

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des nouvelles technologies de l'information et de la communication  
Département d'Electronique et des Télécommunications



Mémoire

MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electronique

Spécialité : Instrumentation

Présenté par :

Degla Mohammed Larbi

Ben Ahmed Bachir

Thème

# Dimensionnement d'un Système de Pompage Photovoltaïque

Soutenu publiquement

Le : 24/05/2017

Devant le jury :

M. Kadri Salim

M.NASRI Nadjib

M. Rachedi Mohmed Yacine

MA (A) Président

MA (A) Encadreur

MA (A) Examineur

UKM Ouargla

UKM Ouargla

UKM Ouargla

Année Universitaire : 2016/2017

## **Remerciements**

*Louange à **DIEU** le tout puissant, de nous avoir aidé à réaliser ce travail. Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur **M.NASRI Nadjib** pour son suivi durant la période de préparation de notre mémoire, son aide et ses conseils qui nous ont été très précieux.*

*Nos plus vifs remerciements sont également adressés à messieurs les membres du jury d'avoir participé à examiner notre travail.*

*Nous tenons à remercier profondément tous les enseignants du département d'électronique et des télécommunications de l'UKMO.*

DEDICACE

*Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux  
Tout d'abord je tiens à remercier le tout puissant de m'avoir donné le courage et la  
patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail que*

*Je dédie :*

*A ma très chère mère, qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon très cher père, pour ses encouragements. A mes  
très chères frères.*

*A toute ma grande famille : DEGLA*

*A mes meilleurs amis chacun à son nom.*

*A tous mes amis de master promotion DE L'ELECTRONIQUE ET  
DE TELECOMMUNICATIONS (LMD)*

*Spécialité : Instrumentation Pétrolière.*

*A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire à mon enseignant*

*M. NASRI Nadjib*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce  
travail.*

*DEGLA- Mohammed Larbi*

DEDICACE

*Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux  
Tout d'abord je tiens à remercier le tout puissant de m'avoir donné le courage et la  
patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail que*

*Je dédie :*

*A ma très chère mère, qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon très cher père, pour ses encouragements. A mes  
très chers frères.*

*A toute ma grande famille : BEN AHMED*

*A mes meilleurs amis chacun à son nom.*

*A tous mes amis de master promotion DE L'ELECTRONIQUE ET  
DE TELECOMMUNICATIONS (LMD)*

*Spécialité : Instrumentation Pétrolière.*

*A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire à mon enseignant*

*M. NASRI Nadjib*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce  
travail.*

*BEN AHMED- Bachir*

Liste des figures

Chapitre : 01

Figure 1-1 : La structure de cellule solaire .....	03
Figure 1-2 : Caractéristique courant – tension d’une cellule photovoltaïque.....	03
Figure 1.3 : Caractéristique puissance-tension .....	04
Figure 1-4 : Cellule monocristalline.....	05
Figure 1-5 : Cellule poly-cristalline.....	05
Figure 1-6 : Cellule amorphe.....	05
Figure 1-7 : Schéma équivalent de cellule PV .....	06
Figure 1-8 : (a) Schéma d’un module formé d’un groupement des cellules en série.....	06
Figure 1-8 : (b) Caractéristique I (v) d’un groupement des cellules en série .....	06
Figure 1-9 : (a) Schéma d’un module formé d’un groupement des cellules en parallèle. ...	07
Figure 1. 9: (b) Caractéristique I (v) d’un groupement des cellules en parallèle. ....	07
Figure1-10 : Influence de l’éclairement sur la caractéristique I-V.....	07
Figure 1-11 : Influence de l’éclairement sur la caractéristique P-V. ....	08
Figure 1-12 : Influence de la température sur la caractéristique I-V. ....	08
Figure 1-13 : Influence de la température sur la caractéristique P-V. ....	09
Figure 1-14 : Module photovoltaïque retour.....	09
Figure 1-15 : Champ photovoltaïque .....	10
Figure 1-16 : Système photovoltaïque autonome .....	10
Figure 1.17- Système hybride solaire / éolien.....	10
Figure 1.18 : Système photovoltaïque raccordé au réseau . ....	11
Figure 1.19 : Système de pompage solaire. ....	11

Chapitre : 02

Figure2.1 : Pompage photovoltaïque au fil du soleil. ....	13
Figure2.2 : Pompage photovoltaïque avec stockage d’énergie.....	14
Figure2.3 : Champ photovoltaïque.....	14
Figure2.4 : Classification des pompes .....	15
Figure2.5 : Schéma d’une pompe centrifuge.....	15
Figure2.6 : Schéma d’une pompe volumétrique... . ....	16
Figure2.7: Pompes de surface .....	16
Figure2.8: Pompe immergée .....	17
Figure2.9 : Moteur à courant continu avec balais.....	17

Figure 2.10 : Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe DC.....	18
Figure 2.11 : Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe à AC...	18
Figure 2.12 : Conversion DC / DC.....	18
Figure 2.13 : Conversion DC / AC.....	19
Figure 2.14 : Différents types d batteries.....	19

### Chapitre : 03

Figure 3.1: Hauteur manométrique total.....	22
Figure 3.2: Pompage d'eau pour irrigation.....	26
Figure 3.3 : Irradiation journalière reçue sur plan horizontal : (a) Juillet (b) Décembre ...	27
Figure 3.4 : Algorithme de dimensionnement.....	28
Figure 3.5: Histogramme d'amortissement du système de pompage (Sans aide de l'état)..	30
Figure 3.6: Histogramme d'amortissement du système de pompage (Avec aide de l'état).	31

**Liste des tableaux**

<b>Tableau 1.1</b> : Rendement des différents types des cellules .....	<b>05</b>
<b>Tableau 3-1</b> : Irradiations mensuelles de la wilaya de ouargla .....	<b>20</b>
<b>Tableau 3.2:</b> Tableau d'estimation des besoins en eau .....	<b>21</b>
<b>Tableau 3.3</b> : Caractéristiques du régulateur .....	<b>24</b>
<b>Tableau 3.4</b> : Caractéristiques de l'onduleur.....	<b>25</b>
<b>Tableau 3.5</b> : Besoins annuels moyens en eau d'un palmier.....	<b>26</b>
<b>Tableau 3.6:</b> Coût total de l'investissement .....	<b>29</b>
<b>Tableau 3.7</b> : Durée de vie des composants d'un système de pompage photovoltaïque.....	<b>30</b>

# Sommaire

	page
<b>Introduction générale</b> .....	01
<b>Chapitre 01 : Généralités sur les systèmes à énergie photovoltaïque</b>	
1.1- Introduction .....	02
1.2- Energie solaire photovoltaïque .....	02
1. 2.1- Irradiation solaire .....	02
1.2 .2- Cellule photovoltaïque.....	03
1.2.3- Caractéristique courant – tension (I-V) d’une cellule photovoltaïque .....	03
1.2 .4- Caractéristiques puissance-tension (P-V) .....	04
1.2 .5- Type des cellules photovoltaïques .....	04
1.2.6- Modèle d’une cellule solaire.....	06
1.2.7- L’association des cellules .....	06
1.2.7.1 - Association série .....	07
1.2.7.2 Association parallèle .....	07
1.2.7.3 Association mixte .....	07
1.2.8 - Influence du rayonnement sur les cellules .....	07
1.2.9 Influence de la température sur le rendement des cellules .....	08
1.3 - Le champ photovoltaïque .....	09
1.4 - Systèmes à énergie photovoltaïque.....	10
1.4.1 - Système photovoltaïque d’alimentation électrique.....	10
1.4.2 - Système P.V raccordé au réseau .....	11
1.4.3 - Système photovoltaïque de pompage d’eau .....	11
1.5 - Secteurs d’application .....	11
<b>Chapitre 02 : Le système de pompage solaire</b>	
2.1- Introduction .....	13
2.2 Le pompage solaire .....	13
2.2.1- Pompage « au fil du soleil » .....	13
2.2.2-Pompage avec stockage d’énergie .....	14
2.3- Composants d’un système de pompage PV .....	14
2.3.1- Le générateur photovoltaïque .....	14
2.3.2- Le groupe de motopompe .....	15
2.3.2.1- Classification selon la conception de la pompe .....	15

2.3.2.2 - Classification selon la position de pompe .....	16
2.3.2.3 - Classification selon le moteur utilisé .....	17
2.3.3- Electronique de commande .....	18
2.3.4- Le stockage .....	19
2.9- Conclusion .....	19
<b>Chapitre 3 : Algorithme de dimensionnement et résultats</b>	
3.1- Introduction .....	20
3.2- Les méthodes de dimensionnement .....	20
3.2.1- La méthode du mois le plus défavorable .....	20
3.2.2-La méthode de la moyenne annuelle .....	20
3.3 - Technique de dimensionnement .....	20
3.3.1- Détermination de la charge (calcul de l'énergie quotidienne requise) .....	20
3.3.2- Énergie requise pour la pompe.....	21
3.3.3- Calcul du champ photovoltaïque .....	22
3.3.4- Calcul de la capacité de batterie (au besoin) .....	23
3.3.5- Choix du régulateur (au besoin) .....	24
3.3.6- Choix de l'onduleur.....	24
3.4- Bilan économique .....	25
3.5- Application et résultats.....	25
3.6- Conclusion .....	32
Conclusion générale .....	33

# Introduction générale

Parmi les grands enjeux des temps modernes, l'approvisionnement en eau, soit pour la consommation domestique (de personnes), soit pour l'agriculteur (élevage et irrigation) [01]. Ce problème est lié directement à un autre enjeu qui est l'apport de l'énergie nécessaire.

En Algérie, malgré les grands efforts et travaux réalisés par la SONELGAZ [01], plusieurs régions restent non connectées au réseau public d'électricité. Citons par exemple les régions sahariennes qui se situent loin des villes.

Ceci constitue un inconvénient majeur pour les agriculteurs, car pour eux l'eau est suffisamment disponible. Mais l'énergie requise est soit absente, soit très chère à obtenir. [02]

L'une des solutions pratiques est le recours à l'énergie solaire. Vu qu'elle est abondante dans notre grand désert. [03]

Dans ce travail, on aborde justement la problématique d'approvisionnement d'eau, pour l'irrigation par pompage solaire.

Pour ceci, on présume l'existence d'un forage ; et on réalise une étude complète du système de pompage solaire (constituants et dimensionnement). En plus d'une étude économique qui vérifie la rentabilité du système sur 30 ans, tout en comparant avec l'énergie conventionnelle.

