



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de génie électrique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
ELECTROTECHNIQUE  
Réseau électrique

Réf. : .....

---

Présenté et soutenu par :  
**HAMDI Abderrazak**

Le : lundi 25 juin 2018

## Conception et dimensionnement d'un système Photovoltaïque pour habitation et pompage

---

### Jury :

Dr. BECHA Habiba	MCB	Université Mohamed Khider	Présidente
Dr. NAIMI Djemai	MCA	Université Mohamed Khider	Encadreur
Dr. SALHI Ahmed	MCB	Université Mohamed Khider	Examineur

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : ELECTROTECHNIQUE  
Option : Réseau électrique

Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme :

**MASTER**

*Thème*

Conception et dimensionnement d'un système Photovoltaïque  
pour habitation et pompage

Présenté par :

*HAMDI Abderrazak*

Avis favorable de l'encadreur :

*NAIMI Djemai*

*signature*

**Avis favorable du Présidente du Jury**

**BECHA Habiba**

*Signature*

**Cachet et signature**



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : Réseau électrique

## Thème :

Conception et dimensionnement d'un système Photovoltaïque pour habitation et pompage

Proposé et dirigé par : **NAIMI Djemai**

### RESUMES (Français, Arabe et Anglais)

L'application de l'énergie photovoltaïque (PV) est d'une première vision, une économie d'énergie, vue l'utilisation d'une source gratuite « le soleil » mais il reste à avoir une meilleure liaison entre la partie production et la partie consommation. Pour cette raison, l'objectif de notre travail est de calculer de dimensionnement des installations photovoltaïque. On prend en confédération dans un premier temps la variété des équipements solaires intervenant dans ces installations tels que les panneaux solaires, les régulateurs, les onduleurs, et les batteries pour ces zones. Ainsi que le différent type de charge de notre étude on se propose d'alimenter une habitation et une pompe immergé dans un site isolé.

**Mots clés :** L'énergie photovoltaïque, dimensionnement, installations photovoltaïque, les panneaux solaires, pompes immergés, les batteries solaires et les onduleurs.

### الملخص

إن تطبيق الطاقة الشمسية الكهروضوئية يعتبر من النظرة الأولى اقتصادا في الطاقة بحيث أننا نستغل مصدرا مجانيا للطاقة بديلا عن المصادر التقليدية ، لكن يبقى الربط بين مصدر الإنتاج وآلياته وكذلك آليات الاستعمال، وعليه فإن التغذية بالطاقة الكهربائية للتجمعات السكنية المعزولة ذات الكثافة البسيطة يعتبر من الناحية الاقتصادية غير مجدٍ، ولحل هذه المشكلة وبالنظر إلى موقع الجزائر الجغرافي، نجد في الطاقة الشمسية الحل الأمثل لهذه المشكلة وعليه فإن هدف العمل هو تقديم طريقة لحساب منشآت توليد الطاقة الشمسية آخذين بعين الاعتبار مختلف التجهيزات المستعملة من ألواح شمسية، معدلات، وموجات، وكذلك البطاريات من جهة ومن جهة أخرى مختلف أنواع الحمولات، ولقد اقترحنا في هذه الدراسة تزويد منزل ريفي كذلك مضخة غاطسة.

الكلمات المفتاحية : الطاقة الشمسية الكهروضوئية، طريقة التحجيم (الحساب)، الألواح الشمسية، منشأة توليد الطاقة الكهروضوئية، البطاريات، معدلات.

## **Abstract**

The application of photovoltaic solar energy is at first sight an economic energy so that we use a free source of energy instead of conventional sources, but the link between the source of production and its mechanisms and the mechanisms of use. Therefore, the electric power supply to isolated communities of simple density is economically In order to solve this problem and considering Algeria's geographic location, solar energy is the best solution to this problem. Therefore, the objective of the work is to provide a method for calculating solar power plants, solar panels, regulator, waves as well as the batteries , various types of loads, and we have proposed in this study provide a rural house as well as a submersible pump.

**Key words:** Solar PV, sizing, solar panels, photovoltaic generating plant, batteries, rates.

## *DÉDICACES*

*Je dédie ce modeste travail à*

✓ *Mes chers parents*

✓ *ma chère femme*

✓ *mes filles et sœur*

✓ *mes fils*

✓ *mes amis*

*Abderrazak HAMDI.*

## ***REMERCIEMENT***

*Je remercie Dieu le tout Puissant qui m'a donné la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.*

*Tous nos infinis remerciements à mon encadreur Mr NAIMI djemai pour son aide, ses conseils, et ses remarques qui nous ont permis de présenter notre travail dans sa meilleure forme.*

*Mes remerciements vont également aux membres de jury d'avoir accepté de juger mon travail. Mr SALHI Ahmed et M<sup>me</sup> Bacha habiba.*

*Abderrazak HAMDI.*

# Table des matières

---

Résumé	
Dédicaces	
Remerciement	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
List des abréviations	
Introduction générale	i-ii
Chapitre I Généralité sur le système photovoltaïque	1-24
Introduction	1
1.1 Energie solaire photovoltaïque	1
1.2- Irradiation solaire	1
1.3 Données météorologiques	2
1.4 Energie solaire (photovoltaïque)	2
1.5 Notions de bases sur les cellules, les panneaux et le champ photovoltaïque	3
1.6 Puissance lumineuse et éclairement	4
1.7 Différents types de générateurs photovoltaïques	5
1.8 Caractéristiques électriques d'une cellule	8
1.9 Définition de la puissance de crête	11
1.10 Groupements de cellules	11
1.11 Types des systèmes PV	12
1.12 Domaines d'application des systèmes PV	15
1.13 Panneaux solaires	16
1.14 Batteries solaires	18
1.15 L'onduleur	21
1-16 Régulateur de charge	23
Conclusion	24
Chapitre II Dimensionnement d'un système PV pour habitation	26-50
Introduction	26
2-1 Procédure de dimensionnement PV	26
2-2 Etude pratique Exemple d'un cas réel d'une habitation de fellah 2-2-1	
Cahier de charge	35

## Table des matières

---

2-3 Etude technico-économique entre le système hybride et le système purement solaire	49
Conclusion	50
<b>Chapitre III Dimensionnement d'un système PV de pompage</b>	<b>51-79</b>
Introduction	52
3.1 Pompage solaire	52
3.2 Composants d'un système de pompage PV	53
3.3 Dimensionnement d'un système de pompage PV autonome sans batterie	60
Conclusion	73
<b>Conclusion générale</b>	<b>80</b>
Bibliographies	91



## Liste des figures

Fig 1-1 Irradiation journalière reçue sur plan horizontal (a) Juillet (b) Décembre.	2
Fig 1-3 cellule PV.	3
Fig 1-4 panneau PV.	3
Fig 1-5 Champ PV.	4
Fig 1-6 Principe d'une cellule photovoltaïque.	5
Fig 1-7 Cellule Silicium monocristallin.	6
Fig 1-8 Cellule Silicium polycristallin.	7
Fig 1-9 Cellule Silicium amorph.	8
Fig 1-10 Caractéristique courant - tension d'une cellule PV.	8
Fig 1-11 Caractéristique puissance - tension d'une cellule PV.	9
Fig 1-12 Influence de l'éclairement sur le courant.	9
Fig 1-13 Influence de l'éclairement sur la puissance.	10
Fig 1-14 courbe d'influence de température sur le courant et la puissance.	10
Fig 1-15 raccordement des cellules en série.	11
Fig 1-16 raccordement des cellules en série.	12
Fig 1-17 Système PV autonome sans batteries.	13
Fig 1-18 Système PV autonome avec batteries.	13
Fig 1-19 composants générales d'un système PV connecté au réseau.	14
Fig 1-20 système PV Hybride.	14
Fig 1-21 structure générale d'un système PV autonome avec batterie.	16
Fig 1-22 panneaux en parallèle	17
Fig 1-23panneaux en série	17
Fig 1-24 panneaux en mixte	17
Fig 1-25 plaque signalétique d'un panneau solaire de 250 W .	17
Fig 1- 26 Type de batteries solaires.[1]	19
Fig 1- 27 Raccordement des batteries solaires (série, parallèle ou mixte)	20
Fig 1-28 Type d'onduleur.	21
Fig 1-29 types des régulateurs	23
Fig 2.1 Détermination de section du câble pour la sortie d'onduleur 220V 16 A 15m de longueur	32
23Fig 2.2 Organes de protections photovoltaïques.	33
Fig 2.3 Coffret de protection photovoltaïque DC et AC.	33
Fig 2.4 Procédure de dimensionnement photovoltaïque	34

## Liste des figures

Fig 2.5 câblage ou raccordement des panneaux solaire après le dimensionnement.	37
Fig 2.6 câblage ou raccordement des Batteries solaire après le dimensionnement	38
Fig 2.7 Les éléments dimensionnés de système PV	40
Fig 2.8 câblage de système PV après la détermination des éléments de protection (Disjoncteurs DC et AC)43	43
Fig 2.9 Détermination de section du câble pour la sortie d'onduleur 220V 16 A 15m de longueur44	44
Fig 2.10 : système PV après la dimensionnement des éléments de protection et section du câble 48	48
Fig 3.1 : Pompage photovoltaïque au fil du soleil.	53
Fig 3.2 : Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie.	53
Fig 3.3 : Champ photovoltaïque.	54
Fig 3.4 : Classification des pompes	54
Fig 3.5 : Schéma d'une pompe centrifuge	55
Figure3.6 : Schéma d'une pompe volumétrique.	56
Figure3.7: Pompes de surface.	56
Fig 3.8: Pompe immergée.	57
Figure3.9 : Moteur à courant continu avec balais.	57
Fig 3.10 : Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe DC.	58
Fig 3.11 : Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe à AC.	58
Figure 3.12 : Conversion DC / DC.	59
Figure 3.13 : Conversion DC / AC.	59
Figure 3.14 : Différents types de batteries.	60
Fig 3.15 : réservoir de stockage d'eau	60
Fig 3.16 : la hauteur manométrique totale	61
fig 3.17 : critère de choix de pompe selon besoin journalier et Hmt	64
Fig 3. 18 : Pompe immergée Belardi 6Z110T 5.5Kw	66
fig 3-19: panneaux PV poly-cristallin Suntech STP315-24/ Vem 315Wc Voir l'annexe B	68
fig 3.20: Onduleur SMA 7kW Triphasé Sunny Tripower 7000TL Voir l'annexe C	69
fig 3.21 : éléments de Système de pompage PV après dimensionnement cas réel	69

## Liste des tableaux

---

Tab 2-1 tension de système photovoltaïque selon la puissance crête.	27
Tab 2-2 exemple de calcul de la section du câble en DC.	31
Tab 2.3 Les charges électriques disponibles	35
Tab 2.4 caractéristiques d'onduleur dimensionné	39
Tab 2.5 caractéristiques de régulateur de charge dimensionné	40
Tab 2.6 fichier Excel feuille de donnée cahier de charge	41
Tab 2.7 fichier Excel feuille de calculs des éléments PV dimensionnés	42
Tab 2-8 Cas du système totalement solaire	49
Tab 2-9 Cas du système Hybride	49
Tab 3.1 : tension de système photovoltaïque selon la puissance crête	63
Tab 3.2 Abaque des pompes immergées marque Belardi	66
Tab 3.3 : devis estimatif d'un système de pompage PV	70
Tab 3.4 Devis estimatif quantitatif d'un kilomètre de moyenne tension	71

## Liste des abréviations

---

AC : courant alternative

DC : courant continue

Etj: L'énergie totale journalière calculée.

Ens: L'ensoleillement moyenne qu'on a déterminé dès le début.

Fc: facteur de correction de système.

NBPs : Nombre de panneaux en série.

Vsys : la tension de système.

NBPp : Nombre de panneaux en parallèle.

NBP : Nombre de panneaux totaux.

Ct: la capacité totale de système en (Ah

Auto : nombre de jour d'autonomie de la région.

Vsys : Tension de fonctionnement du système. En (V)

Cb : La capacité de la batterie en (Ah).

Vbat : La tension de la batterie en (v).

P<sub>ond</sub> : Puissance totale.

P<sub>pick ond</sub> : Puissance de pic.

U<sub>e ond</sub> : La tension d'entrée en DC = tension de système.

U<sub>s ond</sub>: La tension de sortie en AC = puissance /U<sub>e</sub>.

I<sub>e ond</sub>: Le courant d'entrée.

I<sub>s ond</sub> : Le courant de sortie.

R<sub>o</sub> : est la résistivité de conducteur.

L : la longueur entre la source et la charge.

I : le courant

V : la tension

E : la chute de tension en % (3 % ou 5 %).

S : la section en mm<sup>2</sup>

## Introduction générale

---

### Introduction générale

L'épuisement des ressources fossiles, à plus ou moins long terme, la flambée du cours du pétrole, la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre rendent urgentes la maîtrise des consommations et la diversification des sources d'énergie ainsi que l'utilisation et le développement des énergies renouvelables.

On considère qu'une énergie est renouvelable, lorsque cette source d'énergie se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable (d'où son nom) à l'échelle de l'homme mais aussi dans certains cas de l'humanité (solaire par exemple). [5]

Le rayonnement solaire constitue la ressource énergétique la mieux partagée sur la terre et la plus abondante, une partie de ce rayonnement peut être exploitée pour produire directement de la chaleur (solaire thermique) ou de l'électricité (solaire photovoltaïque). La quantité d'énergie libérée par le soleil (captée par la planète terre) pendant une heure pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant un an.

L'augmentation du Coût des énergies classiques d'une part, et la limitation de leurs ressources d'autre part, font que l'énergie renouvelable devient de plus en plus une solution parmi les options énergétiques prometteuses avec des avantages comme l'abondance, l'absence de toute pollution et la disponibilité en plus ou moins grandes quantités en tout point du globe terrestre. [7]

Les énergies renouvelables sont des énergies issues du soleil, du vent, de la géothermie des chutes d'eau, des marées ou de la biomasse. Leur exploitation n'engendre pas ou peu de déchets et d'émissions polluantes ; ce sont les énergies de l'avenir. Ces énergies regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue.

La filière étudiée dans ce mémoire est l'énergie photovoltaïque. Cependant les inconvénients majeurs de cette énergie sont le prix du générateur qui reste encore élevé ainsi que le rendement énergétique relativement bas. Pour surmonter ces problèmes, deux voies sont souvent suivies :

## Introduction générale

---

- ✓ Augmente le rendement énergétique en adoptant des technologies de très haut niveau lors de la fabrication des cellules photovoltaïques.
- ✓ Maximise la puissance délivrée par le générateur.

L 'Algérie dispose également d'un important potentiel en énergie solaire et qui n'attend qu'une bonne exploitation. Le grand sud, notamment le Sahara algérien, est caractérisé par de très forts apports solaires avec un gradient de température diurne-nocturne très important. [2]

Notre modeste travail sera basé sur trois axe ou chapitres :

### **Chapitre 01 :**

Consiste à expliquer des notions générales sur l'énergie solaire, les différents systèmes photovoltaïques et les composants constituant ces systèmes comme batterie, panneaux, convertisseur et régulateur.

### **Chapitre 02 :**

On va développer dans ce chapitre les méthodes de dimensionnement d'un système PV autonome avec batteries suivi d'un exemple réel pour trouver le cout d'installation et comparer se cout dans un système purement solaire et un autre hybride.

### **Chapitre 03 :**

Entame le pompage solaire ou photovoltaïque types, raccordement critère de choix des différents composants de ces systèmes comme les pompes solaires, le convertisseur et les panneaux convenable a ces pompes.

Trouver le nombre exacte des panneaux solaires et le choix des convertisseurs ainsi que la protection convenable des différentes éléments s'appel le dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque.

Ce chapitre se termine par une étude technico-économique afin de minimiser le cout générale d'installation des pompages solaire.

# Chapitre I :

Généralités sur le  
système photovoltaïque

## Introduction

Dans ce chapitre on va expliquer un peu le phénomène photovoltaïque principe de fonctionnement, types, domaines d'applications avantages et inconvénients.

En particulier on va se baser notre étude sur le système PV autonome pour bien comprendre leurs composants qui sont généralement

- ✓ Les panneaux.
- ✓ Les batteries.
- ✓ Les onduleurs.
- ✓ Les régulateurs de charge.
- ✓ Les autres accessoires.

Nous allons expliquer tous ces éléments principe de fonctionnement Types de raccordement dans un système autonome.

Les critères de choix de ces éléments sont indispensable pour plusieurs raison afin de démunie au maximum le cout de ces installations de point de vie technico économique.

### 1.1 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.[4]

### 1.2- Irradiation solaire

L'irradiation (Ensoleillement ou éclairement) 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  $(J.m^2)$  (Joule par mètre carré). [5]

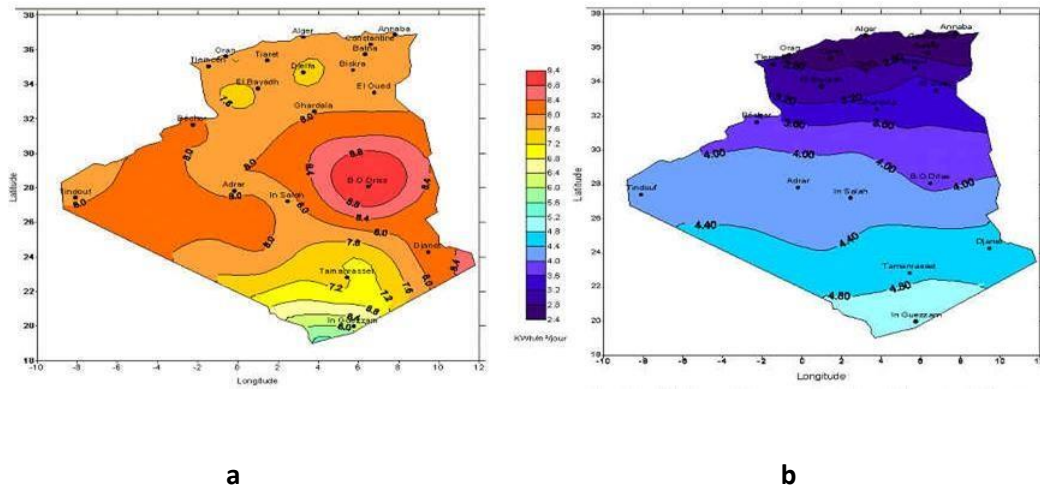
D'autres unités plus courantes sont le  $Wh/m^2$  (watt heure par mètre carré) Signalons que, l'irradiation solaire dépend de



- 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.

