h) en concluions a la courbe (1-h) que la relation entre l'énergie électrique et l'énergie hydraulique une relation liniaire .

**Tableau 5.1 Les résultats des caractéristiques énergétiques et hydrauliques moyenne a la journée de teste à cheque hauteur manométrique totale .**

HMT	Nombre d'heur de pompage	Débit (m <sup>3</sup> /h) moyenne	I (A) moyenne	Voltage (V) moyenne	Puissance électrique (W) moyenne	Radiation (W/m <sup>2</sup> ) moyenne	Energie électrique (watt-heur) moyenne	Energie hydraulique (watt/h) moyenne	Puissance. hydraulique (watt )	Volume (m <sup>3</sup> ) journalière
10 m	7	0,92015	2,3	91,8	210,60	813	56.2	177	25.07	6.5
15 m	7	0,91914	2,4	70	168,7	838	83.3	224	37.6	5.5
20 m	7	0,8666	3	78	198	840	105.1	330,6	47.2	4.5

### Discussion des résultats

nous avons enregistrons dans les trois testes a déferent HMT les résultats réel des caractéristique énergétique et hydraulique , nous déduirons que les résultats enregistre des résultats optimum si l'objectif de dimensionnement d'un SPPV que le générateur produit une énergie électrique donne la possibilité pour marchée la pompe avec bon rendement de pompage a les déferent hauteur et conserve a leur débit ,donc a l'aide de cet résultats nous avons crée des norme pour installe un système de pompage photovoltaïque .

Tableau 5.2 Fiche technique pour installée un système de pompage photovoltaïque au fil de soleil a la région de Ghardaïa

Fiche technique pour installée un système de pompage photovoltaïque au fil de soleil a la région de Ghardaïa									
	La pompe utilisé		Le câble utilisé	Générateur PV					
HMT	Le type	Les caractéristique	Les caractéristique	Nombre et le type de module PV	Les caractéristique de module	La configuration de générateur	La position de générateur		
10 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ shurfloDC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Vmax=24 V</li> </ul>	Sc=1.5 mm <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 4 quatre modules ISOFOFO MONOCRISTALLN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ V = 40 V</li> <li>➤ I= 3.5 A</li> <li>➤ P= 110 w chacun</li> </ul>	G <sub>PV</sub> = 2P ×2S <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 2 deux panneaux en sérié</li> <li>➤ 2 deux panneaux en parallèle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Vert le sud</li> <li>➤ Angle = latitudes de site = 32.30°</li> </ul>		
15 m								<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ I<sub>max</sub>= 4 A</li> </ul>	I <sub>max</sub> =16 A
20 m								<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ P<sub>max</sub>=100w</li> </ul>	V <sub>max</sub> =220v
Les résultats obtenu									
	L'énergie solaire		Energie requise		Débit d'eau fournis par la pompe en m3/h	Le volume journalier a l'ensoleillement le plus bas 5h	Le volume journalier a l'ensoleillement le plus haut		
HMT	Duré d'ensoleillement a la région de Ghardaïa Dh(S-heur)		Electrique Watt-heur	Hydraulique Watt/h					
10 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ la duré d'ensoleillement le plus bas 5 heur</li> <li>➤ la duré d'ensoleillement le plus haut 12 heur</li> </ul>		56.2 Watt-heur	177 Watt/h	0,92015 m3/h	4.6 m <sup>3</sup>	11 m <sup>3</sup>		
15 m			83.3 Watt-heur	224 Watt/h	0,91914 m3/h	4.3 m <sup>3</sup>	10.5 m <sup>3</sup>		
20 m			105.1 Watt-heur	330,6 Watt/h	0,8666 m3/h	4.1 m <sup>3</sup>	10 m <sup>3</sup>		

**5.6 Conclusion :**

Dans le cinquième chapitre et dernier chapitre nous avons intéressé à l'étude de dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque de la région de Ghardaïa, cette étude divisée en deux parties, partie théorique et partie d'application expérimentale. Cette partie détaille toutes les étapes pour le dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque au fil du soleil et nous comparons la méthode graphique pour concilier les mesures et les résultats. Après l'étude des graphes, nous avons conclu des résultats optimaux de dimensionnement. À l'aide de ces résultats, nous avons installé un SPPV avec un bon rendement.

### 5.7 CONCLUSION GENERALE

Ce travail a été consacré à une étude de dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque dans le centre de recherche URAER .On peut comprendre et justifier l'intéressement à l'énergie solaire pour le pompage de l'eau .D'abord ,l'énergie solaire photovoltaïque est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite. C'est d'ailleurs ce qui explique que son utilisation connaît une croissance significative dans le monde .d'autre part, la demande d'énergie électrique ,essentiellement pour les besoins des zones rurales et les sites isolés, ne cessent d'augmenter , en particulier ,les systèmes de pompage d'eau.

pour exploiter l'énergie solaire pour le pompage solaire photovoltaïque ,il ya des conditions qui doivent être étudiées soigneusement.

premièrement ,l'amélioration de la captation d'ensoleillement par les panneaux solaires afin de récupérer le maximum d'énergie possible, et l'inclinaison des panneaux doit être bien choisie

Deuxièmement l'exploitation maximale de l'énergie captée afin de tirer le maximum de puissance électrique disponible au niveau de générateur PV. Nous avons vu comment nous pourrions optimiser la puissance fournie par le GPV.

La troisième condition concerne le dimensionnement optimal du système de pompage photovoltaïque et nous avons concluons tous les résultats a une fiche technique pour installer un système de pompage photovoltaïque .

Ce système de pompage solaire est conçu pour un approvisionnement en eau dit <<au fil de soleil>>.

# Bibliographie

- 
- [1] :Mr MOHAMED LAKHDAR LOUAZENE, Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla ,2008
- [2] Mr: ZANOUNE AISSA, Etude et dimensionnement d'une station de pompage par énergie solaire photovoltaïque dans la région de Ghardaïa.2016
- [3] Mr TALEB BAHMED Massoud Évaluation hydrochimique des eaux souterraines de la vallée du M'Zab : Cas de la région d'El-Atteuf
- [4] Mr. azzedine boutelhig Solar and Water Potential Sources Assessment
- [5] M<sup>elle</sup>: BEN CHIEKH ELHOCINE HANANE, Simulation numérique de modèle de collecteur hybride photovoltaïque / photothermique .
- [6] Laboratoire de recherche des énergie renouvelable <http://www.cder.dz/>.
- [7] J. ROYER, T. DJAKO, « Le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa, 2002.
- [8]Mr :AZZEDIN BOUTELHIG ,« Le pompage photovoltaïque »,
- [9] Mr: ZANOUNE AISSA, Etude et dimensionnement d'une station de pompage par énergie solaire

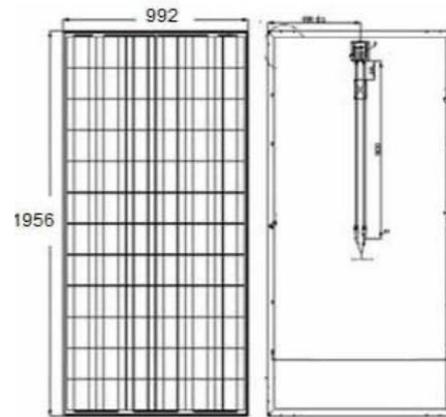
# ANNEXES



Pompe de surface



SALMSON pompe



Caractéristiques physiques de modules photovoltaïque monocristallin 72 cellules