Pour ce faire, notre travail est partagé en 03 chapitres. Dans le premier, on énonce les notions fondamentales de l'énergie solaire et ses principes. Ensuite à travers le second chapitre, on présentera le système de pompage solaire et ses composants. Enfin, on abordera l'algorithme de dimensionnement, qui sera appliqué sur un exemple réel. Les résultats obtenus par programmation Matlab seront rapportés et commentés, On termine bien sûr par une conclusion générale.

## 1.1- Introduction :

Devant la demande croissante de l'énergie électrique, essentiellement pour les sites isolés (régions sahariennes, régions montagneuses), où le raccordement au réseau électrique public est très coûteux, l'énergie solaire photovoltaïque constitue la solution la plus avantageuse. Car elle est inépuisable, propre et offre une grande sécurité d'utilisation.

Les systèmes photovoltaïques ne nécessitent aucun apport extérieur de combustible. De plus, le générateur lui-même ne contient aucune pièce mobile et ne requiert donc pratiquement pas d'entretien. Par conséquent, les coûts d'opération et de maintenance sont relativement faibles.

Pour ces raisons, cette source d'énergie convient particulièrement bien pour les utilisations en milieu rural. Où les populations sont réparties dans de petites communautés et la demande énergétique est relativement faible.

## 1.2- Energie solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire dans une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un panneau solaire (ou module photovoltaïque). Plusieurs modules regroupés forment un champ photovoltaïque.

### 1. 2.1- Irradiation solaire :

L'irradiation (Ensoleillement ou éclaircissement) est définie comme une puissance reçue par une surface. Il s'exprime en  $W/m^2$  (watt par mètre carré).

L'irradiation ou rayonnement est l'énergie reçue par une surface. Elle s'exprime en  $(J \cdot m^{-2})$  (Joule par mètre carré). [1]

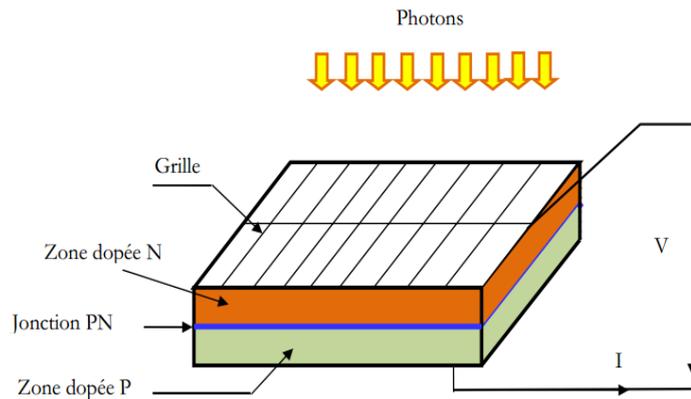
D'autres unités plus courantes sont le  $Wh/m^2$  (wattheure par mètre carré)

Signalons que, l'irradiation solaire dépend de :

- l'orientation et l'inclinaison du panneau solaire.
- la latitude du lieu et son degré de pollution.
- la période de l'année.
- l'instant considéré dans la journée.
- la nature des couches nuageuses.

### 1.2.2- Cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est conçue en se basant sur le phénomène physique appelé « effet Photovoltaïque ». Une force électromotrice apparaît lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé, sa disposition, température de la cellule ainsi que le vieillissement de la cellule [2].

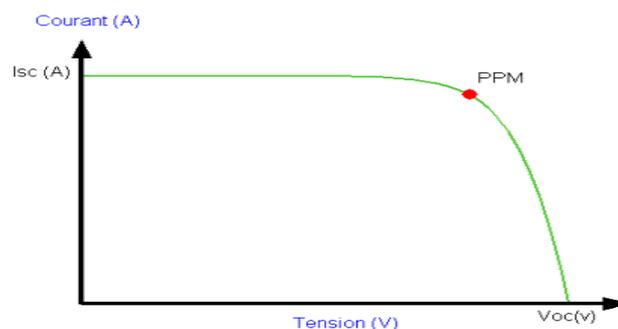


**Figure 1-1** : Structure de cellule solaire.

Une cellule photovoltaïque est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P et l'autre couche dopée N créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel comme montré dans la figure précédente.

Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule.

### 1.2.3- Caractéristique courant – tension (I-V) d'une cellule photovoltaïque :



**Figure 1-2** : Caractéristique courant – tension d'une cellule photovoltaïque.

Comme nous le voyons sur la figure1-2, la cellule solaire PV est caractérisée par la courbe  $I(V)$  non linéaire qui dépend particulièrement des conditions d'ensoleillement et de température. Cette courbe nous informe sur trois points importants : [2]

- Le point de fonctionnement optimal PPM (la puissance maximale de la cellule).
- Le point du courant maximal ( $I_{SC}$ ). Il se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées. Il est appelé courant de court-circuit ( $I_{SC}$ ).
- Le point de la tension maximale de la cellule ( $V_{oc}$ ), (environ 0.6 V) pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert ( $V_{oc}$ ).

#### 1.2.4- Caractéristique puissance-tension (P-V) :

La puissance crête d'une cellule PV, notée  $W_c$  (Watt crête) ou  $W_p$  (Watt peak) représente la puissance électrique maximum délivrée dans les conditions suivantes dites conditions standard :[2]

- éclairement solaire de  $1 \text{ kW} / \text{m}^2$  ;
- température de la cellule PV égale à  $+ 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

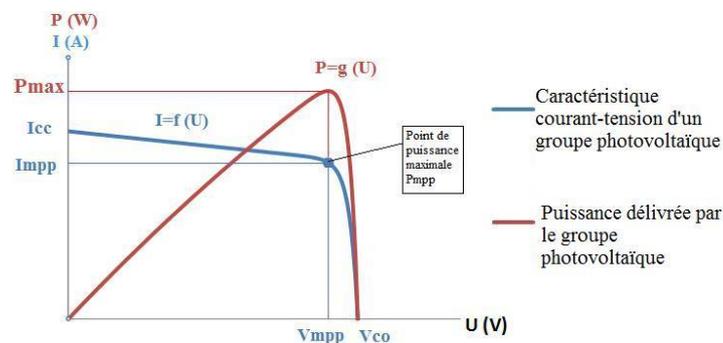


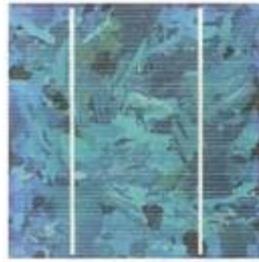
Figure 1-3 : Caractéristique puissance-tension.

#### 1.2.5- Type des cellules photovoltaïques :

Il existe différents types de cellules photovoltaïques, et chaque type possède un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement reste assez faible : de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent.

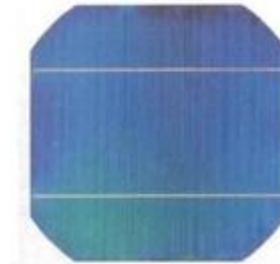
Il existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle et sont [3] :

- **Cellules monocristallines** : Ce sont celles qui ont le meilleur rendement mais aussi le coût le plus élevé.



**Figure 1-4 :** Cellule monocristalline.

- **Cellules poly-cristallines :** Leurs coût de fabrication est moins important, vu leur conception facile. Cependant leur rendement est plus faible.



**Figure 1-5 :** Cellule poly-cristalline.

- **Cellules amorphes :** Elles ont un faible rendement, mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres.



**Figure 1-6 :** Cellule amorphe.

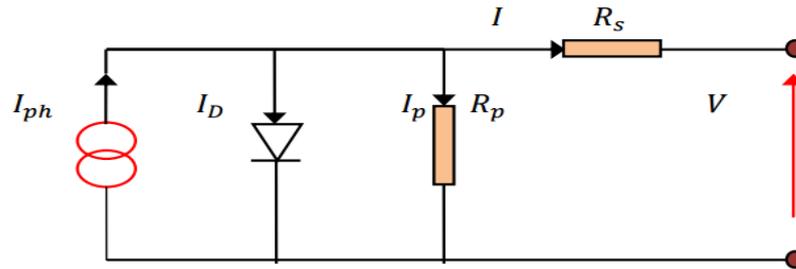
Le tableau suivant présente les différents types de cellules avec leurs rendements [3].

Technologie de cellules	Rendement en Laboratoire	Rendement production
Silicium amorphe	13%	5-9%
Silicium poly cristallin	19,8%	11 à 15 %
Silicium monocristallin	24,7%	13 à 17%

**Tableau 1.1 :** Rendement des différents types des cellules.

**1.2.6 - Modèle d'une cellule solaire :**

Une cellule photovoltaïque est souvent présentée comme un générateur de courant électrique dont le comportement est équivalent à une source de courant shuntée par une diode. Pour tenir compte des phénomènes physiques au niveau de la cellule, le modèle est complété par deux résistances série  $R_s$  et  $R_{sh}$  comme le montre le schéma équivalent de la figure suivant [4] :



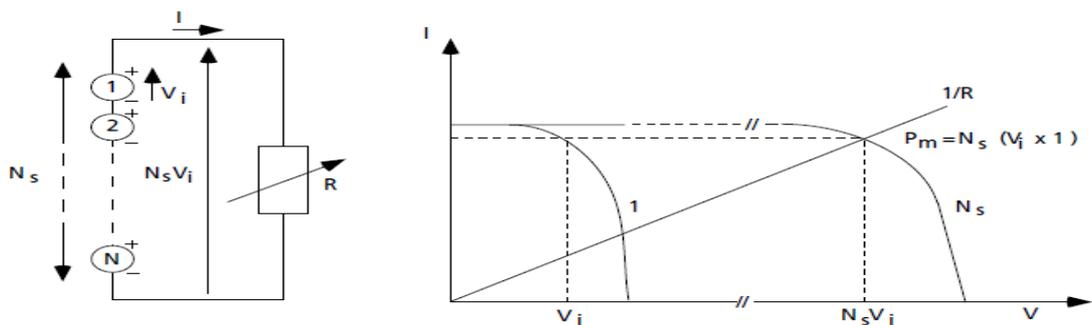
**Figure 1-7 : Schéma équivalent de cellule PV**

La résistance série est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles. La résistance shunt est due à un courant de fuite au niveau de la jonction.