**1.3 Données météorologiques**

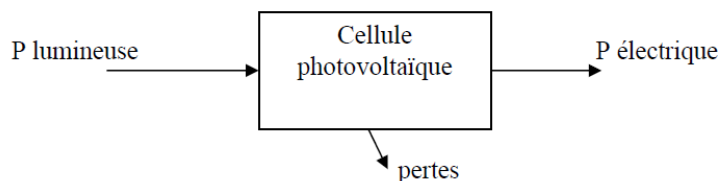
L'Algérie dispose l'un des gisements solaire les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur le quasi totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara).[3]



**Fig 1-1** Irradiation journalière reçue sur plan horizontal (a) Juillet (b) Décembre.

**1.4 Energie solaire (photovoltaïque)**

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable. Elle permet de produire de l'électricité par transformation d'une partie du rayonnement solaire grâce à une cellule photovoltaïque.[4]



**Fig 1-2** principe de l'énergie solaire.

## 1.5 Notions de bases sur les cellules, les panneaux et le champ photovoltaïque

**1.5.1 Cellule photovoltaïque** : est l'unité de base qui permet de convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique.



**Fig 1-3** cellule PV.

**1.5.2 Panneau photovoltaïque** : est formé d'un assemblage de cellules photovoltaïques.

Parfois, les panneaux sont aussi appelés **modules photovoltaïques**.



**Fig 1-4** panneau PV.

### 1.5.3 Champ photovoltaïque

Lorsqu'on regroupe plusieurs panneaux sur un même site, on obtient cellule panneau champ



**Fig 1-5** Champ PV.

## **1.6 Puissance lumineuse et éclairage**

### **1.6.1 L'éclairage**

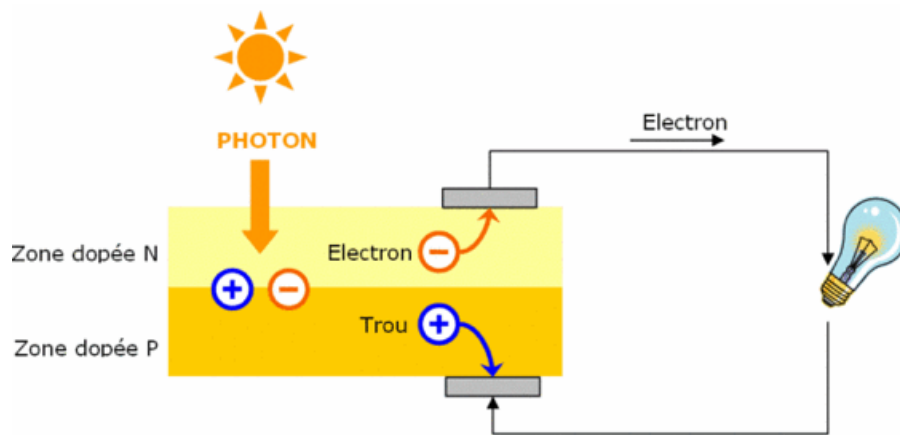
Il caractérise la **puissance lumineuse** reçue par unité de surface. Il s'exprime en  $W/m^2$ . La grandeur associée à l'éclairage est notée **G**. Parfois, cette grandeur est aussi appelée irradiance. [5]

### **1.6.2 Principe d'une cellule photovoltaïque**

Les cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir d'une jonction PN au silicium (diode).

Pour obtenir du silicium dopé N, on ajoute du phosphore. Ce type de dopage permet au matériau de libérer facilement des électrons (charge -).

Pour obtenir du silicium dopé P, on ajoute du bore. Dans ce cas, le matériau crée facilement des lacunes électroniques appelées trous (charge +). [4]



**Fig 1-6** Principe d'une cellule photovoltaïque.

La jonction PN est obtenue en dopant les deux faces d'une tranche de silicium. Sous l'action d'un rayonnement solaire, les atomes de la jonction libèrent des charges électriques de signes opposés qui s'accumulent de part et d'autre de la jonction pour former un générateur électrique.[3]

## 1.7 Différents types de générateurs photovoltaïques

### 1.7.1 Silicium monocristallin

Les cellules en silicium monocristallin représentent la première génération des générateurs photovoltaïques.

Pour les fabriquer, on fond du silicium en forme de barreau. Lors d'un refroidissement lent et maîtrisé, le silicium se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension.

On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme.

Durée de vie 20 à 30 ans.

#### A - avantages

- bon rendement, de 15% à 22% .
- bon ratio Wc/m<sup>2</sup> (environ 150 Wc/m<sup>2</sup>) ce qui permet un gain de place si nécessaire.

- nombre de fabricants élevé.

### **B- inconvénients**

- coût élevé.
- rendement faible sous un faible éclairement.



**Fig 1-7** Cellule Silicium monocristallin.

### **1.7.2 Silicium poly cristallin (multi cristallin)**

Pendant le refroidissement du silicium dans une lingotière, il se forme plusieurs cristaux, Cette cellule photovoltaïque est d'aspect bleuté, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux.

#### **A - avantages**

- cellule carrée (à coins arrondis dans le cas du Si monocristallin) permettant un meilleur foisonnement dans un module.
- moins cher qu'une cellule monocristalline.

#### **B- inconvénients**

- moins bon rendement qu'une cellule monocristalline 10 à 13%.
- ratio  $Wc/m^2$  moins bon que pour le monocristallin (environ  $100 Wc/m^2$ ).
- rendement faible sous un faible éclairement.

Ce sont les cellules les plus utilisées pour la production électrique (meilleur rapport qualité-prix). Durée de vie 20 à 30 ans



**Fig 1-8** Cellule Silicium polycristallin.

### 1.7.3 Silicium amorphe

Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites "solaires".

#### **A - avantages**

- fonctionne avec un éclairage faible ou diffus (même par temps couvert).
- un peu moins chère que les autres technologies.
- intégration sur supports souples ou rigides.

#### **B- inconvénients**

- rendement faible en plein soleil, de 5% à 10%.
- nécessité de couvrir des surfaces plus importantes que lors de l'utilisation de silicium cristallin (ratio Wc/m<sup>2</sup> plus faible, environ 60 Wc/m<sup>2</sup>).
- performances qui diminuent avec le temps (environ 7%).[3]



Fig 1-9 Cellule Silicium amorph.

## 1.8 Caractéristiques électriques d'une cellule

### 1.8.1 Caractéristiques courant / tension

A température et éclairement fixés, la caractéristique courant / tension d'une cellule a l'allure suivante.[7]

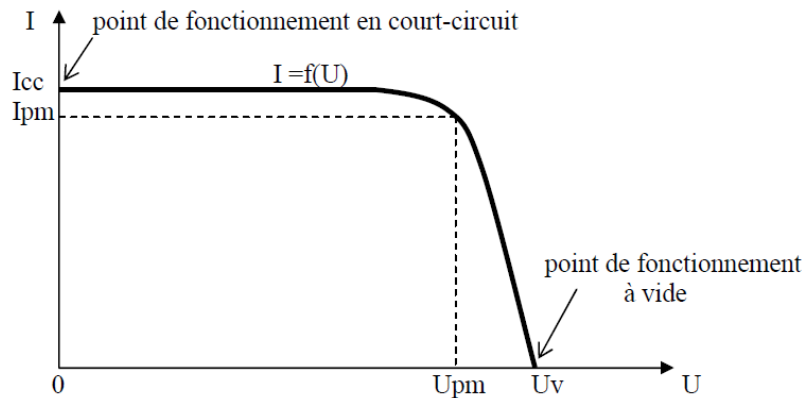


Fig 1-10 Caractéristique courant - tension d'une cellule PV.

Sur cette courbe, on repère

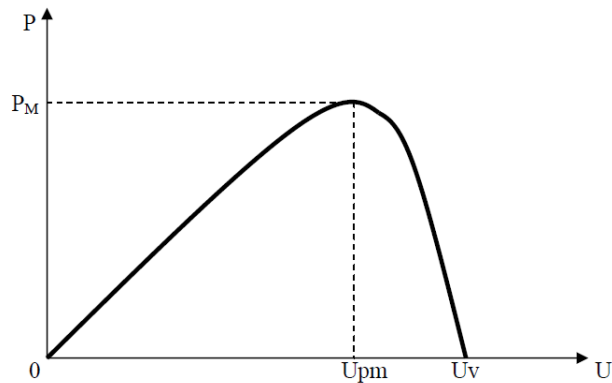
- le point de fonctionnement à vide  $U_v$  pour  $I = 0A$
- le point de fonctionnement en court-circuit  $I_{cc}$  pour  $U = 0V$

Pour une cellule monocristalline de 10x10cm, les valeurs caractéristiques sont

$$I_{cc} = 3A \text{ et } U_v = 0,57V \text{ (} G = 1000W/m^2 \text{ et } q = 25^\circ C \text{)}$$

### 1.8.2 Caractéristiques puissance / tension

La puissance délivrée par la cellule a pour expression  $P = U.I$ . Pour chaque point de la courbe précédente, on peut calculer la puissance  $P$  et tracer la courbe  $P = f(U)$ . Cette courbe a l'allure suivante.



**Fig 1-11** Caractéristique puissance - tension d'une cellule PV.

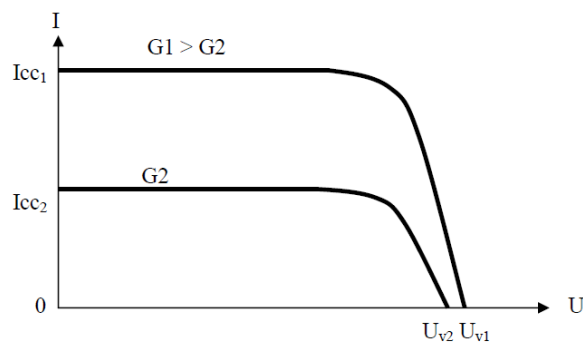
Cette courbe passe par un maximum de puissance ( $P_M$ ). A cette puissance correspond, une tension  $U_{pm}$  et un courant  $I_{pm}$  que l'on peut aussi repérer sur la courbe  $I = f(U)$ .

Pour une cellule monocristalline de 10x10cm, les valeurs caractéristiques sont

$$P_M = 1,24W, U_{pm} = 0,45V, I_{pm} = 2,75A \text{ (} G = 1000W/m^2 \text{ et } q = 25^\circ C \text{).}[7]$$

### 1.8.3 Influence de l'éclairement

A température constante, la caractéristique  $I = f(U)$  dépend fortement de l'éclairement



**Fig 1-12** Influence de l'éclairement sur le courant.



Sur cette courbe, on remarque que le courant de court-circuit augmente avec l'éclairement alors que la tension à vide varie peu.

A partir de ces courbes, on peut tracer les courbes de puissance  $P = f(U)$

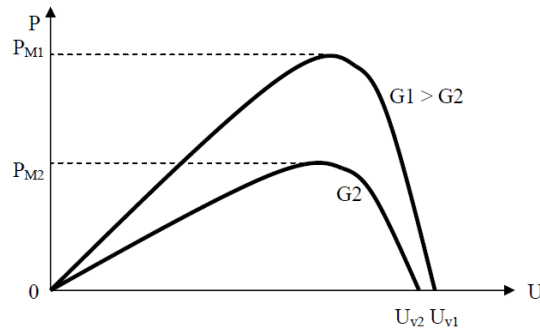


Fig 1-13 Influence de l'éclairement sur la puissance.

Sur ces courbes, on remarque que la puissance maximum délivrée par la cellule augmente avec l'éclairement.[3]

### 1.8.4 Influence de la température

Pour un éclairement fixé, les caractéristiques  $I = f(U)$  et  $P = f(U)$  varient avec la température de la cellule photovoltaïque

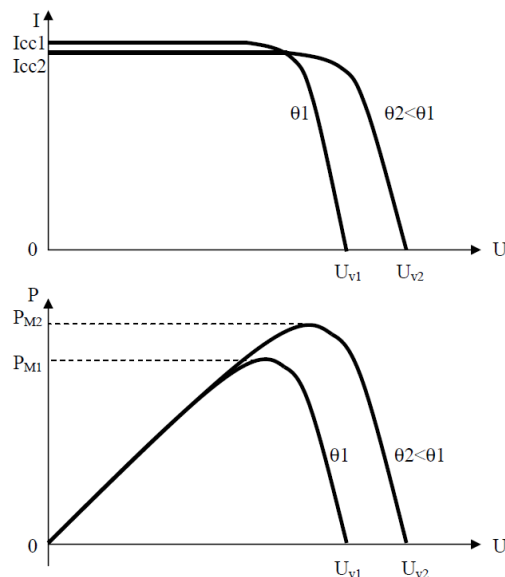


Fig 1-14 courbe d'influence de température sur le courant et la puissance.

Sur ces courbes, on remarque que la tension à vide et la puissance maximum diminuent lorsque la température augmente.

### 1.9 Définition de la puissance de crête

Par définition, la **puissance de crête** représente la puissance maximum fournie par une cellule lorsque l'éclairement  $G = 1000\text{W/m}^2$ , la température  $q = 25^\circ\text{C}$  et une répartition spectrale du rayonnement dit **AM 1,5**. [3]

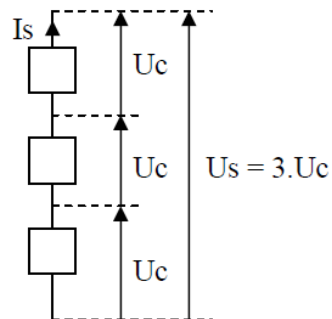
L'unité de cette puissance est le Watt crête, noté **Wc**.

Les constructeurs spécifient toujours la puissance de crête d'un panneau photovoltaïque.

Cependant, cette puissance est rarement atteinte car l'éclairement est souvent inférieur à  $1000\text{W/m}^2$  et la température des panneaux en plein soleil dépasse largement les  $25^\circ\text{C}$ .

### 1.10 Groupements de cellules

On peut grouper les cellules en série ou en parallèle.



**Fig 1-15** raccordement des cellules en série.

#### 1.10.1 Groupement série

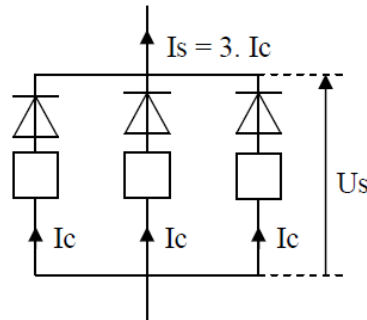
Permet d'augmenter la tension de sortie. Pour un groupement de  $n$  cellules montées en série la tension de sortie  $U_s$  a pour expression générale

$$U_s = n \cdot U_c \quad \text{avec } U_c \text{ tension fournie par une cellule}$$

Pour ce groupement, le courant est commun à toutes les cellules.

### 1.10.2 Groupement en parallèle

Permet d'augmenter le courant de sortie. Pour un groupement de  $n$  cellules montées en parallèle, le courant de sortie  $I_s$  a pour expression générale



**Fig 1-16** raccordement des cellules en série.

$I_s = n \cdot I$  avec  $I$  : courant fourni par une cellule

Pour ce groupement, la tension est commune à toutes les cellules.[4]

## 1.11 Types des systèmes PV

Les systèmes PV sont classés en fonction de trois types autonomes, hybrides et reliés au réseau. Le type que vous choisirez dépendra de vos besoins, de votre emplacement et de votre budget.

### 1.11.1 Systèmes autonomes (off grid)

Ils sont complètement indépendants d'autres sources d'énergie. Ils servent habituellement à alimenter les maisons, les chalets ou les camps dans les régions éloignées ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau. Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries d'accumulateurs pour stocker l'énergie.

De tels systèmes sont particulièrement utiles et rentables dans les applications estivales, lorsque l'accès à un endroit est difficile ou coûteux ou lorsque les besoins en entretien doivent être réduits au minimum.

On peut classer ce type en deux modes :

- a- Autonome avec batteries pour les systèmes autonomes qui nécessitent une continuité de service durant toute la nuit ou quelques heures de la nuit.
- b- Autonome sans batteries (au file de soleil) destiné pour le pompage photovoltaïque.

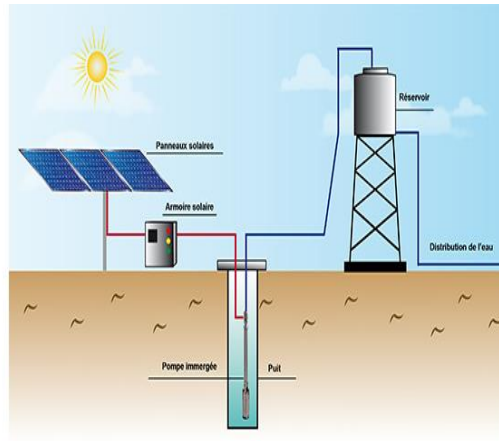


Fig 1-17 Système PV autonome sans batteries.