**1.2.7 - Association des cellules : [4]**

**1.2.7.1 - Association série :**

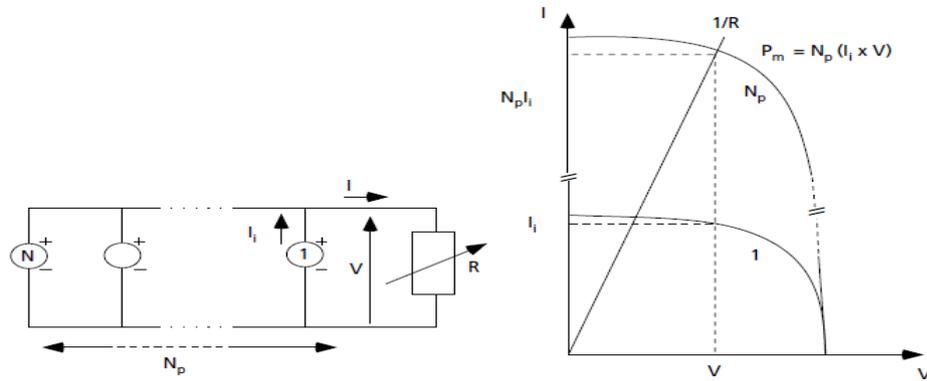
Ici les tensions des cellules s'additionnent, augmentant ainsi la tension totale de générateur.



**Figure 1-8 : (a) Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en série.**

**(b) Caractéristique I (v) d'un groupement des cellules en série.**

1.2.7.2 - Association parallèle : C'est le courant qui augmente.



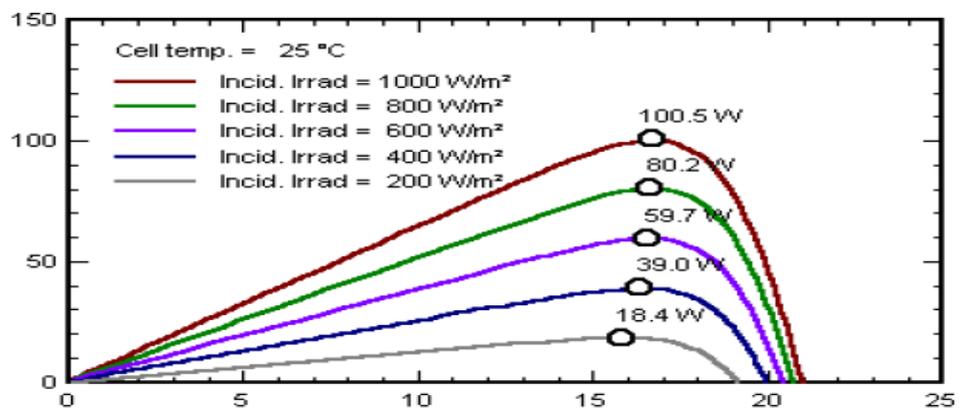
**Figure 1-9 :** (a) Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en parallèle.  
 (b) Caractéristique  $I (v)$  d'un groupement des cellules en parallèle.

1.2.7.3 - Association mixte :

Pour atteindre une puissance importante, il faut associer plusieurs cellules en série et en parallèle. Cette interconnexion des modules forme un module photovoltaïque.

1.2.8 - Influence du rayonnement sur les cellules

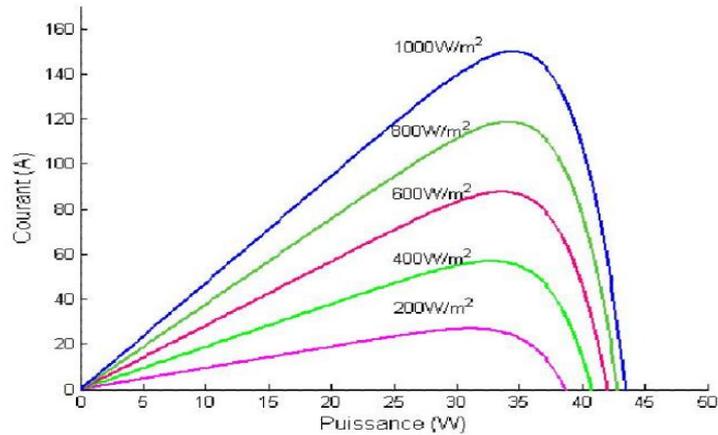
La cellule photovoltaïque réagit différemment selon l'énergie qu'elle reçoit. Plus elle reçoit d'énergie plus elle en restitue, mais toujours avec un coefficient de rendement faible. La variation des caractéristiques est représentée sur les courbes de la figure 1.10. Pour différents niveaux d'irradiation, le changement du courant optimal est important [5]. Selon les conditions météorologiques, nous obtenons différentes courbes avec différentes puissances maximales au cours d'une même journée [6].



**Figure1-10 :** Influence de rayonnement sur la caractéristique I-V

Même chose remarquée sur les différentes courbes avec différentes puissances maximales.

En fixe la température à 25 c°



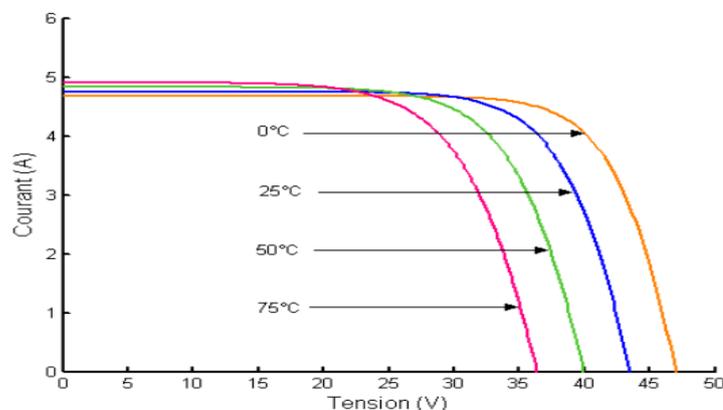
**Figure 1-11 :** Influence de la puissance sur la caractéristique P-V

### 1.2.9 - Influence de la température sur le rendement des cellules :

Comme nous l'avons expliqué précédemment, la base des cellules photovoltaïques est une jonction PN. Ceci nous laisse envisager que son rendement variera selon la température de la jonction. [5]

La figure 1-12 ci-dessous montre que la tension à vide d'une cellule solaire diminue avec l'augmentation de la température de la cellule. Le courant de court-circuit, par contre, augmente légèrement avec la température de la cellule.

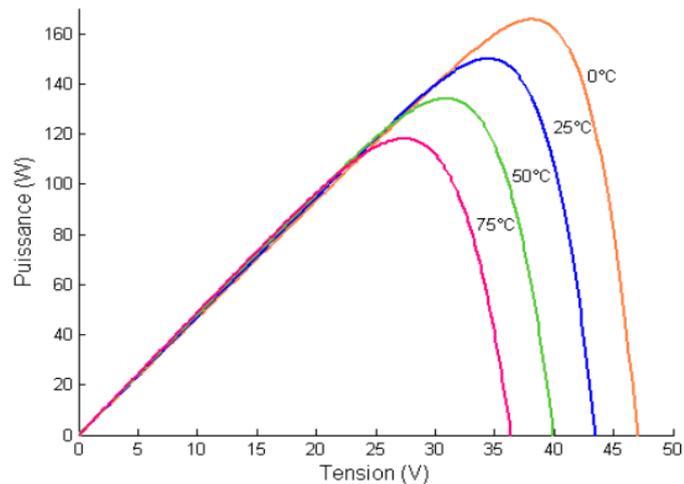
En fixe l'éclairement à 1000 W / m<sup>2</sup>



**Figure 1-12 :** Influence de la température sur la caractéristique I-V

Même chose remarquée sur la courbe de puissance. En effet, l'augmentation de la température se traduit par une diminution de la puissance maximale disponible [8].

En fixe l'éclairement à  $1000 \text{ W / m}^2$



**Figure 1-13 :** Influence de la température sur la caractéristique P-V.

### 1.3 - Le champ photovoltaïque : [6]

#### 1.3.1 – Le module photovoltaïque : [9]

L'association mixte de plusieurs cellules photovoltaïques forme un module (appelé aussi panneau solaire).



**Figure 1-14 :** Module photovoltaïque.

#### 1.3.2 – Le générateur photovoltaïque :

L'interconnexion de plusieurs modules, en série ou en parallèle, permet d'obtenir une puissance plus grande, formant ainsi un générateur photovoltaïque (appelé aussi champ photovoltaïque).

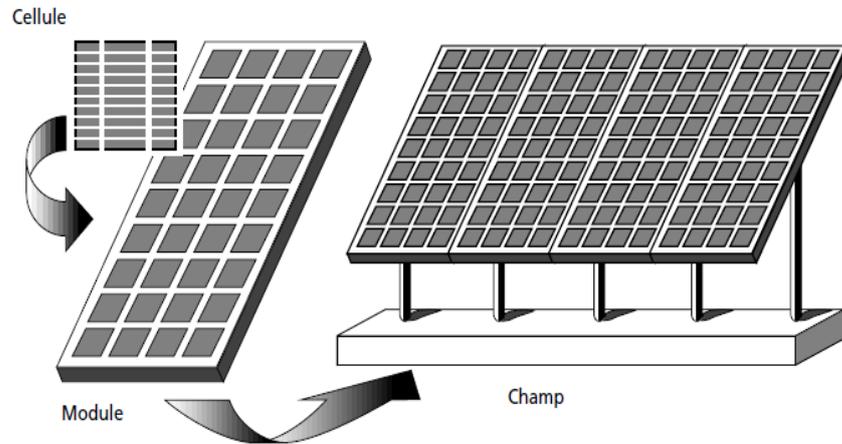


Figure 1-15 : Champ photovoltaïque.

## 1.4 - Systèmes à énergie photovoltaïque :

### 1.4.1 - Système photovoltaïque d'alimentation électrique :

Un système photovoltaïque peut fonctionner hors du réseau d'électricité conventionnelle (Offerte par SONELGAZ). C'est un système autonome qui exige l'utilisation de batteries pour le stockage d'énergie.

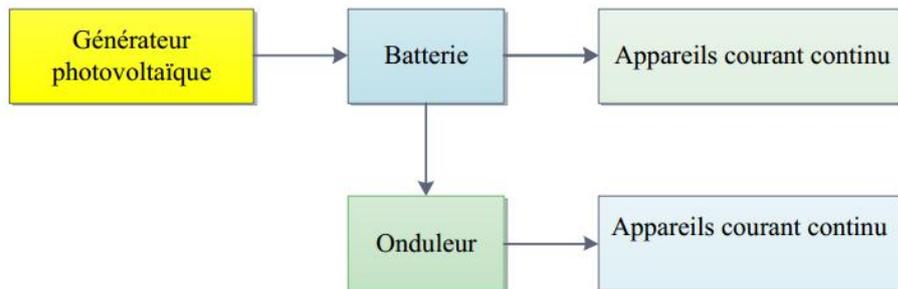


Figure 1-16 : Système photovoltaïque autonome.

Diverses sources peuvent être combinées et complémentaires dans un tel système (système autonome hybride).

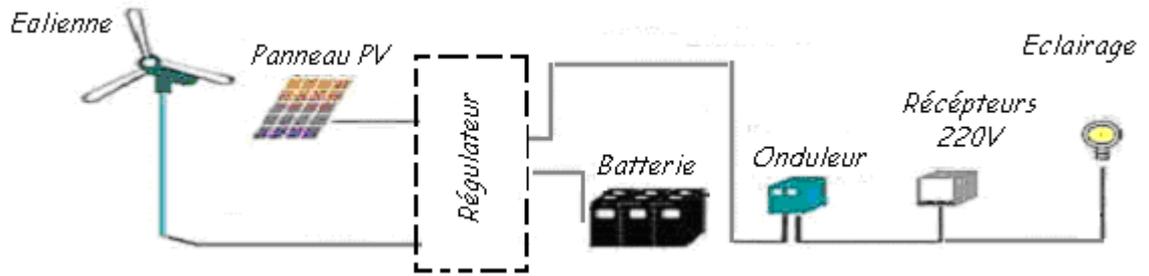


Figure 1.17- Système hybride solaire / éolien.

**1.4.2 - Système P.V raccordé au réseau :**

Le courant généré peut être utilisé localement et les surproductions sont injectées au réseau. La centrale de distribution électrique se charge également d'équilibrer l'offre et la demande.

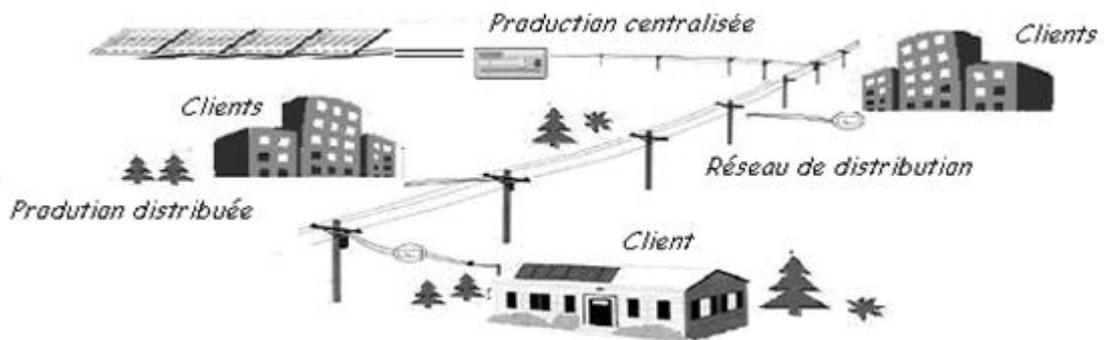
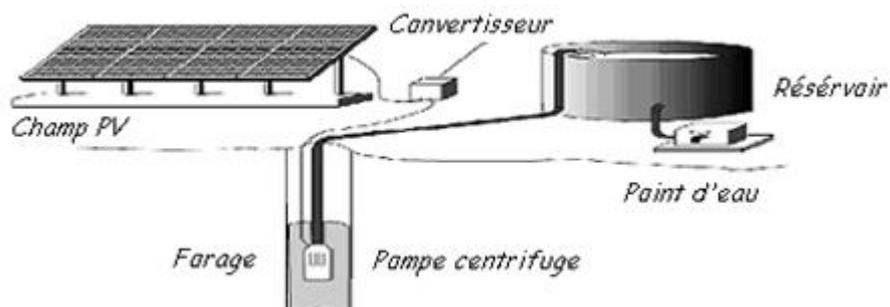


Figure 1.18 : Système photovoltaïque raccordé au réseau

**1.4.3 - Système photovoltaïque de pompage d'eau :**

Le pompage solaire représente la solution idéale pour l'approvisionnement en eau partout où le réseau électrique est absent (alimentation en eau pour un usage domestique, pour l'irrigation agricole, ...etc.). D'autre part, l'énergie photovoltaïque ne présente aucun risque de pollution de l'eau, contrairement aux générateurs diesel où des écoulements de combustible peuvent se produire.



**Figure 1.19** : Système de pompage solaire.**1.5 - Secteurs d'application**

- **Sites isolés** : parcs nationaux, service des eaux et forêts, régions isolées, désert, pompage et irrigation ...
- **Télécommunications** : Téléphonie rurale, radiotéléphonie, ...
- **Acquisition de données** : dans les stations isolées d'acquisition de données, stations météorologiques ...
- **Routes et transport** : lampadaires, panneaux à messages variables, éclairage de panneaux, signalisation lumineuse routière et ferroviaire ...
- **Domaine spatial** : utilisation des cellules solaires pour des engins spatiaux (satellites, navettes,).

**1.6 - Conclusion :**

Le caractère modulaire des panneaux solaire, la simplicité de l'installation, sa qualité de système écologique sont les points forts qui encouragent à utiliser les systèmes à énergie photovoltaïque, notamment dans les sites isolés, là où l'énergie conventionnelle (offerte par SONELGAZ) ne parvienne pas.

## 2.1 Introduction :

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

La réalisation d'un système de pompage photovoltaïque autonome, fiable et à bon rendement, constitue une solution pratique et économique au problème du manque d'eau, en particulier dans les régions désertiques. En effet, un système photovoltaïque devient intéressant lorsqu'il est facile à installer avec une autonomie acceptable et une excellente fiabilité de service.

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

## 2.2 Le pompage solaire

Pour pomper l'eau avec un système photovoltaïque, deux méthodes sont possibles.

### 2.2.1 Pompage « au fil du soleil » :[8]

Le pompage « au fil du soleil » permet d'avoir un système photovoltaïque simple, fiable et moins coûteux. Ici l'eau est pompée et stockée dans un réservoir, au fil de la journée. On parle alors d'un stockage hydraulique. L'eau stockée sera distribuée au besoin.

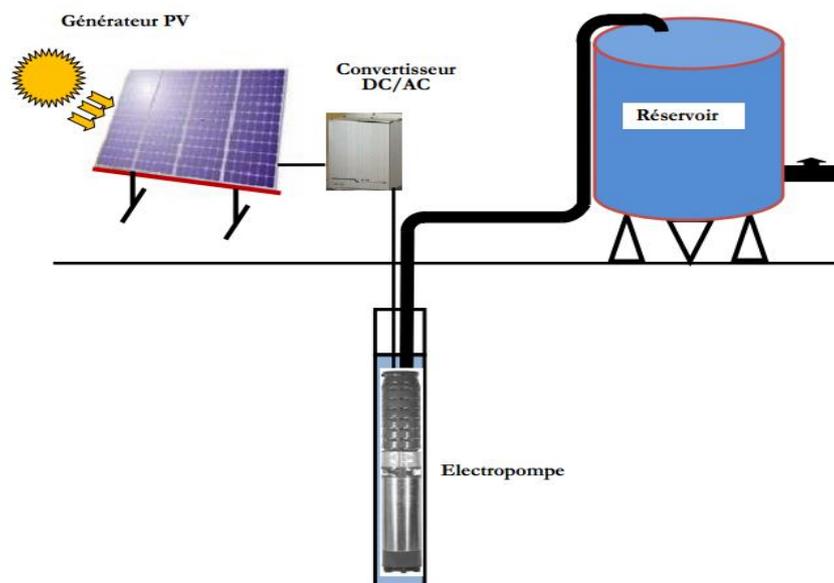


Figure2.1 : Pompage photovoltaïque au fil du soleil.

### 2.2.2-Pompage avec stockage d'énergie : [13]

Ici c'est l'énergie électrique qui sera stockée dans des batteries. Le pompage sera possible même en absence du soleil. Un tel système est plus coûteux que le précédent, vu la nécessité de changer les batteries, car elles ont une courte durée de vie.

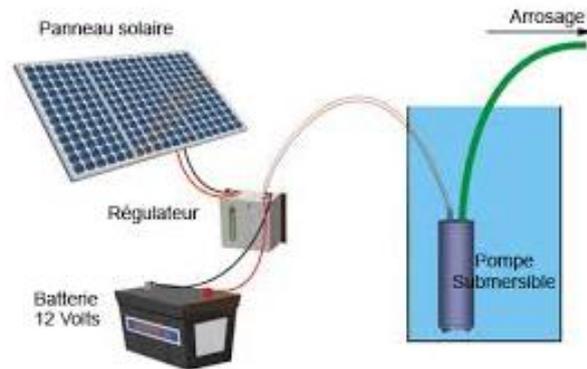


Figure2.2 : Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie.

## 2.3 - Composants d'un système de pompage PV

Un système de pompage solaire est généralement constitué de [13]

- Le générateur photovoltaïque.
- Le groupe de motopompe.
- L'électronique de commande.
- Les éléments du stockage.

### 2.3.1- Le générateur photovoltaïque : [10]

Modules photovoltaïques interconnectés en une seule unité de génération d'électricité, montés sur des structures diverses (support ou châssis, toits et autres).

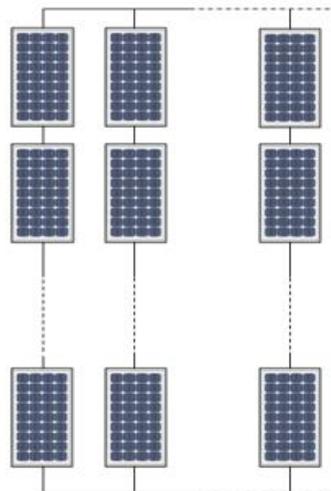


Figure2.3 : Champ photovoltaïque.

### 2.3.2- Le groupe de motopompe :

La classification des pompes peut se faire selon différents critères : conception de la pompe, sa position dans le système et le type du moteur utilisé. [15]

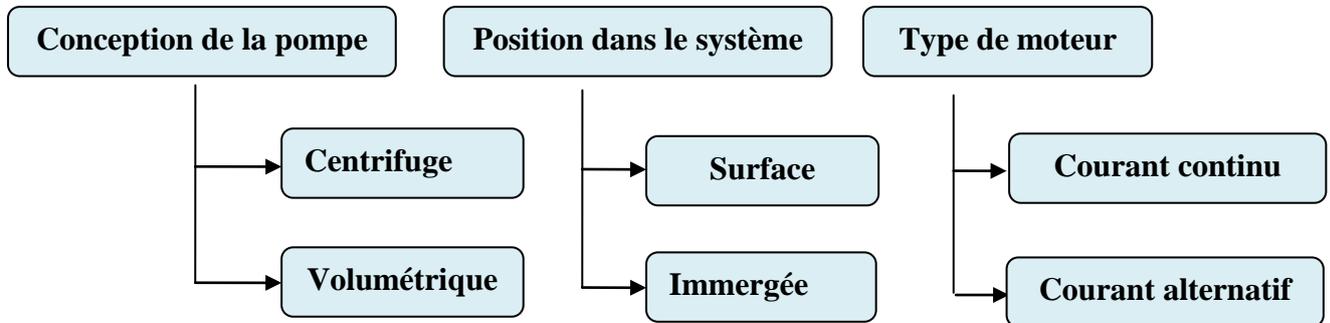


Figure2.4 : Classification des pompes

#### 2.3.2.1- Classification selon la conception de la pompe :

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide. Il existe deux types de pompes : les pompes centrifuges et les pompes volumétrique.