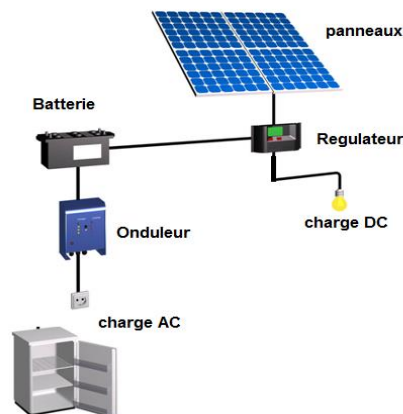


Fig 1-18 Système PV autonome avec batteries.

### 1.11.2 Systèmes raccordés au réseau (on grid)

Ils permettent de réduire la consommation d'électricité provenant du service public et, dans certains cas, de lui renvoyer l'énergie excédentaire. Dans certains cas, le service public pourrait vous créditer l'énergie retournée au réseau. Étant donné que l'énergie est normalement emmagasinée dans le réseau même, les accumulateurs ne sont pas nécessaires à moins que vous ne vouliez une forme autonome d'énergie pendant les pannes d'électricité.

Ces systèmes sont utilisés dans les immeubles, les domiciles ou les chalets déjà reliés au réseau électrique.[3]



Fig 1-19 composants générales d'un système PV connecté au réseau.

### 1.11.3 Systèmes hybrides (hybrid)

Ils reçoivent une partie de leur énergie d'une ou de plusieurs sources supplémentaires, En pratique, les modules de systèmes PV sont souvent alliés à une éolienne ou à une génératrice à combustible.

De tels systèmes ont habituellement des accumulateurs de stockage d'énergie.

Ils conviennent mieux lorsque la demande d'énergie est élevée (pendant l'hiver ou tout au long de l'année), lorsque l'énergie doit être fournie sur demande ou si votre budget est limité.

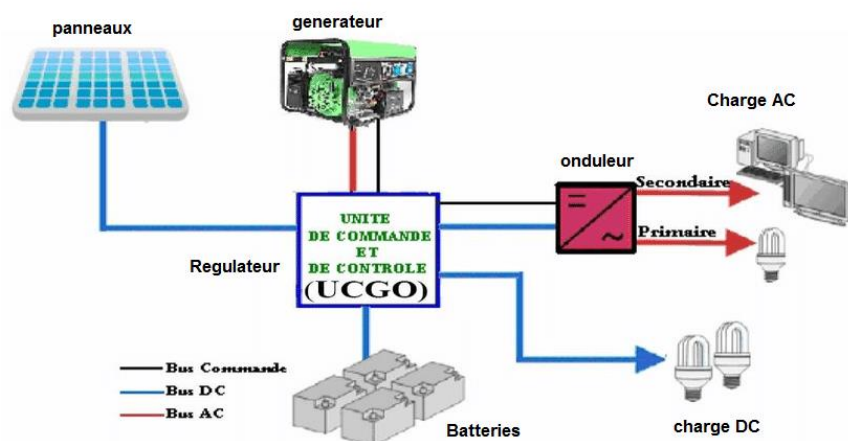


Fig 1-20 système PV Hybride.

## 1.12 Domaines d'application des systèmes PV

### 1.12.1 Les systèmes PV pour le chalet et le domicile

En général, les systèmes PV sont une option économique pour les chalets et les domiciles situés dans des régions éloignées. Dans la plupart de ces régions, il est impossible de se relier au réseau électrique et, dans de nombreux cas, du combustible fossile coûteux est utilisé afin de produire de l'électricité. Si votre domicile est relié au réseau actuel, les systèmes PV vous donneront la source autonome d'électricité dont vous pourriez avoir besoin pendant une panne d'électricité.

### 1.12.2 Les systèmes PV pour les applications mobiles et récréatives

Les utilisateurs de véhicules et de bateaux de plaisance ainsi que les membres d'expéditions peuvent aussi profiter du fonctionnement silencieux et sans pollution des systèmes PV portatifs pour recharger des batteries et des piles.

### 1.12.3 Les systèmes PV en agriculture

Les systèmes PV sont utilisés efficacement dans le monde entier afin de pomper de l'eau pour le bétail, les plantes ou les êtres humains. Étant donné que le besoin en eau est plus grand les jours chauds et ensoleillés, ces systèmes conviennent parfaitement aux applications de pompage. Ils fournissent également l'énergie de clôtures électriques dans les fermes.[3]

### 1.12.4 Les systèmes PV pour d'autres applications

Les systèmes PV peuvent être adaptés pour répondre à tout besoin, petit ou grand. Par exemple, les cellules PV sont utilisées dans les calculatrices et les montres. Aussi, le matériel de télécommunication, les panneaux de construction routière, les feux de stationnement et les signaux d'avis aux navigateurs sont d'excellentes applications pour les systèmes PV.[5]

### 1.12.5 Composants d'un système PV autonome

Un système PV autonome doit comprendre les éléments suivants

- 1- Panneaux solaires .
- 2- Batteries .
- 3- Onduleur .
- 4-Régulateur de charge.

5- Accessoires (câble, protection).

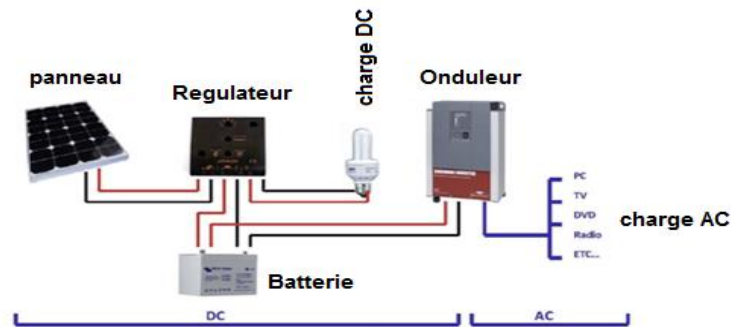


Fig 1-21 structure générale d'un système PV autonome avec batterie.

### 1.13 Panneaux solaires



#### 1.13.1 Définition

Un panneau solaire convertit l'énergie lumineuse en énergie électrique DC, il est composé de cellules photovoltaïques elles même constituées de matériaux semi-conducteurs qui conduisent moyennement l'électricité. Et Ces matériaux peuvent libérer leurs électrons sous l'effet de l'énergie lumineuse (photons).[7]

On distingue trois type de panneaux solaires selon la technologie de construction .

#### 1.13.2 Type de panneaux solaires

a- **Monocristallines** cristal à deux couches (souvent en silicium)

Rendement de 15 à 22% mais chères à fabriquer.

b- **Polycristallines** Plusieurs cristaux.

Rendement de 10 à 13% et un peu moins chères.

c- **Amorphes** 5 à 10% de rendement et prix très bas.[2]

### 1.13.3 Type de raccordement des panneaux solaires

On distingue trois types de raccordement

- a- **Raccordement série** dans ce mode la tension augmente mais le courant reste lui même.
- b- **Raccordement parallèle** dans ce mode le courant augmente mais la tension reste elle même.
- c- **Raccordement mixte (série-parallèle)** dans ce mode le courant et la tension augmentent.

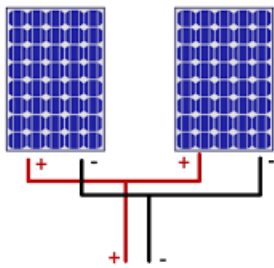


Fig 1-22 panneaux en parallèle

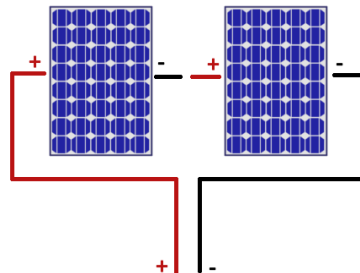


Fig 1-23panneaux en série

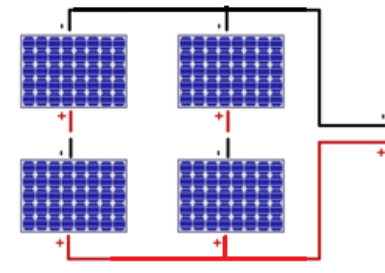


Fig 1-24 panneaux en mixte

### 3.4 Plaque signalétique d'un panneau solaire

Une plaque signalétique d'un panneau porte toutes les informations nécessaires concernant les grandeurs électriques ainsi que d'autres informations qu'on va les expliquer dans cet exemple.

Electrical Characteristics at Standard Test Conditions (STC)

Power Class	225 W	230 W	235 W	240 W	245 W	250 W
Maximum Power ( $P_{max}$ )	225 W	230 W	235 W	240 W	245 W	250 W
Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )	36.7 V	36.8 V	36.8 V	37.0 V	37.1 V	37.2 V
Short Circuit Current ( $I_{sc}$ )	8.18 A	8.34 A	8.44 A	8.54 A	8.64 A	8.74 A
Voltage at Maximum Power ( $V_{mpp}$ )	29.9 V	30.0 V	30.1 V	30.2 V	30.3 V	30.4 V
Current at Maximum Power ( $I_{mpp}$ )	7.53 A	7.67 A	7.81 A	7.95 A	8.08 A	8.22 A
Module Efficiency (%)	13.6 %	13.9 %	14.2 %	14.5 %	14.8 %	15.1 %
Cell Efficiency (%)	15.5 %	15.8 %	16.1 %	16.5 %	16.8 %	17.2 %

$P_{max}$ ,  $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$ ,  $V_{mpp}$ , and  $I_{mpp}$  tested at STC defined as irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup> at AM 1.5 solar spectrum and temperature 25 ± 2 °C. Electrical Characteristics: measurement tolerance of + 3%.

Fig 1-25 plaque signalétique d'un panneau solaire de 250 W .



**Explication des informations de la plaque signalétique d'un panneau solaire de 250W .**

**P<sub>max</sub> = 250 W** La puissance maximale de panneau.

**V<sub>oc</sub> = 37.2 V** la tension fourni par panneau a vide (circuit ouvert).

**I<sub>sc</sub> = 8.74 A** le courant de court circuit .

**V<sub>mp</sub> =30.4 V** la tension fournie de panneau en charge.

**I<sub>mp</sub> = 8.22 A** le courant de panneau en charge.

**15.1 %** le rendement de panneau.

**17.2 %** le rendement de la cellule.

**NB :** Toutes ces caractéristiques sont aux conditions STC c.a.d irradiation de 1000w/m<sup>2</sup> et température de 25°c. [6]

**1.14 Batteries solaires****1.14.1 Définition**

Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert).

Une batterie utilisée avec des panneaux solaires ou une éolienne est une batterie à décharge lente (appelée aussi batterie solaire). Ces batteries sont spécifiquement conçues pour les applications solaires ou éoliennes.

Elles n'ont pas les mêmes caractéristiques qu'une batterie de voiture par exemple, elles se déchargent plus progressivement et supportent mieux les décharges fréquentes peu profondes.

Vous pouvez brancher une batterie solaire directement sur un panneau solaire, mais vous risquez d'endommager la batterie si son niveau de charge dépasse les 90%. C'est pour

cela qu'il est vivement recommandé d'installer un régulateur solaire entre le panneau solaire photovoltaïque et les batteries solaires.[3]

### 1.14.2 Caractéristiques

Généralement les batteries sont caractérisées par :

- ✓ La technologie utilisée Acide ou AGM ou Gel ou lythrum.
- ✓ La tension de service 6V,12V ou 24V .
- ✓ La capacité on Ampère heur 50 Ah, 100Ah,200Ah.
- ✓ La vitesse de décharge C10 ou C20.
- ✓ La durée de vie ou le nombre de cycle (charge et décharge).[1]

### 1.14.3 Types de batterie

On distingue généralement trois types de batteries solaires

- a- Batterie à plomb ou liquide.
- b- Batterie à Gel ou AGM.
- c- Batterie au lithium ion.



Fig 1- 26 Type de batteries solaires.[1]

### 1.14.4 Critères de choix des batteries

- Durée de vie très longue (plusieurs années).
- Tension de service en (V).
- Capacité en (Ah) .

- Résistant à des cycles de vie nombreux et irréguliers.
- Rendement élevé.
- Autodécharge très faible.
- Pas de maintenance nécessaire.

### 1.14.5 Raccordement des batteries

Dans les systèmes photovoltaïques on utilise trois types de raccordement des batteries.

#### a- Raccordement série

Dans ce type on doit augmenter la tension des batteries afin d'obtenir la tension voulu 12, 24 ou 48V mais la capacité reste telle quelle est.

#### b- Raccordement parallèle

Le cas contraire ici on veut augmenter la capacité des batteries tandis que la tension ne change plus.

#### c- Raccordement mixte ou (série parallèle)

Dans ce cas on joue sur les deux grandeurs tension et capacité selon les besoins alors on va raccorder un ensemble en série pour avoir une telle tension (24V ou 48V par exemple) et le même autre ensemble en parallèle pour augmenter la capacité (Ah).[3]

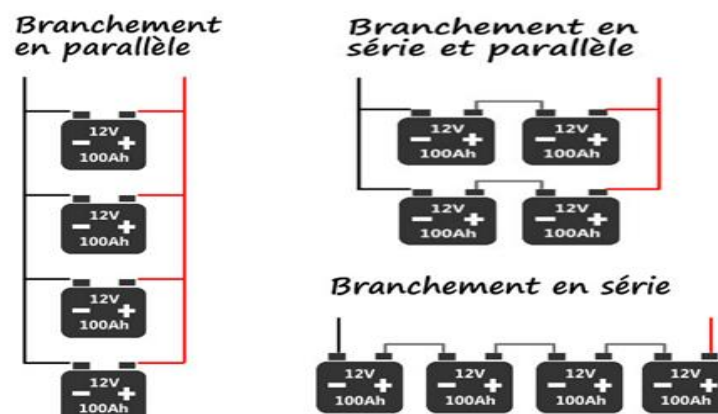


Fig 1- 27 Raccordement des batteries solaires (série, parallèle ou mixte)

### 1.15 L'onduleur



Fig 1-28 Type d'onduleur.

#### 1.15.1 Définition

Un onduleur est un dispositif d'électronique de puissance permettant de fournir des tensions alternatif avec une fréquence fixe ou ajustable à partir d'une source d'énergie électrique de tension contenu. Avec même puissance presque, L'onduleur est un convertisseur statique de type continu/alternatif.[4]

#### 1.15.2 Type d'onduleurs

On peut trouver trois types d'onduleurs utilisés dans les énergies renouvelables, onduleurs autonomes et les onduleurs connectés au réseau, Il existe aussi les onduleurs hybrides ou intelligents.

##### a) Onduleurs autonomes

a partir d'une source contenu (Batterie) l'onduleur doit fournir une tension alternative 220V avec une fréquence de 50Hz ou 60Hz afin d'alimenter une telle charge alternative.



##### b) Onduleurs non autonomes (connecté au réseau)

Il doit être connecté au réseau et à la source contenue pour délivrer une tension alternative de même tension et fréquence de réseau électrique pour l'injecter au réseau électrique.



### c) Onduleurs hybrides ou intelligents (smart inverter hybrid)

Il représente une nouvelle génération des onduleurs intelligents qui gèrent très bien plusieurs sources afin d'alimenter une telle charge alternative.

Ce genre des onduleurs reçoit 3 sources (panneaux, Batteries et réseau) puis il gère ces trois derniers afin de délivrer une tension de 220V 50Hz avec un courant bien défini. Quelque soit les sur constances (nuit nuage ou autre) .[1]



#### 1.15.3 Caractéristiques d'onduleur solaire

Un onduleur solaire se caractérise généralement par :

- ✓ Puissance nominale.
- ✓ Puissance au pic (puissance au démarrage qui doit être plus).
- ✓ Forme d'onde (purement sinusoïdale ou carrée).
- ✓ Tension d'entrée.
- ✓ Tension de sortie.
- ✓ Plage de tension d'entrée.
- ✓ Protection contre Court-circuit, surcharge, température élevée, baisse tension de batterie.
- ✓ Température de fonctionnement.

#### 1.15.4 Critère de choix

Le rapport de puissance des onduleurs sur celui du champ PV doit être compris entre 90 et 150 %. Ce rapport peut varier en fonction de l'orientation du système.

La tension des modules à 70°C doit être supérieure à la tension d'entrée minimale de l'onduleur.

La tension des modules à -10°C doit être inférieure à la tension maximale de fonctionnement de l'onduleur la tension court-circuit des modules à -10°C doit être inférieure à la tension maximale acceptable par l'onduleur.

Le courant court-circuit maximal des modules doit être inférieur au courant maximal d'entrée acceptable par l'onduleur.[7]

## 1-16 Régulateur de charge



Fig 1-29 types des régulateurs

### 1.16 .1 Définition

Un régulateur photovoltaïque sert à contrôler l'état de la batterie solaire. Il autorise la charge complète de celle-ci tout en évitant les risques de décharge profonde et de surcharge. De cette façon, le régulateur prolonge la durée de vie de la batterie. C'est un appareil autonome qui fonctionne de façon automatique pour ajuster la charge de la batterie.

Le rôle du régulateur solaire est d'**assurer et réguler la charge des batteries**. Il optimise la puissance des panneaux et empêche les décharges/surcharges profondes nuisibles à la bonne durée de vie des batteries.[5]

### 1.16 .2 Type de régulateurs

On peut trouver deux types de régulateur solaire :

**A -Les régulateurs solaires PWM** (Pulse Wide Management) possèdent un bon rendement et permettent d'optimiser la charge de la batterie. C'est à l'heure actuelle les régulateurs présentant le meilleur rapport prix/performance.