##### a) Pompe centrifuge :

La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou à ailettes. L'eau qui rente au centre de la pompe sera poussée vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages.

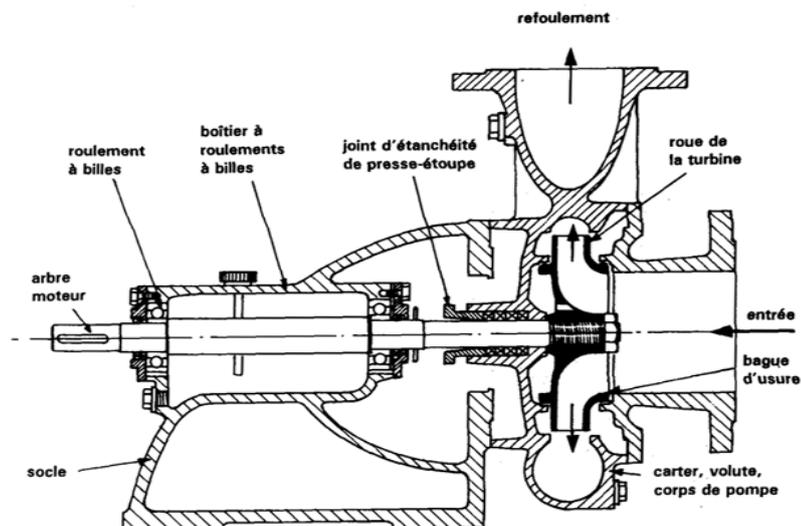


Figure2.5 : Schéma d'une pompe centrifuge

### b) Pompe volumétrique

La pompe volumétrique transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va et vient permettant au fluide de vaincre la gravité par variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement. Une pompe volumétrique comporte toujours une pièce mobile dans une pièce creuse qui déplace le liquide en variant le volume contenu dans la pièce creuse.

Le principal intérêt des pompes volumétriques est de pouvoir véhiculer un fluide sous de très fortes pressions.

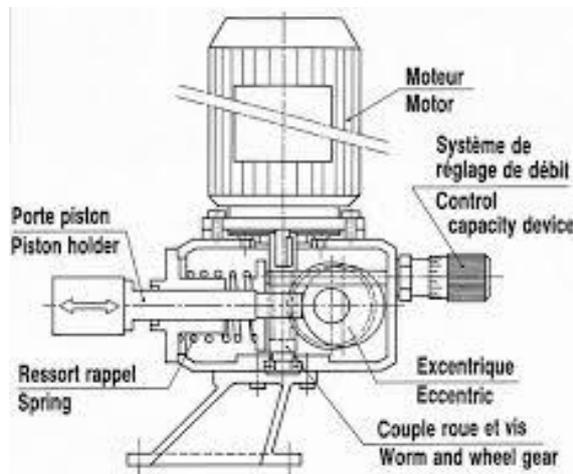


Figure2.6 : Schéma d'une pompe volumétrique.

#### 2.3.2.2- Classification selon la position de pompe :

En fonction de l'emplacement physique de la pompe, nous distinguons : Les pompes de surface, et les pompes immergées. [16]

##### a) Pompes de surface :

Le terme surface définit la position d'une pompe par rapport au liquide à pomper. Elle est dite pompe de surface, car prévue pour être posée en dehors du liquide à aspirer.

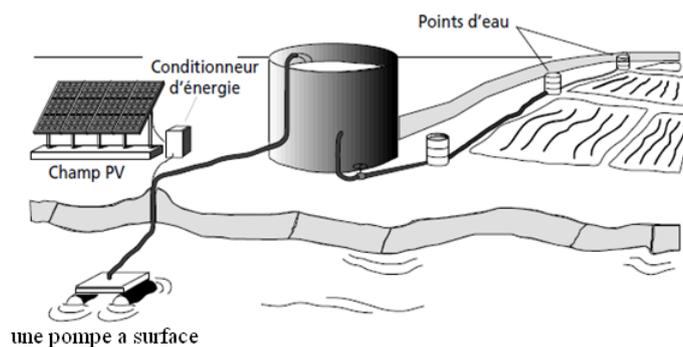
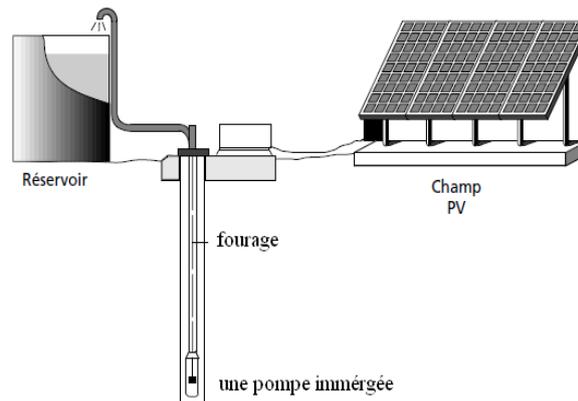


Figure2.7: Pompes de surface.

### b) 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.



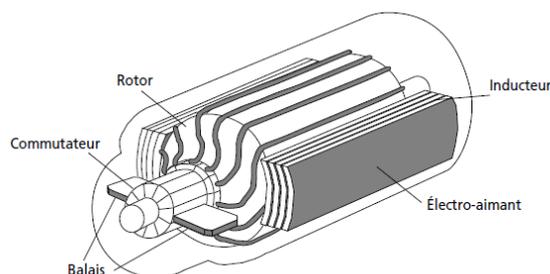
**Figure2.8:** Pompe immergée.

### 2.3.2.3 Classification selon le moteur utilisé : [20]

Un moteur électrique est un dispositif électromécanique permettant la conversion l'énergie électrique en énergie mécanique. Il existe deux types de moteurs : à courant continu et alternatif [15].

#### a) Moteur à courant continu

L'énergie électrique appliquée à un moteur est transformée en énergie mécanique en variant le sens du courant circulant dans un induit (habituellement le rotor) soumis à un champ magnétique produit par un inducteur (habituellement le stator). La commutation du courant dans le rotor d'un moteur à courant continu est effectuée à l'aide de balais composés de charbon et de graphite ou par commutation électronique.



**Figure2.9 :** Moteur à courant continu avec balais.

Le couplage est direct ou avec adaptation du générateur par un hacheur adaptateur de puissance.

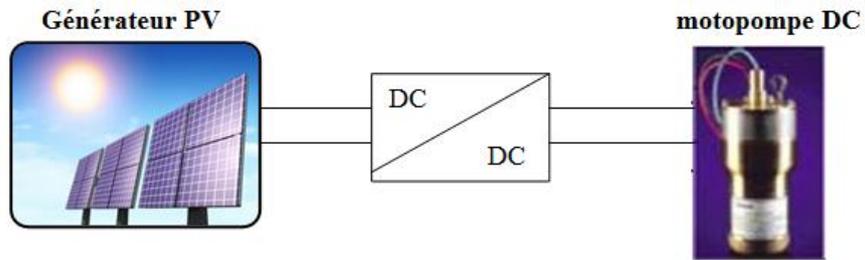


Figure2.10 : Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe DC.

**b) Moteur à courant alternatif**

Les moteurs alternatifs asynchrones (rotor à cage) sont les plus couramment employés pour une gamme variée d'applications industrielles. Il est utilisé particulièrement pour le pompage immergé dans les forages et les puits ouverts. L'arrivée d'onduleurs efficaces a permis l'utilisation de ce type de moteurs dans les applications de pompage solaire.

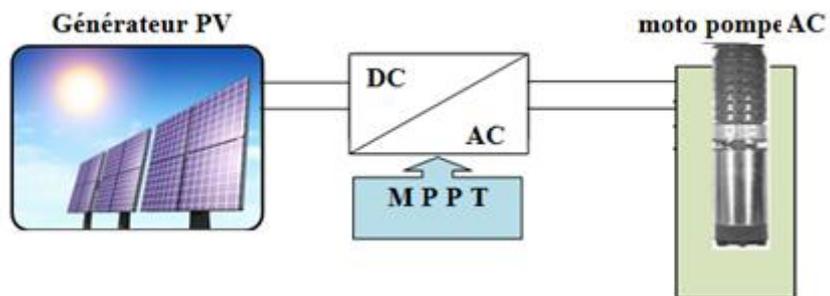


Figure 2.11 : Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe à AC.

**2.3.3- Electronique de commande : [11]**

**a) Le convertisseur DC/DC (hacheur) :**

Utilisé dans le cas d'une pompe montée à un moteur à courant continu.

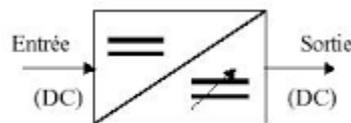


Figure 2.12 : Conversion DC / DC.

**b) Le convertisseur DC/AC (onduleur) :**

La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant continu, produit par les panneaux solaires en un courant alternatif

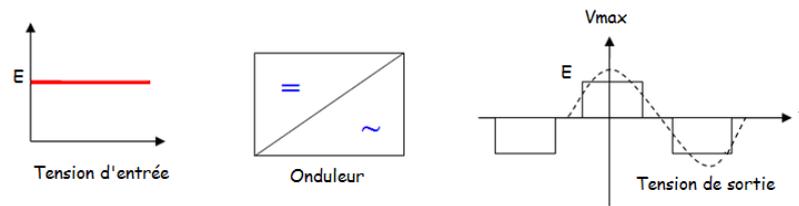


Figure 2.13 : Conversion DC / AC.

#### 2.3.4- Le stockage :

Le stockage d'énergie peut se faire de deux façons : stockage d'énergie électrique ou stockage d'eau. Il est plus pratique de stocker l'eau dans des réservoirs que l'énergie électrique dans des accumulateurs coûteux et fragiles.



Figure 2.14 : Différents types de batteries.

#### 2.4- Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les composants essentiels d'un système de pompage photovoltaïque. On verra dans ce qui suit, l'algorithme de dimensionnement à utiliser et on montrera l'intérêt d'un tel système et sa valeur à long terme. Les calculs se feront sur Matlab.

### 3.1- Introduction

Nous allons dans ce chapitre, appliquer l'algorithme de dimensionnement sur des exemples d'applications réels, répondant à des besoins locaux dans la région de Ouargla. Nous faisons remarquer que souvent, le souci d'investissement est prioritaire à l'efficacité du système. Pour cela nous allons étudier aussi la rentabilité de l'installation.

### 3.2- Les méthodes de dimensionnement

#### 3.2.1- La méthode du mois le plus défavorable : [17]

Dans cette méthode, on estime l'énergie récupérable pour une période critique d'un mois, appelé le mois le plus défavorable. Ce mois correspond au mois ayant une irradiation mensuelle la plus faible de l'année (Décembre pour Ouargla, l'irradiation égale à 3,25 kwh /m<sup>2</sup>/jour).[18]

Site	Irradiation (Kwh/M <sup>2</sup> /jour)												Irradiation annuelle
	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
Ouargla	3,72	4,65	5,81	6,74	7,21	7,21	7,9	7,21	6,06	4,88	3,84	3,25	5,71

**Tableau 3-1 :** Irradiations mensuelles de la wilaya de ouargla.

#### 3.2.2-La méthode de la moyenne annuelle :

Cette méthode consiste à considérer l'irradiation moyenne de l'année entière (Pour Ouargla, l'irradiation moyenne annuelle est égale à 5,71 kwh /m<sup>2</sup>/jour).

### 3.3- Technique de dimensionnement : [19]

Les étapes de dimensionnement sont organisées comme suit :

- Détermination du profil de charge.
- Dimensionnement du champ photovoltaïque.
- Calcul de la capacité de la batterie (au besoin).
- Choix du régulateur et de l'onduleur (au besoin).

Un bilan économique du système (coût / amortissement) est calculé à la fin.

#### 3.3.1- Détermination de la charge (calcul de l'énergie quotidienne requise) :

L'énergie nécessaire pour soulever une quantité d'eau, sur une certaine hauteur pendant une journée, est calculée à partir des données de débit et de HMT requises. Elle est

exprimée en watt heure. Ce calcul est fonction d'une constante hydraulique (**CH**) et est inversement proportionnel au rendement du groupe motopompe utilisé.

### 3.3.2- Énergie requise pour la pompe : [2][16]

Elle est donnée par :

$$E_c = C_H \cdot Q \cdot HMT / \rho_p \quad (3.1)$$

Où  $E_c$  est habituellement exprimé en kWh.

$Q$ : Débit [ $m^3$ /jour].

HMT est la hauteur manométrique totale.

$C_H$  est la constante hydraulique dépendant de la gravité terrestre et de la densité d'eau :

$$C_H = g \cdot \delta = 9.81 \cdot 10^3 / 3600 = 2,725 \text{ (Kg.s.h/m}^2\text{)}$$

et  $\rho_p$  le rendement du groupe motopompe (en général de 30% à 45%).

#### Le volume d'eau (Q) :

Les besoins en eau peuvent être définis, selon le cahier de charge, en utilisant les valeurs du tableau suivant [12] :

<b>Besoins en eau</b>	
<b>Humains</b>	
5 l/jour	Survie
10 l/jour	Minimum admissible
30 l/jour	Conditions de vie normales en Afrique
<b>Animaux</b>	
Bœuf	40 l/jour
Mouton, chèvre	5 l/jour
Cheval	40 l/jour
Âne	20 l/jour
Chameau	20 l/jour (réserve de 8 jours)
<b>Irrigation</b>	
Cultures à l'échelle du village	60 m <sup>3</sup> /jour/ha
Riz	100 m <sup>3</sup> /jour/ha
Graines	45 m <sup>3</sup> /jour/ha
Canne à sucre	65 m <sup>3</sup> /jour/ha
Coton	55 m <sup>3</sup> /jour/ha

**Tableau 3.2:** Tableau d'estimation des besoins en eau.

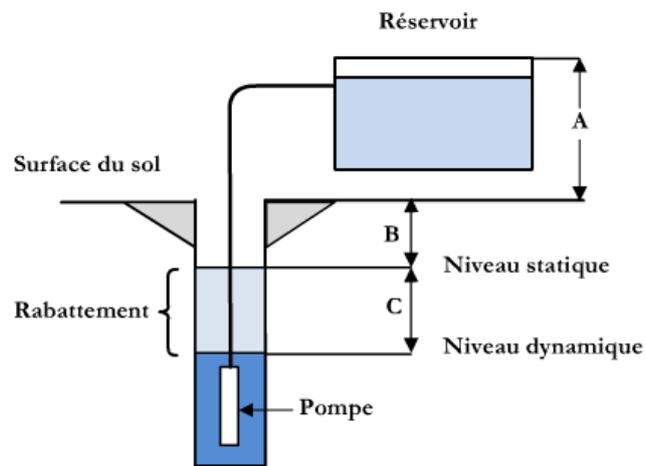
**La hauteur manométrique HMT :**

La hauteur manométrique totale (**HMT**) d'une pompe est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Elle est donnée par :

$$H_{MT} = H_g + P_c \quad (3.2)$$

**H<sub>g</sub>** : hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation (voir figure 3.1). Elle est calculée par la formule suivante :

$$H_g = A + B + C \quad (3.3)$$



**Figure 3.1:** Hauteur manométrique total

**P<sub>c</sub>**= pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites. Ces pertes sont fonction de la distance des conduites, de leur diamètre et du débit de la pompe. Elle s'exprime en mètres d'eau.

**3.3.3- Calcul du champ photovoltaïque : [2]**

L'énergie produite par un champ photovoltaïque est égale à :

$$E_P = E_C / K \quad (3.4)$$

Où :

$E_C$  est l'énergie consommée (Wh/jour).

$K$  un coefficient correcteur dépendant de l'incertitude météorologique, de l'inclinaison des modules solaires et du rendement global du système photovoltaïque. Sa valeur théorique est comprise entre 0.55 et 0.75 mais en pratique la valeur moyenne utilisée est de **0.65**.

**La puissance crête du générateur photovoltaïque :**

La puissance crête du générateur photovoltaïque dépend de l'irradiation quotidienne du lieu d'utilisation :

$$P_{PV} = E_p / I_R \quad (3.5)$$

Où  $I_R$  est l'irradiation moyenne journalière, estimée dans notre région à 5.71 kWh/m<sup>2</sup>/j.

**Le nombre de modules photovoltaïques : [12]**

Le nombre total de modules photovoltaïques est calculé en rapportant la puissance globale du champ à celle ( $P_M$ ) d'un seul module :

$$N = P_{PV} / P_M \quad (3.6)$$

Le nombre de modules connectés en série sera :

$$N_s = V / V_M \quad (3.7)$$

Le nombre de branches (modules en parallèle) :

$$N_p = N / N_s \quad (3.8)$$

Où  $V$  et  $V_M$  sont respectivement les tensions du système et du module.

**3.3.4- Calcul de la capacité de batterie (au besoin) :**

La batterie la plus utilisée est l'accumulateur au Plomb-acide de durée de vie limitée. Il constitue l'élément le plus sensible du système photovoltaïque. Et exige une bonne maintenance.

Son dimensionnement se fait différemment d'une région ensoleillée à une région tempérée.

Une période d'autonomie (période continue d'absence de rayonnement) est prise en compte.

L'énergie stockée dans la batterie vaut :

$$E_{BAT} = \rho_{BAT} * E_{PV} \quad (3.9)$$

Où :

$\rho_{bat}$  est son rendement (estimé à 80 %.)

$E_{PV}$  étant l'énergie photovoltaïque fournie.

La capacité de la batterie est calculée en plusieurs étapes :

- On calcule l'énergie totale consommée ( $E_C$ ).
- On détermine le nombre de jours ( $N_A$ ) d'autonomie de la batterie, définie comme étant le temps minimum de disponibilité continue d'énergie dans les conditions météorologiques les plus défavorables. Chez nous, il est estimé à trois (03) jours.
- On détermine la profondeur de décharge maximale admise ( $D$ ) estimée à 80 % pour une batterie stationnaire au plomb acide.
- Et enfin, on détermine la capacité :

$$C = (E_C * N_A) / (D * V * \rho_{BAT}) \quad (3.10)$$

Où V est la tension d'utilisation du système.

### 3.3.5- Choix du régulateur (au besoin) : [20]

Le régulateur sert à protéger la batterie contre toute surcharge importante et contre toute décharge profonde.

Dans le cas d'un auto-régulateur, les principales caractéristiques sont calculées comme suit :

Paramètres	Caractéristiques de fonctionnement
Plage de tension	$80\% V_{nom} < V_e < 160\% V_{nom}$
Seuil de déclenchement contre surcharge	$120\% V_{nom}$
Seuil de déclenchement contre décharge	$90\% V_{nom}$
Seuil de ré-enclenchement	$105\% V_{nom}$
Courant de court-circuit	$120\% I_{nom}$

**Tableau 3.3 :** Caractéristiques du régulateur.

La tension d'entrée du régulateur est imposée par celle des modules (A prendre en compte s'ils sont en série ou en parallèles). La tension de sortie est celle du système (12 , 24 et 48 V).

### 3.3.6- Choix de l'onduleur : [20]

Les principales caractéristiques de l'onduleur sont estimées comme suit :

Paramètres	Caractéristiques de fonctionnement
Plage de fonctionnement	$80\% V_{nom} < V_e < 160\% V_{nom}$
Tension de sortie nominale	220V
Courant d'entrée nominal	$I_{e\ nom} = I_{PV\ nom} = P_{PV} / V_{nom}$
Courant de sortie nominal	$I_{s\ nom} = I_{CH\ nom} = P_C / 220$
Rendement en puissance	$\rho \geq 95\%$ à charge nominale $P_{nom}$ $\rho \geq 80\%$ à partir de $75\% P_{nom}$
Surcharge admissible	$115\% P_C$
Courant de court-circuit	$120\% I_{nom}$

**Tableau 3.4 :** Caractéristiques de l'onduleur.

### 3.4- Bilan économique : [21][23]

Il est intéressant d'évaluer de tels systèmes, afin de voir leur rentabilité à long terme. Ce qui reflète concrètement leur importance. Pour ce faire, on calcule le cout du KWh et on compare à celui de l'électricité conventionnelle.

$$\text{Le coût du KWh} = \text{Coût annuel de l'investissement} / \text{Energie annuelle produite} \quad (3.11)$$

Ou :

Le coût annuel de l'investissement est le coût du système en tenant compte de la durée de vie de ses composants. Il est donné par :

$$\text{Coût annuel de l'investissement} = \sum_i \text{coût du composant (i)} / \text{durée de vie (i)} \quad (3.12)$$

Et :

L'énergie annuelle produite est l'énergie produite par jour multipliée par 365.