**B - Les régulateurs solaires MPPT** (Maximum Power point Tracking) quand à eux exploitent au maximum l'énergie fournie par les panneaux en faisant varier leurs tension en fonction de la luminosité. Selon les conditions, ils peuvent être jusqu'à 35% plus performants que les régulateurs PWM.

### 1.16 .3 Choix du régulateur solaire

Une fois la technologie la plus adaptée identifiée, il faut s'attacher au dimensionnement du régulateur photovoltaïque. Celui-ci dépend de 2 critères principaux

- La tension nominale doit correspondre à celle qui existe entre les panneaux et la batterie photovoltaïque 12, 24 ou 48 Volts
- L'intensité maximale admissible par le circuit d'entrée du régulateur doit être supérieure à l'intensité du courant produit par les panneaux solaires. Cela vaut également pour le circuit de sortie.[3]

Ainsi, une fois tous ces aspects techniques pris en compte, il ne vous restera qu'à comparer les offres pour trouver le meilleur prix pour notre régulateur photovoltaïque.

### Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté la théorie concernant les systèmes photovoltaïques et ces applications ainsi que les éléments nécessaires d'un système photovoltaïque autonome.

Le chapitre suivant fera l'objet de dimensionner un système PV pour habitation.

## Chapitre II :

Dimensionnement d'un  
système PV pour  
habitation



## Introduction

Dans ce chapitre on va entamer le dimensionnement d'un système photo voltaïque isolé avec batterie destiné à l'alimentation d'une habitation.

Ce qui signifie qu'on va trouver le nombre exacte des éléments de ce système d'une part et de déterminer les caractéristiques nécessaires et convenables de chaque éléments avec notre installation et plutôt avec notre charge qu'on va l'alimenter sous une tension bien déterminée d'autre part.

### 2-1 Procédure de dimensionnement PV

On va suivre une méthode simple, compréhensive et pratique qui va nous permis de dimensionner notre système comme suite :

**a)** D'abord on va remplir le cahier de charge d'une installation d'après plusieurs informations concernant :

- Nom, prénom, Téléphone et email ainsi que l'adresse de l'intéressé
- Le site géographique exacte ou le lieu d'installation afin de déterminer :
  - ✓ L'angle d'inclinaison ( $\alpha$ ).
  - ✓ L'orientation de champ photovoltaïque.
  - ✓ L'ensoleillement moyenne (Ens).
  - ✓ Nombre de jour d'autonomie (Auto).
  - ✓ La surface disponible pour implanter les panneaux photovoltaïques.
- Les charges électriques qu'on va l'alimenter sachant qu'il faut connaitre la puissance de chaque charge (récepteur) et le nombre d'heures d'utilisation ainsi que la quantité de cette dernière.

**b)** Maintenant on doit calculer la puissance totale journalière consommé par les appareils (Ptj) c.a.d la somme de tous les appareils électriques si on considère que tous ces appareils fonctionnent au même temps. Son unité est le (**watt**).

**c)** Ensuite il faut déterminer l'énergie totale journalière qui représente la somme des énergies unitaire de chaque appareil c'est-à-dire que l'énergie de chaque appareil représente la

multiplication de sa puissance électrique en watt par le nombre d'heures d'utilisation  $N_{bh}$  et elle sera représenté par l'unité (Wh) qui signifie le watt heure .

**d)** Une fois qu'on a calculé ces deux grandeurs électriques (puissance et énergie totale par jour) on peut calculer la puissance crête totale ou la puissance de champ photovoltaïque qui nous permis de définir : la tension de système ainsi que le nombre des panneaux.

**e)** La tension de système représente aussi la tension nominale d'onduleur (d'entrée), de régulateur et des batteries.

On détermine cette tension en fonction d'un intervalle de puissance résumé dans un tableau comme suite :

**Tab 2-1** tension de système photovoltaïque selon la puissance crête. [7]

Puissance De champ	0- 500w	500 – 2Kw	2Kw - 10 Kw	plus que 10Kw
Tension de système	12V	24V	48V	96V

**f)** Le nombre de panneaux basé sur les facteurs suivants :

- L'énergie totale journalière  $E_{tj}$ .
- L'ensoleillement moyenne  $E_{ns}$ .
- Facteur de correction de système  $F_c$ .

Avec ces trois paramètres on peut calculer la puissance crête qui représente la puissance du champ photovoltaïque et le rapport de cette puissance avec la puissance de panneau utilisé nous donne le nombre de panneaux nécessaire a nos besoins (charge électrique qu'on doit l'alimenter).

$$P_{cr} = \frac{E_{tj}}{E_{ns} \times F_c} \quad (2-1)$$

Tel que :

- $E_{tj}$ : L'énergie totale journalière calculée.
- $E_{ns}$ : L'ensoleillement moyenne qu'on a déterminé des le début.
- $F_c$ : facteur de correction de système.

$$NBP = \frac{P_{cr}}{P_p} \quad (2-2)$$

Après qu'on a calculé le nombre totale de panneaux solaires il faut aussi déterminer le nombre de panneaux on série et on parallèle.

$$NBP_s = \frac{V_{sys}}{V_{mp}} \quad (2-3)$$

$$NBP_p = \frac{NBP}{NBP_s} \quad (2-4)$$

Tel que :

- NBPs : Nombre de panneaux en série.
- Vsys : la tension de système.
- NBPs : Nombre de panneaux en parallèle.
- NBP : Nombre de panneaux totaux.

**g)** Le nombre de batteries nécessaires sera déterminé à partir de plusieurs facteurs qui sont généralement :

- ✓ L'énergie totale journalière calculée (E<sub>tj</sub>).
- ✓ Le nombre de jours d'autonomie (Auto).
- ✓ La tension de système déterminée (V<sub>sys</sub>).
- ✓ La profondeur de décharge des batteries (DOD).
- ✓ Et parfois le rendement des batteries (R<sub>b</sub>).

D'abord il faut déterminer la capacité totale de système selon la formule suivante :

$$C_t = \frac{E_{tj} \times Auto}{V_{sys} \times DOD} \quad (2-5)$$

Avec :

C<sub>t</sub> : la capacité totale de système en (Ah)

E<sub>tj</sub> : l'énergie totale journalière en (Wh)

Auto : nombre de jour d'autonomie de la région.

V<sub>sys</sub> : Tension de fonctionnement du système. En (V)

DOD : Profondeur de décharge des batteries en( %)

Maintenant On peut déterminer le nombre de batteries selon la formule suivante :

$$\text{Tel que : } \quad \text{NBB} = \left( \frac{C_t}{C_b} \right) \times \left( \frac{V_{\text{sys}}}{V_{\text{bat}}} \right) \quad (2-6)$$

- C<sub>b</sub> : La capacité de la batterie en (Ah).

- V<sub>bat</sub> : La tension de la batterie en (v).

Comme les panneaux On doit aussi déterminer le nombre de batteries on serie et on parallèle .

- La connexion on série augmente la tension

- La connexion on parallèle augmente la capacité

$$\text{NBB}_s = \frac{V_{\text{sys}}}{V_{\text{bat}}} \quad (2-7)$$

$$\text{NBB}_p = \frac{\text{NBB}}{\text{NBB}_s} \quad (2-8)$$

**h)** On déterminera L'onduleur à partir de ces éléments :

- La qualité de signale de sortie (Pure sinus wave) ou (square sinus wave).

- P<sub>ond</sub> : Puissance totale.

- P<sub>pick ond</sub> : Puissance de pic.

- U<sub>e ond</sub> : La tension d'entrée en DC = tension de système.

- U<sub>s ond</sub>: La tension de sortie en AC = puissance /U<sub>e</sub>.

- I<sub>e ond</sub>: Le courant d'entrée.

- I<sub>s ond</sub> : Le courant de sortie.

- La protection interne contre le court-circuit ou la surcharge ou autre ou autre.

- Divers.

Pour dimensionner un onduleur on n'est pas besoin de calculer tous ces paramètres, il se fait de calculer sa puissance qui est égale à la puissance totale journalière de notre système

multiplié par (1.3) puis on va sélectionner la puissance la plus proche à la gamme existante au marché.

Tension d'entre = tension de système (12V ou 24V ou 48V).

Tension de sortie = 220V 50hz ou 380V (utilisé au pompage).

**i)** Le contrôleur de charge sera dimensionné à partir de ces paramètres :

- Ureg : Tension de contrôleur qui est égale à la tension de système.
- Ireg : Courant de contrôleur qui représente le courant total des panneaux.
- Ufonct : Plage de Tension d'entrée ou de fonctionnement de contrôleur. Qui doit contenir la tension totale des panneaux solaire.

**j)** Détermination de la section des files :

Pour déterminer la section des files on doit d'abord connaître les paramètres suivants :

- Le type de tension AC ou DC.
- La longueur entre la source et la charge.
- La résistivité de conducteur (Ro) selon le type de conducteur (Aluminium ou cuivre).
- La tension et le courant ou la puissance.

Et selon la tension DC la formule suivante est la plus utilisée :

$$S = R_o \cdot (2 \cdot L \cdot I) / (V \cdot E) \quad (2-9)$$

Où :

- ✓ Ro : est la résistivité de conducteur.
- ✓ L : la longueur entre la source et la charge.
- ✓ I : le courant absorbé par la charge.
- ✓ V : la tension de la source.
- ✓ E : la chute de tension en % (3 % ou 5 %).
- ✓ S : la section en mm<sup>2</sup>

- Noter bien que La longueur en DC se calcule en double c.à.d. aller-retour (2 x L)

On peut utiliser aussi des fichiers Excel ou des abaques qui nous facilite la détermination de section du câble d'une manière simple et plus efficace.

On contenu (DC)

Tableaux Excel pour déterminer la section de câble selon la longueur, la puissance et la tension qui alimente une telle charge en courant contenu.

**Tab 2-2** exemple de calcul de la section du câble en DC.

<b>Calcul de la section d'un câble électrique</b> en cuivre et en courant continu	
<b>Puissance de l'équipement (en watts)</b>	<b>1000</b>
<b>Longueur de câble aller + retour (en mètres)</b>	<b>40</b>
<b>Tension de service (en volts)</b>	<b>48</b>
<b>Chute de tension acceptable (en %)</b>	<b>5%</b>
<b>Perte de tension (en volts)</b>	<b>2,4</b>
<b>Section du câble (en mm<sup>2</sup>)</b>	<b>6,6</b>
<b>Diamètre du câble (en mm)</b>	<b>2,90</b>

On Alternatif (AC)

Même chose pour le courant alternatif (AC) sauf que la formule précédente devient :

$$S = R_o \cdot (L \cdot I) / (V \cdot E) \quad (2-10)$$

Tel que :

- ✓  $R_o$  : est la résistivité de conducteur =  $1.7 \times 10^{-8}$
- ✓  $L$  : la longueur entre la source et la charge en (m)
- ✓  $I$  : le courant alternatif absorbé par la charge en (A).
- ✓  $V$  : la tension de la source en (V).
- ✓  $E$  : la chute de tension en 5 %
- ✓  $S$  : la section en ( mm<sup>2</sup> )

Puissance en KW	Intensité en A	Section en mm <sup>2</sup>															
		1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	
0,5	2,3	100	165	265	395												
1	4,6	50	84	135	200	335	530										
1,5	6,8	33	57	90	130	225	355	565									
2	9	25	43	68	100	170	265	430	595								
2,5	11,5	20	34	54	80	135	210	340	470	630							
3	13,5	17	29	45	66	110	180	285	395	520							
3,5	16	14	24	39	56	96	155	245	335	450							
4	18	18	21	34	49	84	135	210	295	395	580						
4,5	20	18	19	30	44	75	120	190	260	350	515						
5	23	18	21	27	39	68	105	170	235	315	460	630					
6	27	18	23	32	46	56	90	140	195	260	385	530					
7	32	18	23	32	46	48	76	120	170	225	330	460	570				
8	36	18	23	32	46	42	67	105	145	195	290	400	500	620			
9	41	18	23	32	46	38	60	94	130	175	255	355	440	550			
10	45	18	23	32	46	34	54	84	120	155	230	320	400	495	615		
12	55	18	23	32	46	34	45	70	98	130	190	265	330	410	510		
14	64	18	23	32	46	38	60	84	110	165	230	285	350	435	560		
16	73	18	23	32	46	38	53	74	99	145	200	250	305	380	500		
18	82	18	23	32	46	47	65	88	125	175	220	270	340	440			
20	91	18	23	32	46	47	65	88	125	175	220	270	340	440			
25	114	18	23	32	46	47	65	88	125	175	220	270	340	440			
30	136	18	23	32	46	47	65	88	125	175	220	270	340	440			
35	159	18	23	32	46	47	65	88	125	175	220	270	340	440			
40	182	18	23	32	46	47	65	88	125	175	220	270	340	440			
45	205	18	23	32	46	47	65	88	125	175	220	270	340	440			
50	227	18	23	32	46	47	65	88	125	175	220	270	340	440			
60	273	18	23	32	46	47	65	88	125	175	220	270	340	440			
70	318	18	23	32	46	47	65	88	125	175	220	270	340	440			

Fig 2.1 Détermination de section du câble pour la sortie d'onduleur 220V 16 A 15m de longueur

k) -Protection de système photovoltaïque. Pour protéger un système PV il faut d'abord connaitre quel sont ces les défauts qui peuvent être survenu ??? .

Alors il faut protéger notre système contre :

- Le court-circuit : par un type de disjoncteurs ou fusible aussi DC ou AC.
- Les surcharges : par les fusibles ou les disjoncteurs DC ou AC
- Les foudres : par l'utilisation des parafoudres convenable à l'installation.
- Le contact des personnes avec la carcasse métallique des appareils électriques ainsi que les panneaux solaires : par la mise à la terre. Sans oublier le disjoncteur différentiel



**Fig 2.2** Organes de protections photovoltaïques.

On peut mettre l'ensemble de protection dans deux un seul coffret qui réduise la surface et l'emplacement des organes de protections.



Coffret de protection -photovoltaïque-AC



Coffret de protection - photovoltaïque-DC

**Fig 2.3** Coffret de protection photovoltaïque DC et AC.



L'organigramme suivant montre clairement les étapes nécessaires pour le dimensionnement

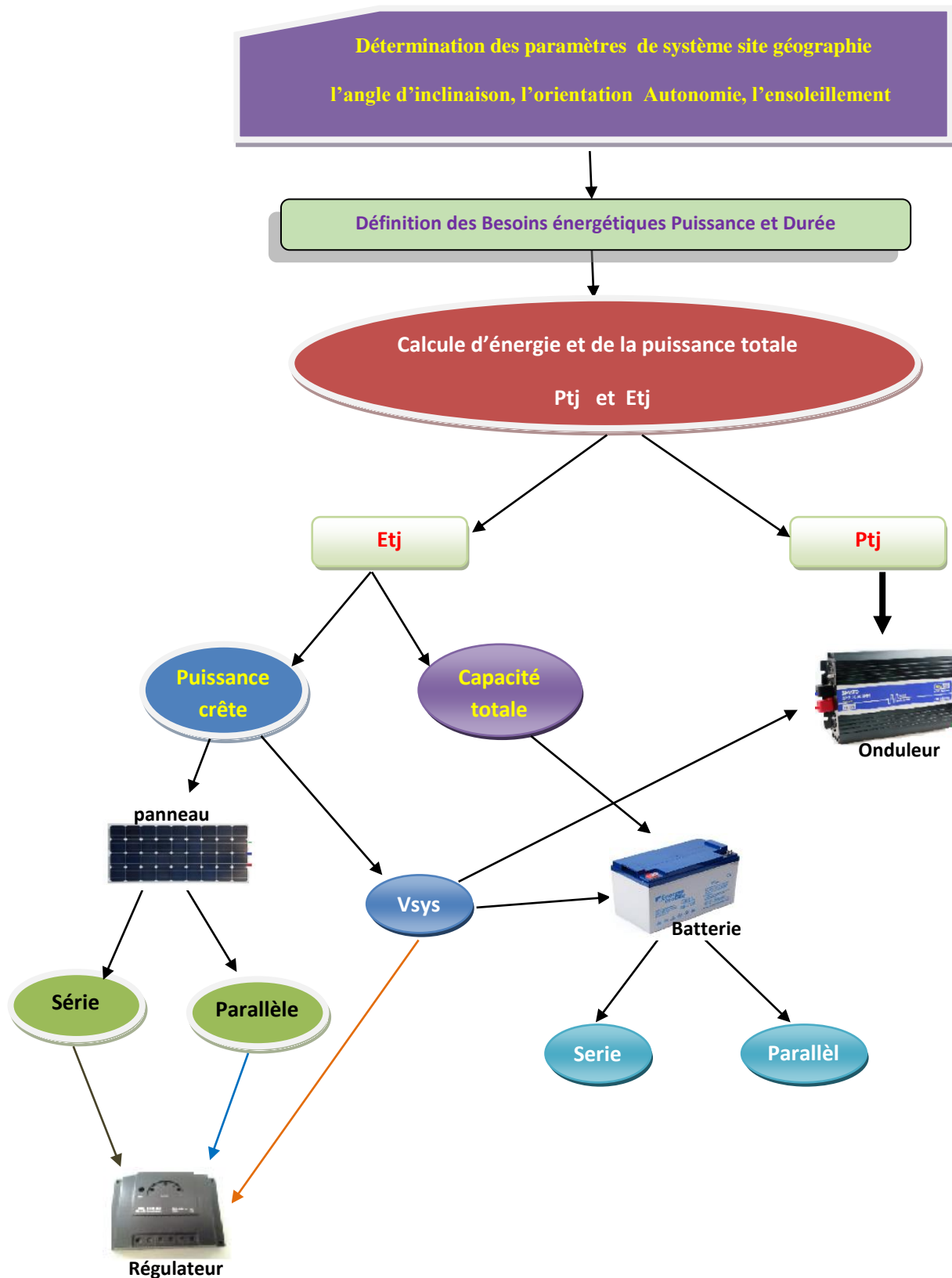


Fig 2.4 Procédure de dimensionnement photovoltaïque

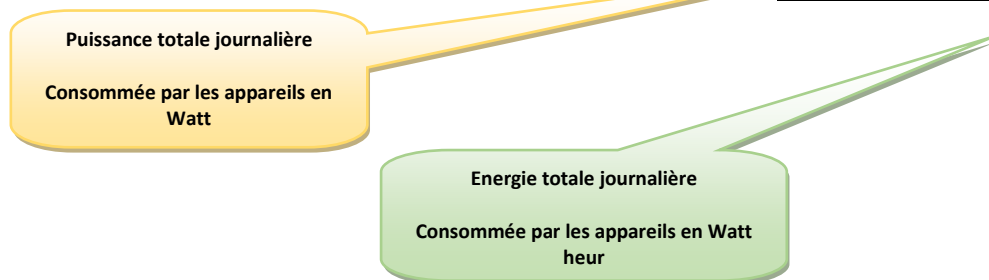
2-2 Etude pratique Exemple d'un cas réel d'une habitation de fellah

2-2-1 Cahier de charge

Nom et Prénom	Type de Cléon	mobile	email	Adress
Hamdi rabie	individuel	05.98.76.54.32	hamdid56@gmail.com	Ain naga

Tab 2.3 Les charges électriques disponibles

N°	Appareil	NB	PU(w)	Nbh	P (W)	E (Wh)
1	lampes	5	15	5	75	375
2	TV + démo	1	150	4	150	600
3	réfrigérateur	1	150	8	150	1200
4	ventilo	2	120	4	240	960
5	pompe a eau	1	440	2	440	880
6	PC	1	100	4	100	400
7	chargeur	3	20	3	60	180
					1215	4595
					Ptj	Etj



D'après ce tableau on constate qu'on a remplis le cahier de charge d'un client qui compris ses cordonnés ainsi que les charges électriques chacune sa puissance, nombre et son nombre d'heur d'utilisation.