Il est intéressant aussi de calculer l'amortissement du système, qui exprime la rentabilité sur 30 ans. En effet, pour chaque année, on retranche du cout total de l'investissement (cout total des composants + coût de l'installation + coût de maintenance) la valeur C suivante :

$$C = Ca \times (k + (k - 1) \times \beta) \quad (3.13)$$

Avec :

K : est l'année considérée.

$\beta$  : T est un coefficient qui caractérise la vétuste du système (estimé à 3%).

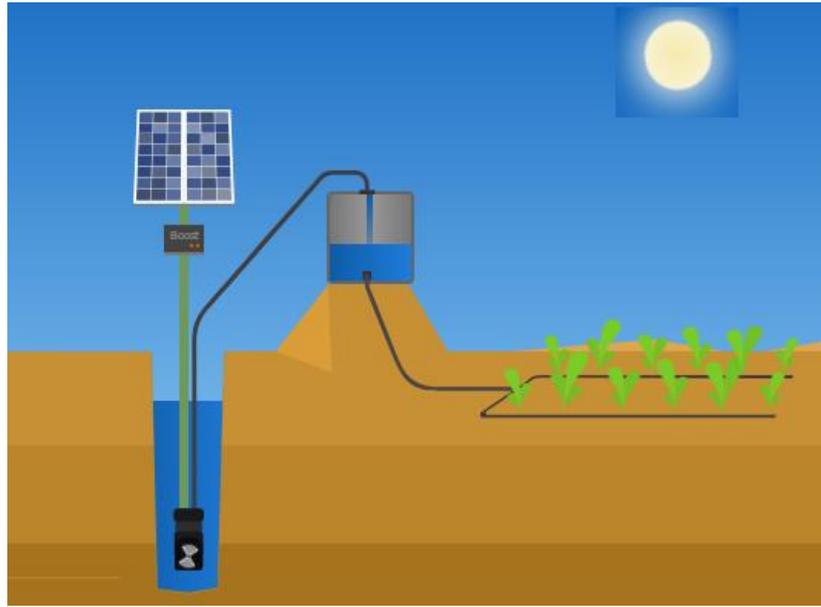
Ca : Coût annuel de l'investissement.

### 3.5- Application et résultats

#### a) Profil de charge :

Touggourt est une ville du sud-est de l'Algérie, située dans la région de l'oued Righ (composée de Touggourt, Djamaa, El Meghaier et Ouargla). Touggourt est essentiellement connue pour ses oasis est ses palmiers.

L'approvisionnement en eau est un grand souci, en particulier, pour les agriculteurs d la région.



**Figure 3.2:** Pompage d'eau pour irrigation.

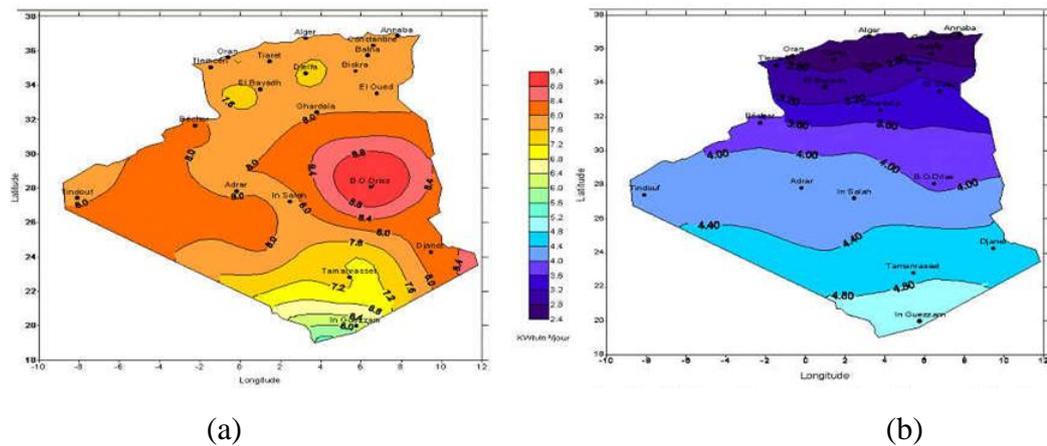
Le besoin d'eau en irrigation dépend du type de la culture, de la méthode d'irrigation et des facteurs météorologiques (température, humidité, vitesse du vent, saison de l'année). Les besoins d'eau des palmiers pour la région de Touggourt sont donnés dans le tableau suivant [19] :

période	L'hiver			Le printemps			L'été			L'automne		
	Déc	Jan	fév	Mar	Avril	Mai	jun	juil	Aout	Sep	Oct	Nov
Volume d'eau (m3/palmier/an)	13	10	22	36	49	62	67	66	64	50	35	18

**Tableau 3.5 :** Besoins annuels moyens en eau d'un palmier.

### b) Données météorologiques :

L'Algérie dispose d'un des gisements solaire les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). [24]



**Figure 3.3 :** Irradiation journalière reçue sur plan horizontal : (a) Juillet (b) Décembre

Notons que les irradiations mensuelles sur le site de Touggourt sont données par le tableau 3-1.

### c) Hypothèses :

Nous dimensionnons un système de pompage photovoltaïque, d'approvisionnement en eau pour l'irrigation d'un oasis de 365 de palmiers.

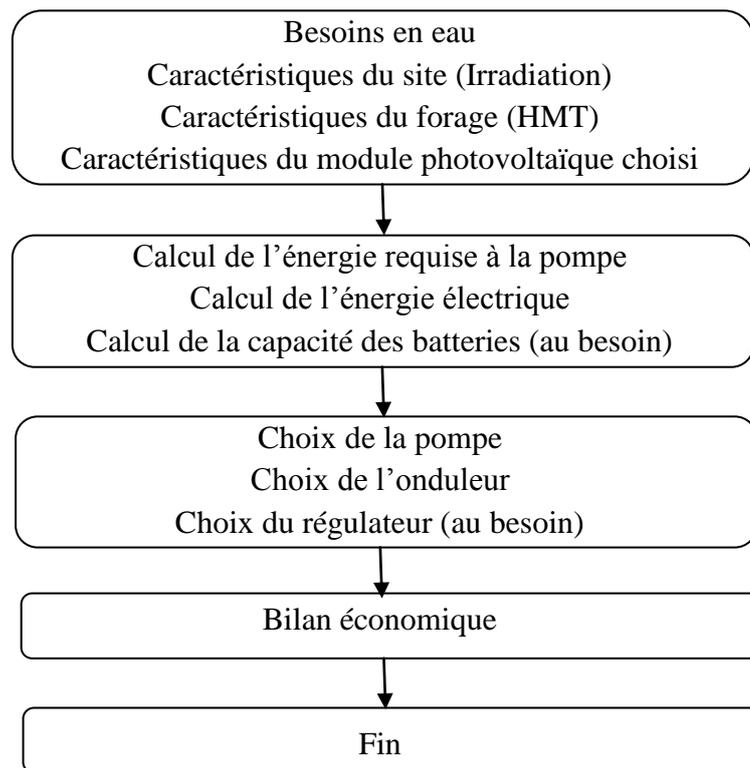
Les données suivantes caractérisent le système :

- **Projet :** Irrigation d'un oasis de 365 de palmiers.
- **Site :** Touggourt
- **Irradiation quotidienne :** 5.71 kWh/m<sup>2</sup>/jour.
- **Débit maximum :** 67 m<sup>3</sup>/palmier/an. (pour 365 palmiers : 67 m<sup>3</sup>/jour)
- **Forage :** HMT = 45 m.
- **Module photovoltaïque choisi :** [25]

Poly-cristallin IBC Solo Sol

Puissance nominale : 150 Watt.

Tension nominale : 12 Volt.

**d) Algorithme de dimensionnement :****Figure 3.4 :** Algorithme de dimensionnement.**e) Résultats du dimensionnement :**

L'algorithme est programmé sur Matlab, les résultats obtenus pour l'application sont comme suit :

- **Energie hydraulique :** 18257,5 Wh/j.
- **Energie électrique :** 28088,46 Wh/j.
- **Nombre total de modules :** 32.
- **Modules en série :** 16.
- **Modules en parallèle :** 2.

**f) Choix du matériel :**

- **Choix de la pompe**

On choisit la pompe en fonction du débit et de la hauteur manométrique totale [17], on calcule le débit horaire par la formule suivante :

$$Q_h = \frac{Q \left( \frac{m^3}{jour} \right)}{h} \quad (3.14)$$

Avec :

h : nombre d'heures d'ensoleillement maximal (Environ 7 heures).

Q : débit voulu ( $67 \text{ m}^3/\text{jour}$ ).

Ceci donne un débit horaire d'environ  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ . Sachant que la hauteur manométrique totale est de 45 m, alors on choisit la pompe immergée Lorentz PS2-600 [28]. Qui a les caractéristiques suivantes :

- **Type** : Lorentz PS2-600.
  - **Débit nominal** :  $12 \text{ m}^3/\text{h}$ .
  - **Tension d'entrée** : 150 v.
  - **immersion** : Jusqu'à 150 m
- **Choix de l'onduleur** :
- Le choix de l'onduleur dépend des caractéristiques électriques de la pompe alimenté (puissance, tension). Pour notre étude, l'onduleur choisi est [26]:
- **Type** : Victon phoenix 24 / 500 VA

### g) Bilan économique :

Afin de voir leur rentabilité à long terme. On calcule le coût du KWh. Les coûts des différents composants sont donnés dans le tableau suivant [26].

Composants	Prix (DA)	Quantité	Coût total (DA)
Module photovoltaïque	23 885,15	32	764 324,80
Fixation du module	24 000,00	32	768 000,00
Pompe	258 958,00	01	258 958,00
Onduleur	22 300,93	01	22 300,93
Génie civil, accessoires	20 000,00	01	20 000,00
		<b>Coût total</b>	<b>1 833 582,80</b>

**Tableau 3.6:** Coût total de l'investissement.

On remarque que le coût total du système est relativement cher, mais sa rentabilité à long terme nous donne une autre vision. N'oublions pas que l'état algérien fait de grands efforts afin de promouvoir l'agriculture, notamment dans le sud. Plusieurs aides (subventions) sont

données aux agriculteurs. Ces derniers demandent, fortement que le pompage photovoltaïque ait une subvention de 50%. Ceci reste en négociation, mais donne une bonne amélioration dans ce domaine. Pour montrer la rentabilité, on calcule le prix du Kwh du système photovoltaïque, et on le compare au prix à payer si le système fonctionnait avec l'électricité conventionnelle (Sonelgaz). On s'intéressera aussi à l'amortissement du système sans et avec aide de l'état.

Le tableau suivant présente la durée de vie des différents composants d'un système photovoltaïque de pompage : [2]

Composant	Durée de vie
Module photovoltaïque	25
Fixation du module	25
Pompe	15
Onduleur	25
Régulateur (Au besoin)	12
Batteries (Au besoin)	08

Tableau 3.8 : Durée de vie des composants d'un système de pompage photovoltaïque.

**Résultats :**

**Sans aide de l'état :**

Les calculs ont donné les résultats suivants :

- **Coût annuel** : 80 248,90 Da.
- **Prix du KWh** : 7,83 Da.
- **Prix du KWh de Sonelgaz** : 5 Da.
- **Amortissement du système** : illustré par l'histogramme suivant :

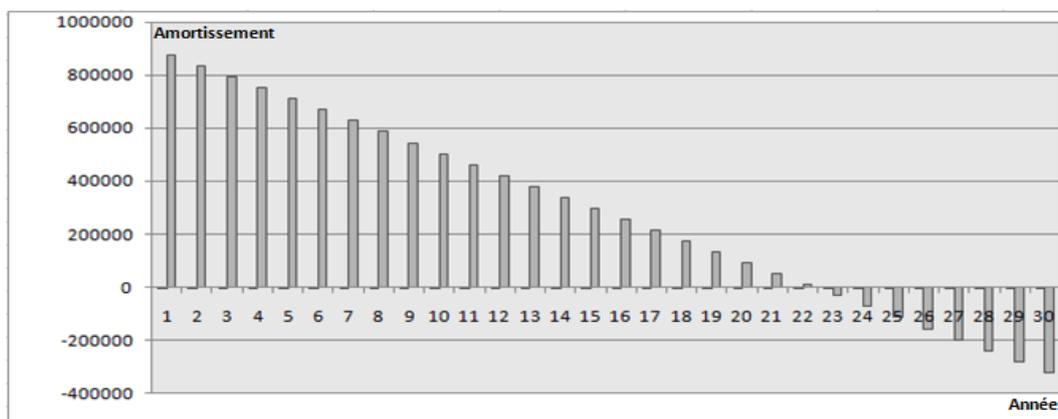


Figure 3.5: Histogramme d'amortissement du système de pompage (Sans aide de l'état).

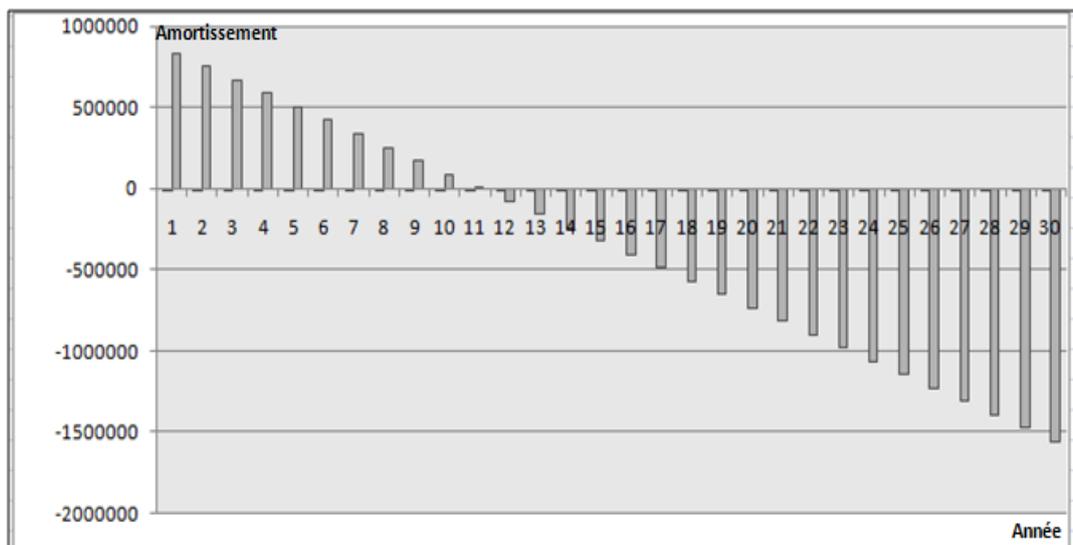
On remarque que l'amortissement du système est atteint au bout de 21 ans. C'est vrai que c'est un peu long, mais il ne faut pas oublier que pendant cette période, on ne paie aucune somme à SONELGAZ. Ainsi qu'au-delà de cette période l'énergie sera « gratuite ».

Et pour compléter la comparaison, les prix du KWh ne sont pas très loin. Signalons qu'ici, on a pas considéré une connexion payante au réseau d'électricité, sinon le prix du KWh offert par la SONELGAZ sera de même ordre.

#### Avec aide de l'état :

Ces résultats sont calculés pour une aide de l'état de 50 % :

Il est clair que l'aide de l'état apportera un plus au système. On remarque sur l'histogramme qu'au bout de 10 ans uniquement, le système est totalement amorti. Ce résultat est très prometteur, car la rentabilité commencera à partir de la 11ème année.



**Figure 3.6:** Histogramme d'amortissement du système de pompage (Avec aide de l'état).

On constate qu'il sera plus intéressant d'utiliser l'énergie photovoltaïque avec l'aide de l'état, que de raccorder les zones isolées et lointaines (avec une densité faible de population) au réseau d'électricité conventionnelle, qui se fait avec des coûts très élevés.

**3.6- Conclusion :**

Nous avons présenté dans ce chapitre l'algorithme de dimensionnement de système de pompage photovoltaïque, qu'on appliqué à un exemple d'irrigation de palmiers, qui touche particulièrement la région de Touggourt (Ouargla). Une étude économique est faite afin de montrer l'efficacité de l'utilisation de l'énergie photovoltaïque comparée à l'énergie conventionnelle.

# Conclusion générale

Dans ce travail, on a étudié le système de pompage solaire. On a traité un exemple réel situé à la région de Touggourt.

La problématique qui se pose est le cout de l'énergie exprimé par le cout du KWh, Ou par le cout de mètre cube d'eau pompé dans la littérature.

On a démontré au cours de notre étude, que le cout du KWh du système de pompage solaire est proche du cout de KWh offert par la Sonalgaz. Et l'espoir qu'il soit réduit est grand, vu que l'état Algérien propose des aides importants aux agriculteurs, au cours de ces dernières années.

On a constaté qu'on considérant une subvention de l'état de 50%, le cout du KWh est réduit considérablement.

Il est a signalé, qu'une bonne installation, une bonne orientation des modules solaires et un bon dimensionnement permet d'exploiter l'énergie de façon optimale. Ce qui augmente le rendement du système est réduit par conséquence, le cout du KWh.

Il est intéressant de voir les méthodes qui optimise la production d'énergie, par exemple introduire un système de poursuite du point de puissance maximal (MPPT), d'intégrer aussi l'irrigation par point ou pourquoi pas, le système traditionnel « El-foggara ». Afin d'avoir un système d'irrigation fiable et à moindre cout.

## **Bibliographie**

- [1] : A. Moumi, N. Hamani, N. Moumi et A. Z. Mokhtari, « Estimation du rayonnement solaire par deux approches semi empiriques dans le site de Biskra », Centre Universitaire de Béchar–Algérie, 11 et 12 Novembre 2006.
- [2]: F. Lasnier, T. G. Ang, « Photovoltaic Engineering Handbook », IOP Publishing Ltd. 1980.ISBN 0-85274-311-4.
- [3] : Djarallah, Mohamed, "Contribution a l'étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couples au réseau électrique," université de Batna, Thèse de Doctorat en Science, 2008.
- [4] : B. Mohammed, "Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque autonome," Centre Universitaire De Bechar Mémoire de Magister, 2007-2008.
- [5]: K. Benlarbi, L. Mokrani, M. S. Nait-Said, « A fuzzy global efficiency optimization of a photovoltaic water pumping system », a LSPIE Laboratory, Electrical Engineering Department, Engineering Science Faculty, Batna University, 2004
- [7] : Mohamed Lakhdar LOUAZENE, « Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla », Thèse de Magister de université El Hadj Lakhdar – Batna 2008
- [8]:A. Oi. « Design and simulation of photovoltaic water pumping system », These de Doctorate, California Polytechnic State University San Luis Obispo, 2005
- [9]: A. C. Pastor, "Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques," Institut National de Science Appliquée de Toulouse Thèse de doctorat.
- [10]: M. Angel, C. Pastor, « Conception et réalisation de modules Photovoltaïque électroniques », Thèse de Doctorat « Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.
- [11] : M. SLAMA Fateh, « Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique », Thèse de Magister de l'université Ferhat Abbas - Sétif-
- [12] : B. Molle, « Les stations de pompage individuelle pour l'irrigation », juin 1996.
- [13] : J. Royer, T. Djako, « Le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa, 2002.

- [14] : Y. Pankow, « Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse tension. Application au générateur photovoltaïque », Thèse de Doctorat de l'Ecole Doctorale de L'ENSAM ED432, 2004
- [15] : B. Multon, H. B. Ahmed, N. Bernard, « les moteurs électriques pour applications de grande série », Pierre-Emmanuel CAVAREC Antenne de Bretagne de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, Revue 3EI juin 2000.
- [16] : J. Royer, T. Djako, « Le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa.
- [17] : A. Hadj Arab, M. Benghanem et A. Gharbi, « Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque », Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 19 – 26.
- [18] : Atlas d'Algérie extrait d'internet par le site de Ministre des énergies et des mines (consulté le 00/00/2010) « irradiation global journalière reçus sur un plan horizontal au moins de juillet)
- [19] : A. DJAFOUR, « Etude d'une station de pompage photovoltaïque dans une région saharienne », Thèse de magistère, université de Ouargla, 2000.
- [20] : B. Azoui et M. Djarallah, « Dimensionnement et expérimentation d'un système photovoltaïque de pompage d'eau utilisant un moteur à aimants permanents sans balais collecteur », Journée d'Etude sur l'Energie Solaire, Mardi 01 mars 2005, Bejaia.
- [21] : B. Bouzidi et A. Malek, « Analyse économique des systèmes énergétiques-station de pompage », Rev.Energ. Ren : ICPWE (2003)53-60.
- [22]:B. Chabot from cost to prices: « Economic analysis of PV energy and services progress in photovoltaics research and applications », Vol 6. P55-68 (1998).
- [23]: La nouvelle technique comptable : L.GUIZARD et C.PEROCHON. Les éditions Foucher - Paris.
- [24] : Site de ministère de l'énergie <http://www.energy.gov.dz> (Consulté en Mai 2017)
- [25] : <https://www.solaris-store.com> (Consulté en Mai 2017)