On a utilisé Excel pour faire des calculs rapides et faciles et on peut les modifier a n'importe quel moment.

Donc :

La puissance totale journalière pour cette installation est égale à 1215 W

L'énergie totale journalière pour cette installation est égale à 4595 Wh

Une fois qu'on a ces deux grandeurs on peut calculer la puissance crête de système comme suite :

$$P_{cr} = \frac{E_{tj}}{E_{ns} \times F_c} = \frac{4595}{5 \times 0.65} = 1414 \text{ Wc} \quad (2-11)$$

### 2-2-2 Tension de système

On constate que cette puissance est entre 501 et 2000W alors la tension de système  $V_{sys} = 24V$  selon le tableau des puissances qu'on a expliqué .

$$V_{sys} = 24V \quad (2-12)$$

### 2-2-3 nombre de panneaux

Passant maintenant à calculer le nombre totale des panneaux

$$NBP = \frac{P_{cr}}{P_p} = \frac{1414}{250} = 5.65 = 6 \quad (2-13)$$

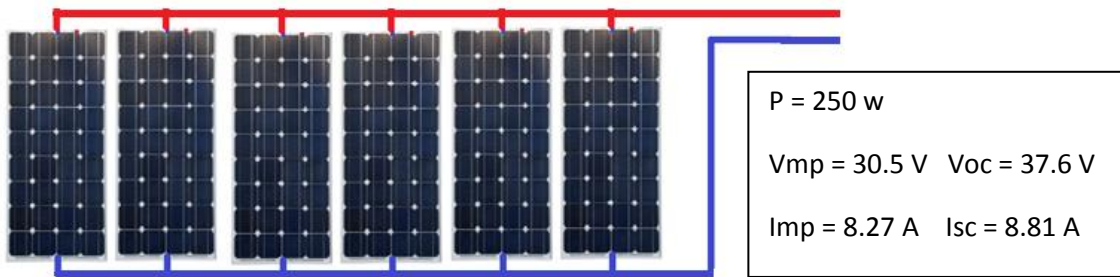
Le nombre de panneaux en série devient :

$$NBP_s = \frac{V_{sys}}{V_{mp}} = \frac{24}{30.5} = 0.78 = 1 \quad (2-14)$$

le nombre de panneaux en parallèle est:

$$NBP_p = \frac{NBP}{NBP_s} = \frac{8}{1} = 8 \quad (2-15)$$

On peut résumer nos panneaux et leurs raccordements après le dimensionnement comme suite :



**Fig 2.5** câblage ou raccordement des panneaux solaire après le dimensionnement.

Avons de détermination le nombre des batteries il faut calculer la capacité totale de système qui est égale a :

$$C_t = \left( \frac{E_{tj} \times \text{Auto}}{V_{sys} \times \text{Dod}} \right) = \left( \frac{4595 \times 2}{24 \times 0.5} \right) = 765.83 \text{ Ah} \quad (2-16)$$

#### 2-2-4 Nombre de batterie Totale :

$$NBB = \left( \frac{C_t}{C_b} \right) \times \left( \frac{V_{sys}}{V_{bat}} \right) = \left( \frac{766}{200} \right) \times \left( \frac{24}{12} \right) = 7.66 = 8 \quad (2-17)$$

Nombre de batterie en série:

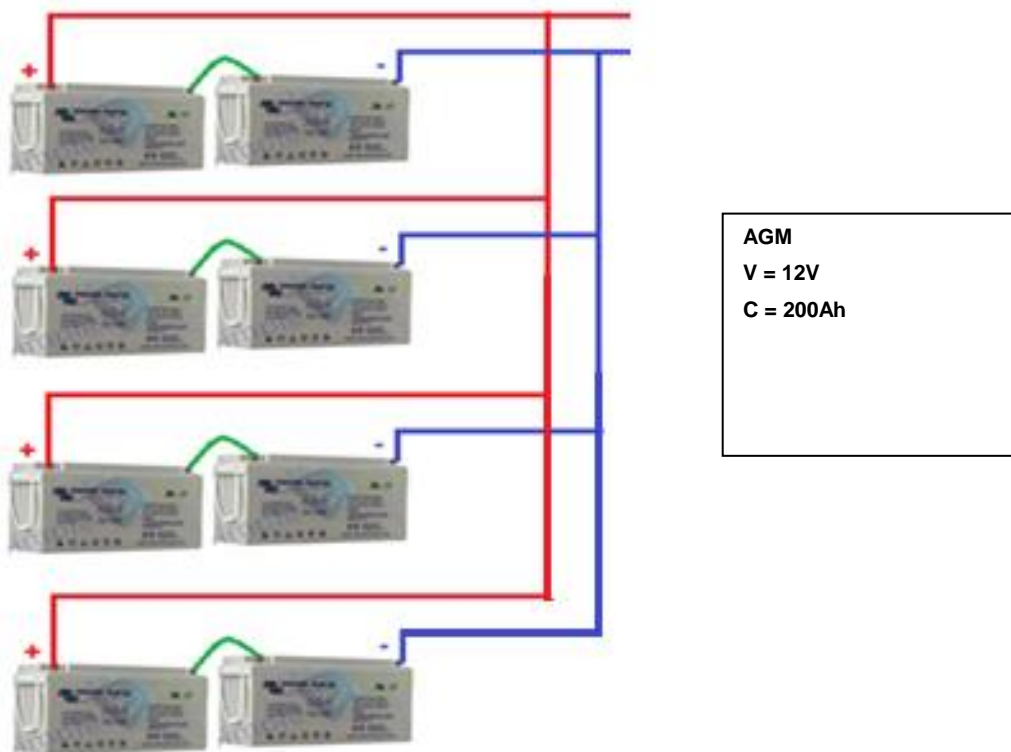
$$NBB_s = \frac{V_{sys}}{V_{bat}} = \frac{24}{12} = 2 \quad (2-18)$$

Nombre de batterie en parallèle :

$$NBB_p = \frac{NBB}{NBB_s} = \frac{8}{2} = 4 \quad (2-19)$$

On peut résumer nos besoins de batteries et leurs raccordements comme suite :

- ✓ 2 en séries
- ✓ 4 en parallèles
- ✓ 8 en totales



**Fig 2.6** câblage ou raccordement des Batteries solaire après le dimensionnement

### 2-2-5 L'onduleur

On va déterminer d'abord sa puissance



$$P_{ond} = 1215 \times 1.3 = 1579.5 \text{ w} \tag{2-20}$$

Mais on ne peut pas trouver cette valeur dans la gamme des onduleurs donc on va prendre une valeur proche dans la gamme trouvant dans le marché qui est égale a : 2000 w

Si l'onduleur a l'option de puissance de pic qui va réduire le courant de démarrage dans quelques charges (pompe ou moteur) ca sera mieux.

**Tab 2.4** caractéristiques d'onduleur dimensionné

Onduleur 24 V 2000W	24V
$P_{ond} = 2000 \text{ W}$ $P_{pic} = 3000 \text{ w}$	2000 W 3000 W
$F_{ond} = 50 \text{ Hz}$	50Hz
$V_{e\ ond} = V_{sys} = 24V$	24V DC
$I_{e\ ond} = \frac{P_{ond}}{V_{e\ ond}} = \frac{2000}{24} = 84 \text{ A}$	84 A DC
$V_{s\ ond} = 220V$	220V AC
$I_{s\ ond} = \frac{P_{ond}}{V_{s\ ond}} = \frac{2000}{220} = 10 \text{ A}$	10A AC

**2-2-6 Le régulateur de charge**

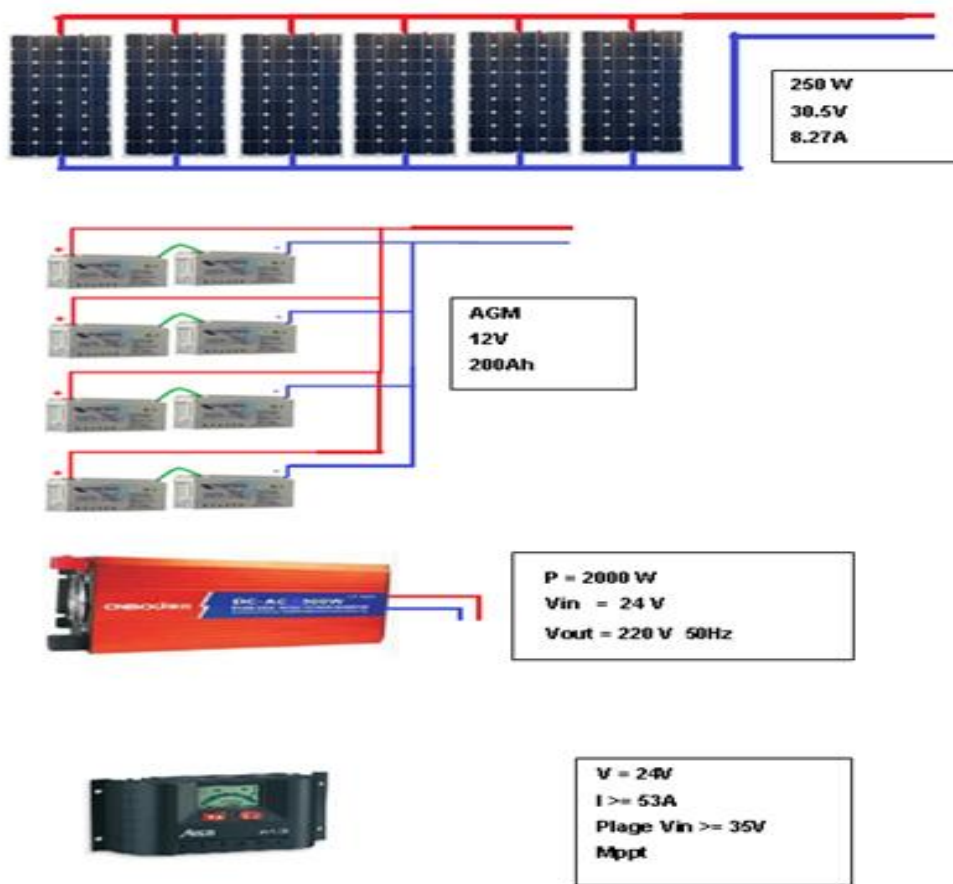


D'après nos données on a besoin d'un régulateur dont les caractéristiques suivants :

**Tab 2.5** caractéristiques de régulateur de charge dimensionné

Régulateur : Mppt avec afficheur ( option )	Mppt
$V_{reg} = V_{sys} = 24V$	24V
$I_{reg} = I_{sc} \times 6 = 8.81 \times 6 = 52.86 A$	52.86 A
$V_{fonct} \gg 200V$ ou $500V$	500V
$P_{reg} \gg P_{panneaux} = 1500 w$	1500 W

Après qu'on a dimensionné les paramètres de ce système photovoltaïque isolé avec batteries (panneaux, batteries, onduleur, régulateur) on va résumer notre système comme suite :



**Fig 2.7** Les éléments dimensionnés de système PV

Tab 2.6 fichier Excel feuille de donnée cahier de charge

Dimensionnement d'un système PV avec l'outil Excel qui facilite les calculs

Num	appareil	NB	p u(w)	nb h	p (W)	E (Wh)		Nom et prenom
1	lampe	5	15	5	75	375		mobile
2	TV + demo	1	150	4	150	600		Email
3	refrigérateur	1	150	8	150	1200		Address
4	ventilo	2	120	4	240	960	Biskra	lieu d'installation
5	pompe a eau	1	440	2	440	880	38	latitude
6	pc	1	100	4	100	400		longitude
7	chargeur	3	20	3	60	180	102	l'altitude
8							5	Irradiation Kw/m2/j
9							0.65	Facteur de correction
10							plain sud	l'orientation
					<b>1215</b>	<b>4595</b>	0.5	DOD
					<b>Ptj</b>	<b>Etj</b>	2	Autonomie

panneaux	Pmax	Vmp	Imp	Voc	Isc
poly	250	30.5	8.27	37.6	8.81

Batteries	V (V)	C (Ah)	NB cycle
a gel	12	200	2000

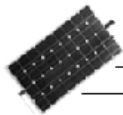


Comme vous constatez on a utilisé l'outil Excel pour plusieurs raisons :

- Souplesse de saisir les données
- Rapidité de calcul et obtention des résultats
- Possibilité de modifier les données a n'importe quel moment et obtenir les nouveaux résultats immédiatement.

**Tab 2.7** fichier Excel feuille de calculs des éléments PV dimensionnés

<b>Pcr</b>	<b>Vsys</b>
1414	24



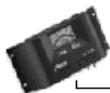
<b>Panneaux</b>	<b>NBp</b>	<b>NBps</b>	<b>NBs</b>	<b>Ip (Isc)</b>	<b>Vp</b>	<b>Pp</b>	<b>puiss totale des panneaux</b>
poly	6	1	6	53	37.6	1514	1500



<b>Batteries</b>	<b>Ct</b>	<b>NBb</b>	<b>NBb corr</b>	<b>NBbs</b>	<b>NBbp</b>	<b>Energie des batteries(wh)</b>
a gel	765.83	7.66	8	2	4	9600
						<b>Temps de charge (h)</b>
						3.2



<b>Onduleur</b>	<b>P (W)</b>	<b>P corr(W)</b>	<b>P pic (W)</b>	<b>Ve</b>	<b>Vs</b>	<b>Ie</b>	<b>Is</b>
	1579.5	2000	3000	24	220	83.33	9.09
						104.17	11.36



<b>Regulateur</b>	<b>P (W)</b>	<b>Vn</b>	<b>Ireg</b>	<b>V marge&gt;&gt;</b>		
Mppt	1514	24	53	37.6		

Iprotection

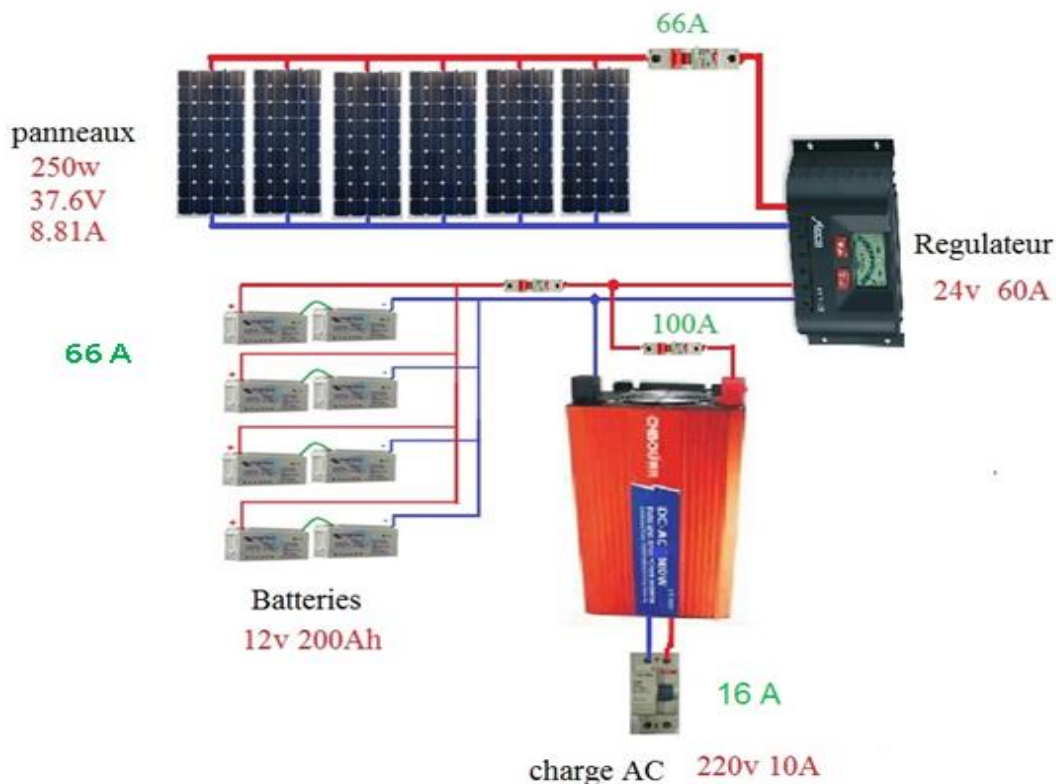
### 2-2-7 Protection de système

Pour protéger un système photovoltaïque il faut protéger chaque élément de ce dernier puisque les éléments de système ne consomment pas la même puissance alors il faut protéger :

- Les panneaux : par un disjoncteur DC selon le courant total fourni par eux sachant que : le courant de disjoncteur = le courant nominal multiplié par 1.25.

- Les Batteries : par un disjoncteur DC selon le courant totale fournis par eux sachant que : le courant de disjoncteur = le courant nominale multiplier par 1.25.
- L'onduleur : par un disjoncteur DC pour l'entres et un disjoncteur AC pour la sortie avec la même règle qu'on a expliqué.
- Le régulateur de charge : il est protégé automatiquement par lui-même mais aussi par les éléments raccordés qui sont protégés aussi par un disjoncteur DC ou AC.
- Protection contre le contact de phase avec la carcasse des panneaux solaires, (onduleur, régulateur ou même batteries) on utilisant la mise a la terre avec ses accessoires.
- Protection contre la foudre : On utilisant le parafoudre avec ses accessoires.
- Bien choisir les socles et les supports métalliques convenables avec les éléments utilisés.
- Bien choisir le meilleur endroit des batteries.

Système PV après qu'on a déterminé les organes de protection et leur valeurs



**Fig 2.8** câblage de système PV après la détermination des éléments de protection (Disjoncteurs DC et AC)

2-2-8 Détermination de la section de câble pour chaque tranche ou élément

On peut utiliser formules qu'on a expliquées ou des abaques ou des fichiers excel pour simplifier les calculs dont notre cas.

a) Onduleur – charge 16A AC 220V longueur 15m cas réel

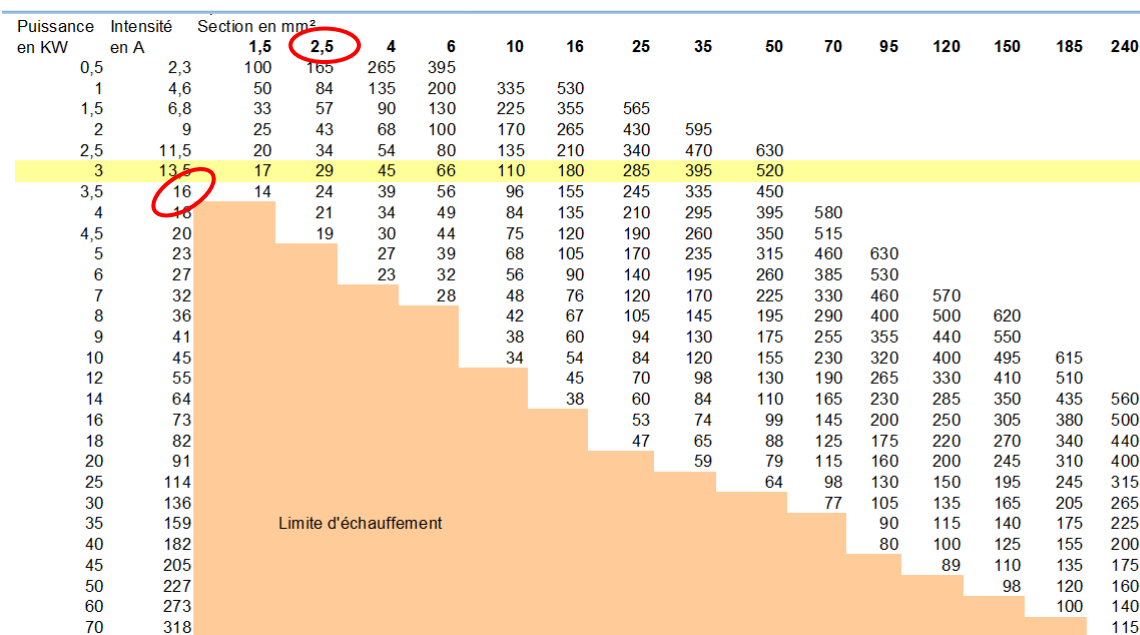


Fig 2.9 Détermination de section du câble pour la sortie d'onduleur 220V 16 A 15m de longueur

S mm²	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
-------	-----	-----	---	---	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

D'après nos données et le tableau précédent la section minimale est égale à 1.5 mm² mais on va prendre la valeur suivante 2.5 mm² pour plus de sécurité et pour les conditions de la chaleur et le vieillissement des câbles après plusieurs années de services.

Panneaux – régulateur 60 A 20 m 37.5 V 2250 W

b) calcule la section du câble entre Panneaux – régulateur DC

Calcul de la section d'un câble électrique en cuivre et en courant continu	
Puissance de l'équipement (en watts)	<b>2250</b>
Longueur de câble aller + retour (en mètres)	<b>40</b>
Tension de service (en volts)	<b>37,5</b>
Chute de tension acceptable (en %)	<b>5%</b>
Perte de tension (en volts)	<b>1,9</b>
Section du câble (en mm <sup>2</sup> )	<b>24,4</b>
Diamètre du câble (en mm)	<b>5,57</b>

S mm <sup>2</sup>	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
-------------------	-----	-----	---	---	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

section standard en mm<sup>2</sup>

D'après les sections standard la valeur minimale et la plus proche est 25 mm<sup>2</sup> mais on va prendre la valeur suivante pour raison de sécurité qui est égale a 35mm<sup>2</sup>.

Batteries – Onduleur 24V 2m 2400 W 100A

c) calcule la section du cable entre Batterie - onduleur DC

<b>Calcul de la section d'un cable électrique en cuivre et en courant continu</b>	
<b>Puissance de l'équipement (en watts)</b>	<b>2400</b>
<b>Longueur de cable aller + retour (en mètres)</b>	<b>4</b>
<b>Tension de service (en volts)</b>	<b>24</b>
<b>Chute de tension acceptable (en %)</b>	<b>5%</b>
<b>Perte de tension (en volts)</b>	<b>1,2</b>
<b>Section du cable (en mm<sup>2</sup>)</b>	<b>6,4</b>
<b>Diamètre du cable (en mm)</b>	<b>2,85</b>

S mm <sup>2</sup>	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
-------------------	-----	-----	---	---	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

section standard en mm<sup>2</sup>

D'après la section standard la valeur minimale et la plus proche est 10 mm<sup>2</sup>

Batteries – régulateur 800Ah 5m 24V

d) calcule la section du câble entre Batteries – régulateur

<b>Calcul de la section d'un câble électrique</b> en cuivre et en courant continu	
Puissance de l'équipement (en watts)	<b>19200</b>
Longueur de câble aller + retour (en mètres)	<b>10</b>
Tension de service (en volts)	<b>24</b>
Chute de tension acceptable (en %)	<b>5%</b>
Perte de tension (en volts)	<b>1,2</b>
Section du câble (en mm <sup>2</sup> )	<b>126,7</b>
Diamètre du câble (en mm)	<b>12,70</b>

S mm <sup>2</sup>	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
-------------------	-----	-----	---	---	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

section standard en mm<sup>2</sup>

D'après les sections standard la valeur minimale et la plus proche est 150 mm<sup>2</sup> mais

On va prendre la valeur suivante pour raison de sécurité qui est égale a 185 mm<sup>2</sup>.

Ici on va résumer les éléments de système PV isolé avec la protection convenable plus les sections convenable de cable

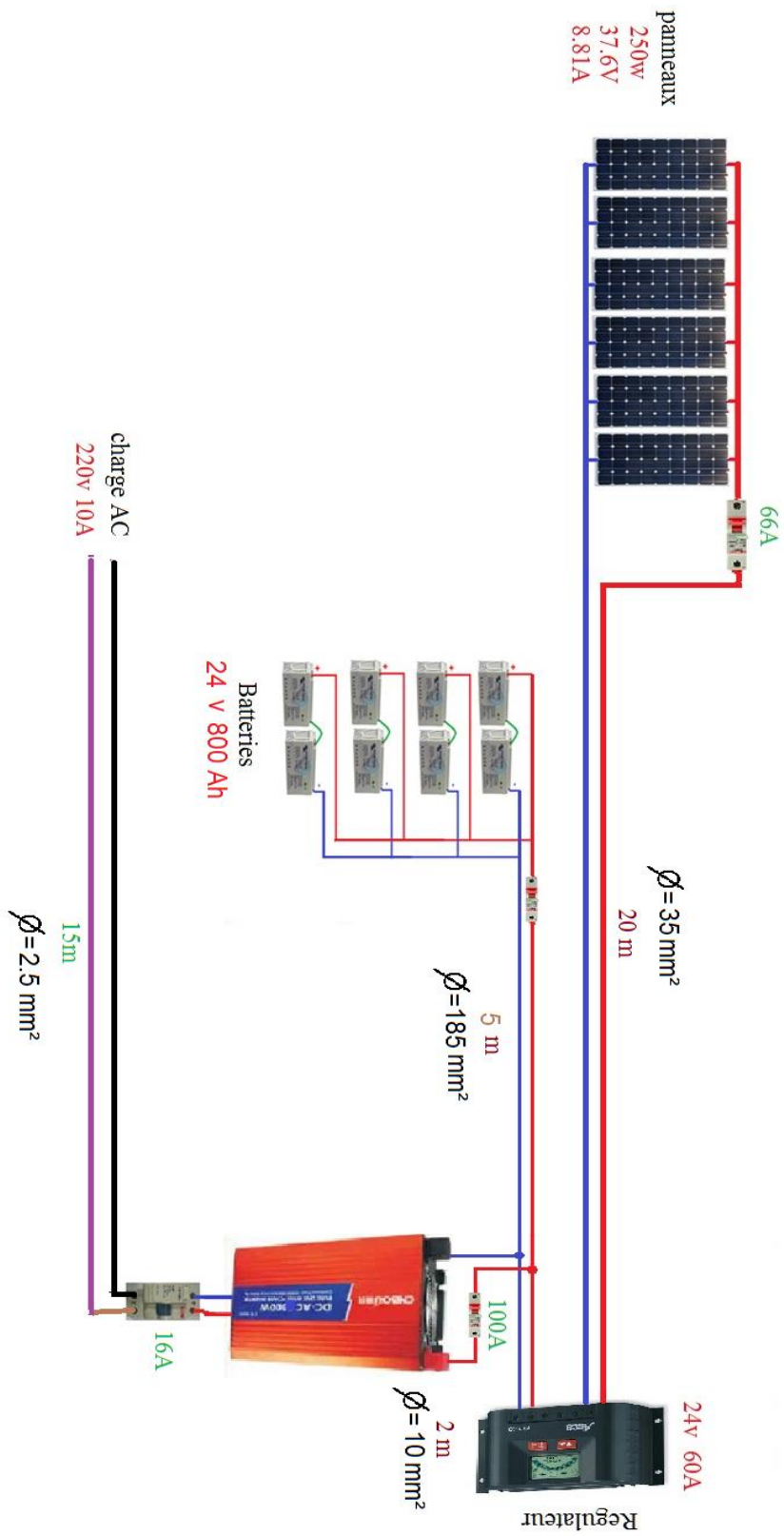


Fig 2.10 système Pv après le dimensionnement des éléments de protection et section du câble

### 2-3 Etude technico-économique entre le système hybride et le système purement solaire

Théoriquement on sait bien que le système hybride est l'un des solutions Pour éviter ou démineur les inconvénients de photovoltaïque (stockage).

Alors on va comparer entre les factures de deux systèmes pour déterminer le système le plus favorable.

#### 2-3-1 Cas du système totalement solaire

**Tab 2-22** Cas du système totalement solaire.

N°	désignation	p.u (DA)	nb	montant (DA)
1	onduleur	85000,00	1	85000,00
2	régulateur	30000,00	1	30000,00
3	batteries	35000,00	8	280000,00
4	panneaux	33000,00	6	198000.00
5	installation	50000,00		50000,00
totale				643000.00

#### 2-3-2 cas du système hybride (réseau + solaire)

**Tab 2-23** Cas du système Hybride.

N°	désignation	p.u (DA)	nb	montant (DA)
1	onduleur	85000,00	1	85000,00
2	régulateur	30000,00	1	30000,00
3	panneaux	33000,00	6	198000.00
4	installation	50000,00		50000,00
totale				363000.00

D'après le montant des deux factures on constate facilement qu'on a une économie de plus de **280.000,00 DA**.



Aussi il y a techniquement, s'il y a un problème dans le système totalement solaire la charge sera privée de l'énergie alors que le système hybride permet la continuité de l'alimentation de la charge dans toutes les situations.

C'est pourquoi le système hybride est la solution préférée. Economiquement et techniquement.

### **Conclusion**

On a pris comment faire un vrai dimensionnement d'un système photovoltaïque isolé avec batteries, tous les étapes de procédure de dimensionnement (équations formule).

On a compris comment faire la combinaison entre les éléments de système photovoltaïque : panneaux, batteries, Onduleur et régulateur de charge plus accessoires.

On a pris tous les types de protections concernant les éléments de ce système PV et comment déterminer ces organes de protection convenable avec notre système dans les deux cas AC ou DC.

Enfin on a fait une comparaison technico-économique entre deux systèmes l'un purement solaire et l'autre hybride (solaire + réseau).

On a conclut que le système hybride est le meilleur économiquement et techniquement à condition que notre système PV doit être installé dans une région équipée de réseau électrique si non le système purement solaire reste le plus favorable.

# Chapitre III :

Dimensionnement d'un  
système PV de pompage

**Introduction :**

Depuis longtemps Le problème de la demande d'eau se multiplie en particulier dans les zones rurales et les sites isolés où l'accès à l'énergie classique est difficile ou presque impossible à cause des charges très élevées pour obtenir de l'électricité. Ce phénomène a fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation d'énergie photovoltaïque comme nouvelle source d'énergie et aussi comme une solution efficace et verte.

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 sahariennes et isolées. En effet, un système photovoltaïque devient intéressant lorsqu'il est facile à installer avec une autonomie acceptable et une excellente fiabilité de service.

On va traiter dans ce chapitre plus particulièrement les éléments nécessaires qui consistent à concevoir une station de pompage solaire sans oublier le dimensionnement de ces derniers et trouver les bons choix de matériels soit en quantité ou en qualité.

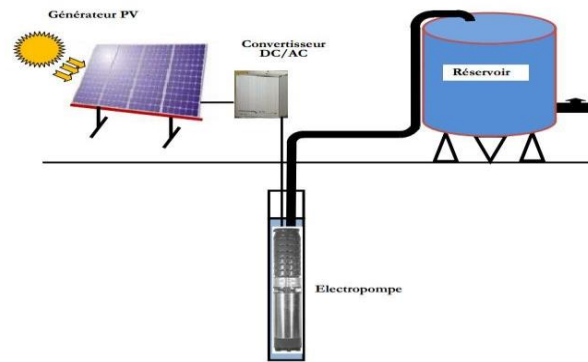
Notre exemple pratique sera sur une région de la wilaya de Biskra (Ain naga) où on va dimensionner le système Photovoltaïque de pompage autonome et sans batteries.

**3.1 Pompage solaire**

Deux méthodes sont possibles Pour pomper l'eau avec un système photovoltaïque :

**3.1.1 Pompage « au fil du soleil »**

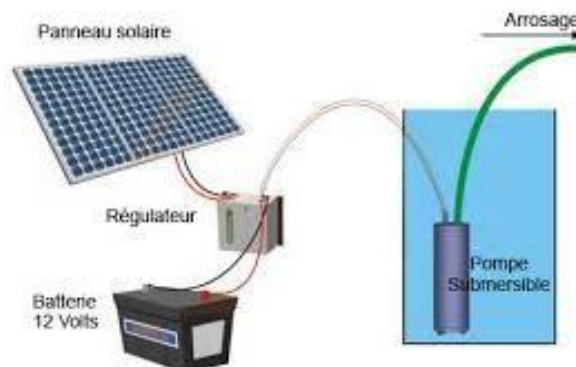
Le pompage « au fil du soleil » permet d'avoir un système photovoltaïque simple, fiable et moins coûteux. Ici l'eau est pompée et stockée dans un réservoir, au fil de la journée. On parle alors d'un stockage hydraulique. L'eau stockée sera distribuée au besoin.[3]



**Fig 3.1** : Pompage photovoltaïque au fil du soleil.

### 3.1.2-Pompage avec stockage :

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 couteux que le précédent, vu la nécessité de changer les batteries, car elles ont une courte durée de vie.



**Fig 3.2** : Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie.

## 3.2 Composants d'un système de pompage PV

Un système de pompage solaire est généralement constitué de [ ]

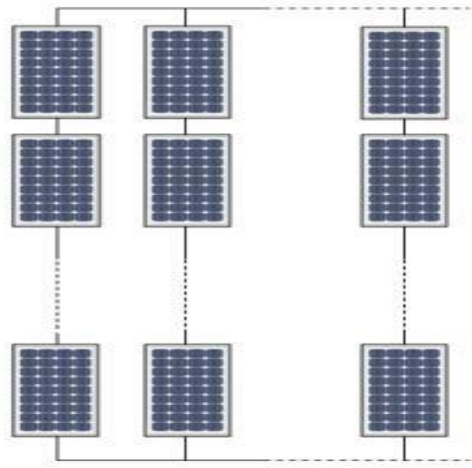
- Le générateur photovoltaïque.
- Le groupe de motopompe.
- L'électronique de commande.
- Les éléments du stockage.

### 3.2.1- Générateur photovoltaïque

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

Le nombre et le type de raccordement de ces modules dépend de bon dimensionnement qu'il faut faire afin d'optimiser notre système au maximum.

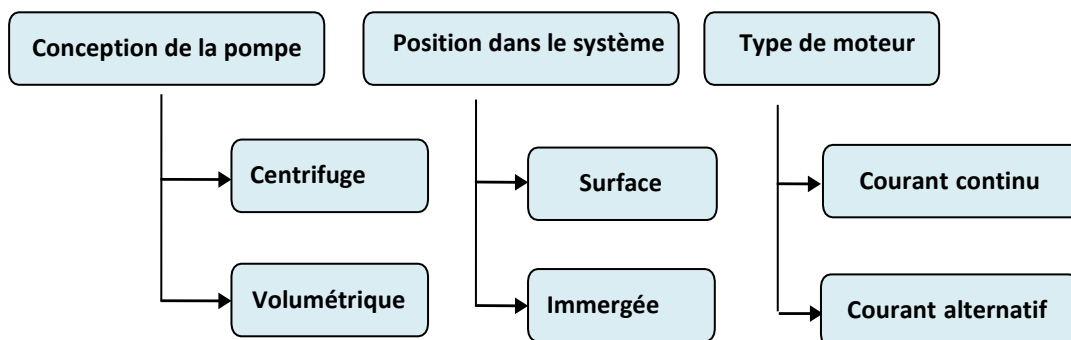
Ces modules montés on série et on parallèle délivrent une tension contenu ou une puissance convenable a la puissance de convertisseur (onduleur régulateur) afin d'alimenter une pompe a une telle puissance électrique. [5]



**Fig 3.3 :** Champ photovoltaïque.

### 3.2.2- 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. [7]



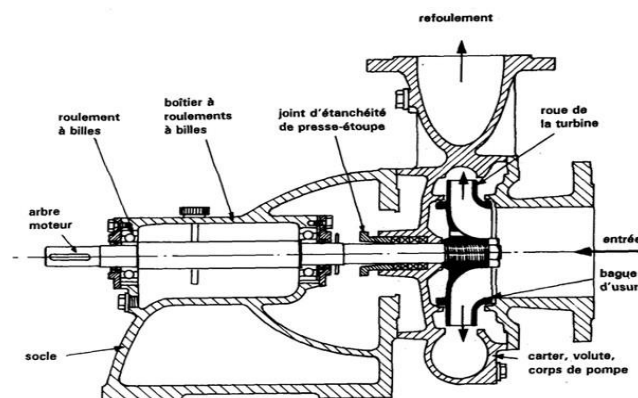
**Fig 3.4 :** Classification des pompes

### a) 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.

#### • 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.

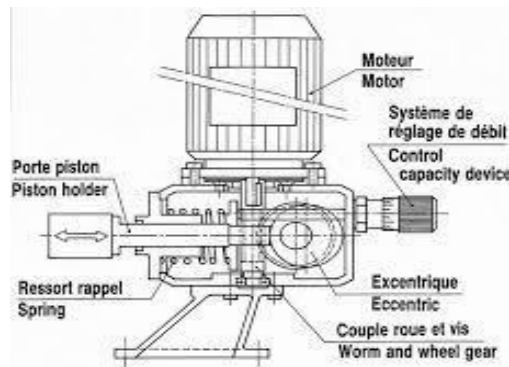


**Fig 3.5 :** Schéma d'une pompe centrifuge

#### • Pompe volumétrique

La pompe volumétrique transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va et vient permettant au fluide de vaincre la gravité par variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement. 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.[5]



**Figure3.6 :** Schéma d'une pompe volumétrique.

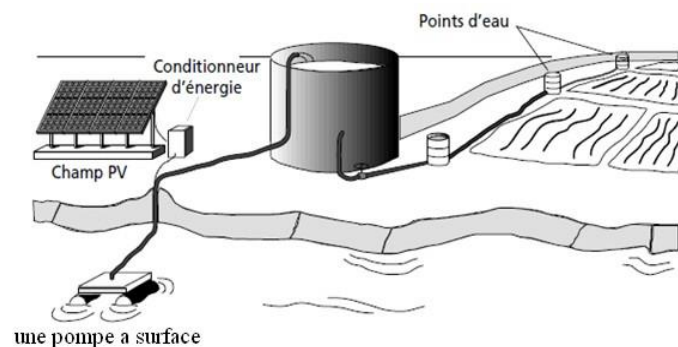
### b) Classification selon la position de pompe

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

- **Pompes de surface**

Le terme surface définit la position d'une pompe par rapport au liquide à pomper.

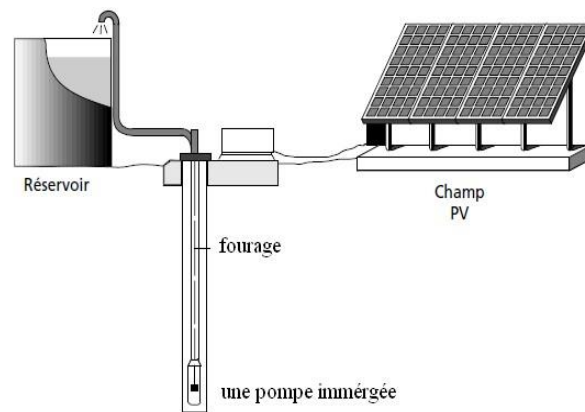
Elle est dite pompe de surface, car prévue pour être posée en dehors du liquide à aspirer.



**Figure3.7:** Pompes de surface.

- **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.[3]



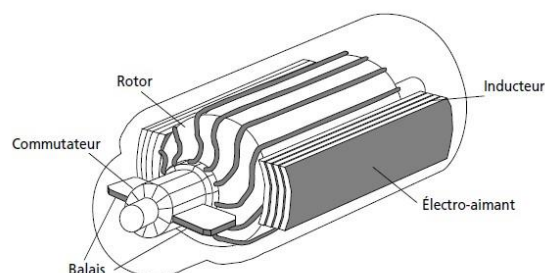
**Fig 3.8:** Pompe immergée.

### c) Classification selon le moteur utilisé

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.

#### • Moteur à courant continu

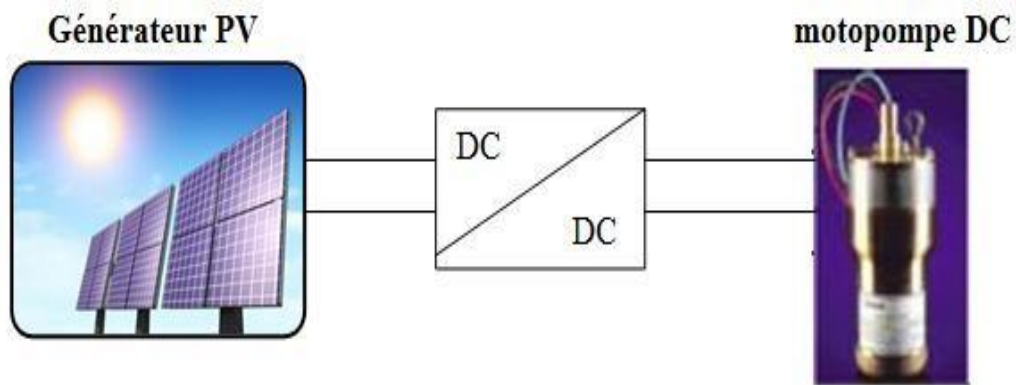
L'énergie électrique appliquée à un moteur est transformée en énergie mécanique en variant le sens du courant circulant dans un induit (habituellement le rotor) soumis à un champ magnétique produit par un inducteur (habituellement le stator). La commutation du courant dans le rotor d'un moteur à courant continu est effectuée à l'aide de balais composés de charbon et de graphite ou par commutation électronique.[4]



**Figure3.9 :** Moteur à courant continu avec balais.

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



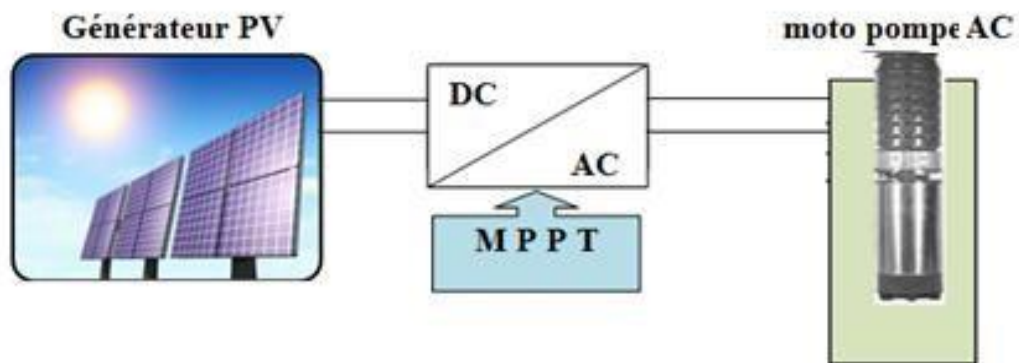


**Fig 3.10** : Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe DC.

- **Moteur à courant alternatif**

Les moteurs alternatifs asynchrones (rotor à cage) sont les plus couramment employés pour une gamme variée d'applications industrielles. Ils sont utilisés particulièrement pour le pompage immergé dans les forages et les puits ouverts.

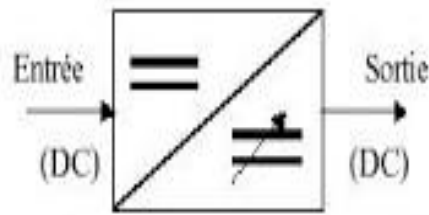
L'arrivée d'onduleurs efficaces a permis l'utilisation de ce type de moteurs dans les applications de pompage solaire.



**Fig 3.11** : Schéma synoptique simplifié du pompage PV par motopompe à AC.

### 3.2.3- Technique de commande :

Hacheur (convertisseur DC/DC) utilisé dans le cas d'une pompe montée à un moteur à courant continu.

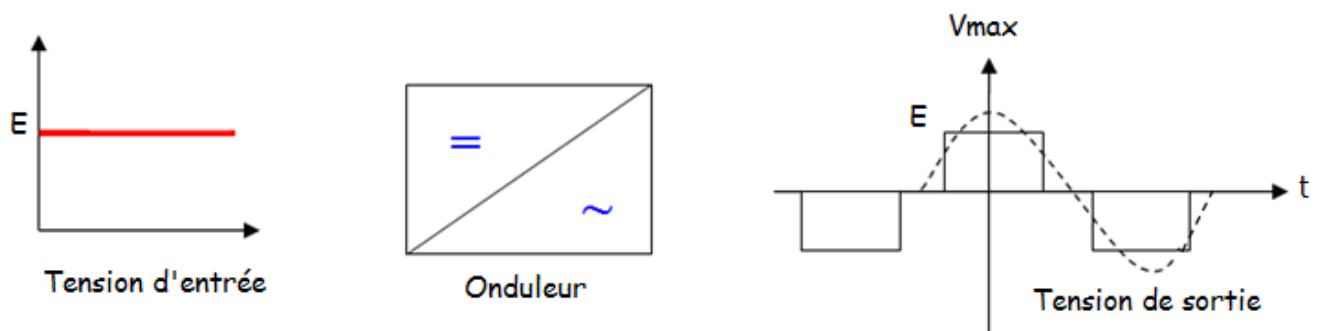


**Figure 3.12 :** Conversion DC / DC.

#### a) Onduleur (convertisseur DC/AC)

La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant continu, produit par les panneaux solaires en courant alternatif 220V ou 380V avec une fréquence bien défini.

Généralement ces Onduleurs de pompage sont équipés d'un régulateur de charge incorporé dans la même boîte. [7]



**Figure 3.13 :** Conversion DC / AC.

#### 3.2.4 stockage :

Le stockage d'énergie peut se faire de deux façons :

a) **stockage d'énergie électrique dans des batteries** : cette opération est rarement utilisée à cause de son coût très élevé aussi nécessite un entretien périodique coûteuse.



**Figure 3.14 :** Différents types de batteries.

b) **stockage d'eau dans des réservoirs** : afin de l'utiliser pendant la nuit ou dans le cas d'insuffisance d'ensoleillement. Cette opération est plus pratique puisque le coût est très basse puisque la construction de réservoir ne nécessite pas beaucoup de dépense pour le changement ou l'entretien comme le stockage d'énergie dans des batteries.



**Fig 3.15 :** réservoir de stockage d'eau

### **3.3 Dimensionnement d'un système de pompage PV autonome sans batterie**

#### **3.3.1 Etude théorique**

Cette étude permet de déterminer et de faire le choix des différents composants : pompe,

panneaux solaires, convertisseur, d'une station de pompage solaire au fil du soleil.

**a) Calcul de l'énergie électrique nécessaire par jour  $E_{elec}$**

Pour transférer à une certaine hauteur d'élévation (en m) une certaine quantité d'eau  $Q$  en (m<sup>3</sup>/jour) avec une pompe électrique de rendement  $R_{se}$  calcule ainsi:

$$E_{elec} = \frac{\text{constante hydraulique} \times \text{quantité d'eau} \times \text{hauteur d'élévation}}{\text{Rend pompe moteur}} \quad (3-1)$$

❖ **Constante hydraulique = 2,725** (Cette constante hydraulique dépend de la gravité et de la densité de l'eau)

❖ **Rendement du groupe de pompage**

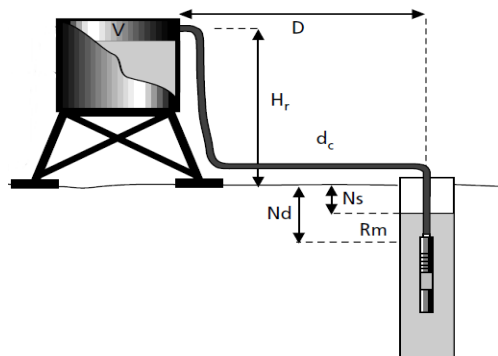
$R_{mp}$  : rendement moteur x rendement pompe Rendement moteur de 75% à 85% on prendra 80% Rendement pompe de 45% à 65% on prendra 55%

$$R_{mp} = 0.8 \times 0.55 = 0.44 \text{ soit } 44\% \quad (3-2)$$

❖ **Quantité d'eau ou besoin journalier**

Définie par l'agriculteur ou l'intéressé : en m<sup>3</sup>/jour

❖ **Hauteur d'élévation** : C'est la **HMT** totale du système (Hauteur manométrique Totale)



**Fig 3.16** : la hauteur manométrique totale

Tel que : **HMT =  $H_r + N_d + P_c$**  (en m)

**Hr** : hauteur du château d'eau(m)

**Nd** : niveau dynamique du forage(m)

**Pc** = pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites.

Ces pertes sont fonction de la longueur des conduites, de leur diamètre, du débit de la pompe et du nombre d'appareils sur la canalisation (vannes, compteur, clapet anti-retour, coudes.....). Ces renseignements se trouvent dans tous les catalogues constructeurs. Il est exprimé en mètres.

Le diamètre des conduites doit être calculé afin que ces pertes de charge correspondent au maximum à 10 % de la hauteur géométrique totale.

$$E_{\text{elect}} = \frac{2.725 \times Q \times H_{\text{mt}}}{R_{\text{mp}}} \quad (3-3)$$

#### b) Estimation de l'ensoleillement :

Selon les données de chapitre précédent on a détaillé plusieurs sites officiels de carte d'ensoleillement de la région de Biskra où on va installer notre système. Nous avons donné un ensoleillement moyen de **5 KW /m<sup>2</sup>/j**.

#### c) Calcul de la puissance crête Pcr

L'énergie fournie par les panneaux solaires en une journée doit être égale à l'énergie journalière consommée par la pompe

La puissance crête se calcule en fonction de trois facteurs :

- a- L'énergie électrique calculée selon les besoins de notre système **Eelect**
- b- Le facteur de correction **Fc = 0.6 à 0.8**
- c- L'ensoleillement moyen de site d'installation **Ens = 5**

$$P_{\text{cr}} = \frac{E_{\text{elect}}}{E_{\text{ns}} \times F_{\text{c}}} \quad (3-4)$$

### d) Détermination de tension du système

Comme on a expliqué dans le chapitre précédent la tension de système se détermine par un tableau des intervalles comme suite :

**Tab 3.1** : tension de système photovoltaïque selon la puissance crête

<b>Puissance De champ</b>	<b>0- 500w</b>	<b>500 – 2Kw</b>	<b>2Kw - 10 Kw</b>	<b>plus que 10Kw</b>
<b>Tension de système</b>	<b>12V</b>	<b>24V</b>	<b>48V</b>	<b>96V</b>

### e) Calcul de nombre de panneaux solaire

$$N_{bp} = \frac{P_{cr}}{P_p} \quad (3-5)$$

$N_{bp}$  : le nombre totale des panneaux.

$P_{cr}$  : la puissance crête de système.

$P_p$  : la puissance du panneau.

- Nombre de panneaux en série :

$$N_{bps} = \frac{V_{sys}}{V_{mp}} \quad (3-6)$$

- Nombre de panneaux en parallèle :

$$N_{bpp} = \frac{N_{bp}}{N_{bps}} \quad (3-7)$$

### f) Critères de Choix de type de pompe

❖ Pompes pour un niveau dynamique :

**$N_d < 6$  m (puits) , utilisation d'une pompe de surface**

**$N_d$  de 10 m à 100 m, utilisation d'une pompe immergée centrifuge**

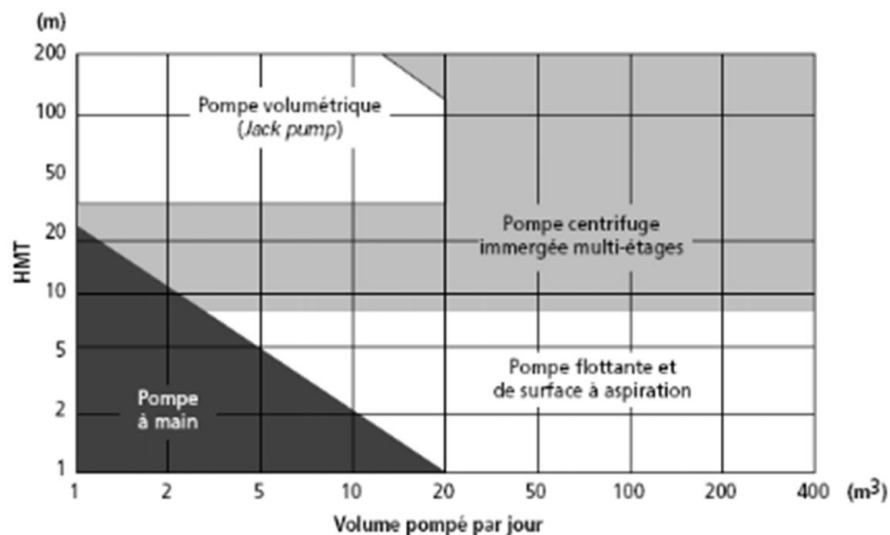
**Nd > à 100 m**, utilisation d'une pompe **immergée volumétrique**.

❖ Moteurs

**Pour les pompes de petite puissance** (petite HMT et faible débit journalier) **les moteurs** sont en **courant continu** sans balais et de faible tension ; 12V ou 24V.

**Pour les pompes de moyenne puissance** (HMT de 10 à 60 m et débit journalier moyen) **les moteurs** sont en **monophasé ou triphasé** avec un convertisseur continu/alternatif (onduleur), extérieur ou intérieur à la pompe.

Il faut vérifier sur les courbes des constructeurs que la pompe est capable de fournir **le débit voulu à la HMT** désirée.[3]



**fig 3.17** : critère de choix de pompe selon besoin journalier et Hmt

**g) choix du convertisseur**

Les critères de choix d'un onduleur pour le pompage sont généralement :

- la puissance de l'onduleur qui est égale à la puissance de pompe multipliée par 1.3 c'est-à-dire qu'on a dimensionné la pompe avant de déterminer l'onduleur puis on va chercher la gamme disponible au marché.
- la tension d'entrée qui est égale à la tension de système  $V_{sys}$ .
- la plage de tension d'entrée des panneaux.

- la tension de sortie qui égale à 220V ou 380V.
- courant d'entrée et de sortie.
- disponibilité de régulateur de charge incorpore oui.
- protection interne contre la surcharge ou le court-circuit.
- la qualité de signale : purement sinusoïdale ou carrée.
- le cout et enfin le prix.

### 3.3.2 Etude pratique :

Avant d'entamer les travaux nous étions obligés de faire une étude précise sur les caractéristiques du site. Ceci a abouti aux résultats suivants :

- Latitude :  $34.85^\circ$
- Longitude :  $5.73^\circ$
- Ensoleillement :  $5 \text{ kW/m}^2$  ;
- Angle d'inclinaison :  $36^\circ$ .
- L'altitude : 115m

Généralement, les besoins peuvent être variables suivant les modes d'irrigations (goutte à goutte, gravitaire, etc.) et les types de cultures. Les animaux aussi ont besoin de l'eau pour leur survie.

Cette ferme est de 15 hectares. Le besoin journalier sera de l'ordre de **100 m<sup>3</sup>/jour** Avec **110m** d'hauteur manométrique ( Hmt )

D'après les abaques de constructeur Belardi et nos donnés la pompe convenable a les caractéristiques suivants :





a- Calculant l'énergie électrique :

$$E_{\text{elect}} = \frac{2.725 \times Q \times H_{\text{mt}}}{R_{\text{mp}}} = \frac{2.725 \times 110 \times 100}{0.6} = 49959 \text{ Wh} \quad (3-8)$$

b- calcule de la puissance crête :

$$P_{\text{cr}} = \frac{E_{\text{elect}}}{E_{\text{ns}} \times F_{\text{c}}} = \frac{49959}{5 \times 0.6} = 16653 \text{ Wc} \quad (3-9)$$

c-calcule de tension de système :

D'après le tableau des puissances et la tension de système convenable on trouve que :

$$V_{\text{sys}} = 96\text{V} \quad (3-10)$$

d-calcule de nombre de panneaux :

$$N_{\text{bp}} = \frac{P_{\text{cr}}}{P_{\text{p}}} = \frac{16653}{315} = 53 \quad (3-11)$$

e-calcule de nombre de panneaux en série :

$$N_{\text{bps}} = \frac{V_{\text{sys}}}{V_{\text{mp}}} = \frac{96}{36.8} = 2.6 = 3 \quad (3-12)$$

Le nombre des panneaux en série = 3 alors il faut que le nombre totale des panneaux soit des multipliant de nombre 3 implique que le nombre totale corrigé égale a **60 panneaux**.  
Donc on à 20 string chacun comporte 3 panneaux.

**Nombre de panneaux corrigé = 60 panneaux**

f-calcule de nombre de panneaux en parallèle

$$Nb_{pp} = \frac{N_{bp}}{N_{bps}} = \frac{60}{3} = 20 \quad (3-13)$$

installation, pour des panneaux photovoltaïques polycristallin de marque SUNTECH STP315-24/Vem de 315 Wc (Figure 3- ). Ces panneaux sont caractérisés par une puissance de 315 WC, une tension à la puissance maximale de 36,8 V, un courant à la puissance maximale de 8,56 A et une efficacité de 16,2%.



**fig 3-19:** panneaux PV poly-cristallin Suntech STP315-24/ Vem 315Wc

Voir l'annexe B

#### g- calcul de puissance d'onduleur

$$P_{ond} = P_{pompe} \times 1.3 = 5500 \times 1.3 = 7150 \text{ W} \quad (3-14)$$

On doit trouver la puissance la plus proche de cette valeur dans la gamme disponible au marché

Onduleur :

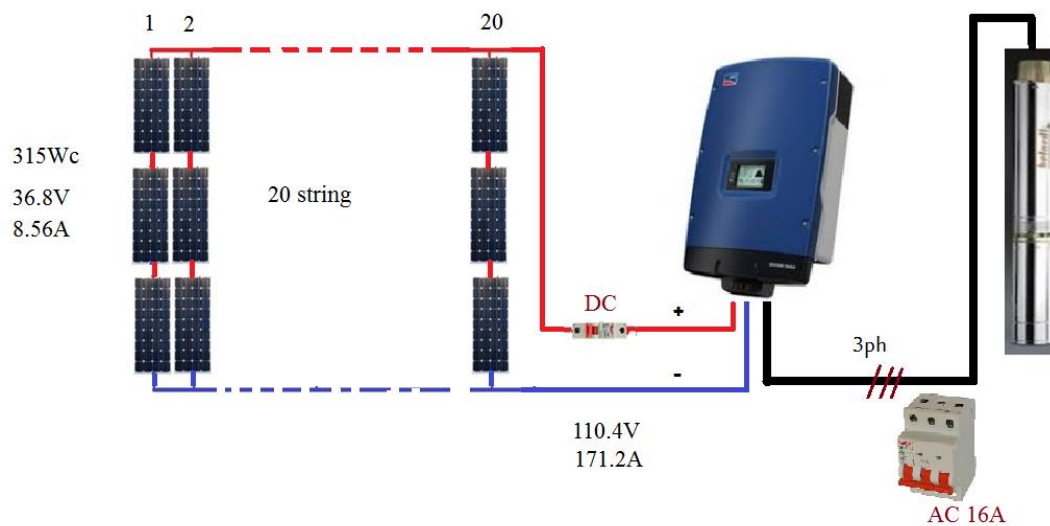
$$P_{ond} = 7\text{Kw} \quad V_s = 380\text{V} \quad V_{sys}=96\text{V} \quad V_{entre} = 1000\text{V}$$



**fig 3.20:** Onduleur SMA 7kW Triphasé Sunny Tripower 7000TL

Voir l'annexe C

**h- Schéma de notre système après dimensionnement :**



**fig 3.21 :** éléments de Système de pompage PV après dimensionnement cas réel

**i- calcule de section du câble :**

- **Coté panneaux – onduleur ( DC )**

D'après les abaques qu'on a utilisés dans le chapitre 2 et selon la longueur de câble entre les panneaux et l'onduleur :

Nous avons  $L = 20\text{m}$   $I = 171.2\text{A}$   $V = 110\text{V}$

Alors : la section théorique  $St = 26.4\text{mm}^2$  a  $20^\circ\text{c}$

La section pratique qui correspond a la gamme disponible au marché c'est bien que :

$$S_p = 35\text{mm}^2$$

- Coté onduleur – pompe ( AC )

D'après les abaques qu'on a utilisés dans le chapitre 2 et selon la longueur de câble entre les panneaux et l'onduleur :

Nous avons  $L = (15\text{m} + 110\text{m})$   $I = 16\text{A}$   $V = 380\text{V}$

Alors : la section théorique  $S_t = 10\text{ mm}^2$  a  $20^\circ\text{c}$

La section pratique qui correspond a la gamme disponible au marché c'est bien que :

$$S_p = 16\text{ mm}^2$$

### 3.3.3 Etude technico-économique

On va essayer d'estimer le devis de ce système de pompage PV pour avoir une idée générale de coût de ces systèmes dans notre pays et quels sont les avantages et les inconvénients.

**Tab 3.3** : devis estimatif d'un système de pompage PV .

N°	désignation	p.u (DA)	nb	montant (DA)
1	onduleur + régulateur	327000,00	1	327000 ,00
2	panneaux	40000,00	60	240000,00
3	Cables et accessoires	230000,00	1	230000,00
4	Pompe immergée	200000,00	1	200000,00
5	installation	75000,00	1	75000,00
<b>totale</b>				<b>3232000,00</b>

La suspension de l'état = 45% alors le cout devient :

$$3232000,00 \times 45 / 100 = 1454400,00\text{ DA}$$

**Alors le cout devient : 1777600,00 DA**

### 3.3.4 Comparaison techno-économiques

**Tab 3.4** Devis estimatif quantitatif d'un kilomètre de moyenne tension

Désignation de l'ouvrage	Unité	Fourniture	Mise en œuvre	Cout (DA)
Support 106 BS G 66 pression de terre 30000	UN	7	7	629 981.95
Armement nappe – voute et armements ancrage	KN	275	275	47 381.95
1* chaine à 4 éléments	UN	18	18	126 207.72
1* chaine à 4 éléments	UN	23	23	120 132.07
Mise à la terre des supports support avec piquet	UN	0	8	20 631.3
Support 106 BS G 88 pression de terre 30000	UN	2	2	321 129.69
			Sous Total : 1 265 464.68	

Désignation de l'ouvrage	Unité	Fourniture	Mise en œuvre	Cout (DA)
Neutre BT	UN	0	1	3 0051.34
Capucnon de 12.2mm <sup>2</sup>	UN	6	0	1 0257.57
Accessoires Ancrage 35-70mm <sup>2</sup>	UN	2	0	1 250.63
Câble Torsadé 3*70 + 1*54 + 2*16mm <sup>2</sup>	ML	20	20	1 3389.24
			Sous Total : 18 948.78	

Désignation de l'ouvrage	Unité	Fourniture	Mise en œuvre	Cout (DA)
Mise à la terre des supports Parafoudre des éclats	UN	0	1	3 051.34
CONDUCTEUR ALMELEC 34.4 $mm^2$	KN	0.099	0.099	9 772.47
1* chaîne à 4 éléments	UN	3	3	21 034.62
IACM de ligne 36kV 25A	UN	1	1	232 638.56
Armement nappe-voute et armements ancrage	KG	155	155	26 0706.19
Mise à la terre des supports interrupteur/section	UN	0	1	3 573.79
Support 106 BS G 88 pression de terre 30000	UN	1	1	160 564.84
Mise à la terre des supports support avec piquet	UN	0	2	5 157.82
Sous Total :				462 499.63

Désignation de l'ouvrage	Unité	Fourniture	Mise en œuvre	Cout (DA)
Support pour Post Aérien 106 BS G 88	UN	1	1	204 999.29
Armement pour Poste Aérien	KG	122	122	31 869.57
Eclateurs à cornes pour Poste Aérien 175	UN	3	3	53 152.24
Poste à Transformateur 100-30				
Plateforme de manœuvre pour Poste Aérien	UN	1	1	522 491.95
Cosses de serrage concentrique pour Poste Aérien	UN	1	1	13 505.94
Cosses de serrage concentrique pour Poste Aérien 1 $mm^2$ déporté	UN	7	7	177.78
Sous Total :				826 196.77

La somme totale devis Sonalgaz hors taxe est égale à **2 573 109,86 DA**

## Conclusion

Dans ce chapitre on a abordé

- ✓ Les composants d'un système de pompage PV ainsi que les types de pompes solaires et leurs caractéristiques
- ✓ Les types de convertisseurs utilisés pour alimenter les pompes solaires soit en DC ou en AC
- ✓ comment dimensionner un système de pompage PV avec tous ces composants de point de vue quantité ou qualité
- ✓ Le coût de l'installation du pompage en PV est très chère par rapport à celui de l'électricité conventionnel.
- ✓ Estimation de coût d'installation pour avoir une idée générale avec la subvention de l'état on peut dire que le coût peut diminuer au minimum



## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

L'énergie solaire mérite plus que trois chapitres qu'on a traités concernant les différents systèmes photovoltaïques, mais on a essayé au maximum et à travers ces trois derniers de comprendre pas males de notions très important.

**Dans le chapitre 01 :** On a bien compris la conception générale du différent système photovoltaïque ainsi que les éléments nécessaires pour chaque système sans oublier les techniques et les conditions de raccordement entre ses éléments.

**Dans le chapitre 02 :** On a pris comment dimensionner un système photovoltaïque autonome avec batteries pour alimenter une habitation selon une région et un cahier de charge bien définie.

On a développé la procédure de dimensionnement on utilisant l'outil Excel pour facilite les calcules. Et possibilité de modifier tous les paramètres a n'importe quel moment.

On a donné un exemple réel (cahier de charge reel) d'une habitation situé a Ain naga wilaya de Biskra ou on a dimensionné son système PV et faire une comparaison entre un système purement solaire et un autre hybride .et on a conclut que le système hybride mieux que l'autre puisqu'on a économisé plus 20 millions a cause de cout des batteries

**Dans le chapitre 03 :** On a bien compris les systemes de pompage photovoltaïques ainsi que le principe de fonctionnement de ses éléments comme :

- les types de pompes solaires et ses critères de choix
- les types des moteurs utilisés pour ces pompes
- les types de convertisseurs utilisés dans les pompes DC ou AC
- les critères de choix et la protection de chaque élément constituant les différents systèmes de pompage photovoltaïques.

En fin on peut dire et avec fierté qu'on a pris et compris beaucoup de notions concernant les différents systèmes photovoltaïque avec ou sans batteries ainsi que le dimensionnements de ces éléments constitués sans oublier la protection nécessaires en DC ou AC.

## Bibliographies.

[1] Site Web: [WWW.europa-batteries.com](http://WWW.europa-batteries.com).

Société d'Europa - batteries. Consulté le 12/04/2018.

[2] Site Web : [WWW.portail.cder.dz](http://WWW.portail.cder.dz) Le centre de développement des énergies renouvelables (CDER). Consulté le 20/03/2018.

[3] Degla M. et Ben Ahmed B., « Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque », mémoire de fin d'étude, maîtrise, Université de Wargla, juin 2017.

[4] VILLOZ, M., 2013. Installations photovoltaïque autonomes. Guide pour le dimensionnement et la réalisation, livre édité par PACER.

[5] Boukhers D., « Optimisation d'un système d'énergies photovoltaïque application au pompage » mémoire de maîtrise, université de Constantine, juin 2006.

[6] [www.Africarriatenergie.com](http://www.Africarriatenergie.com) /conception et réalisation d'une installation de pompage solaire au fil de soleil. Consulté le 11/02/2018.

[7] Djenidi K., « Etude d'un système photovoltaïque autonome », mémoire de fin d'étude, Master, Université de Biskra, juin 2013.

[8] [WWW.belardi.it](http://WWW.belardi.it)