

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJE-BOUIRA**



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département de Génie Mécanique

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté par :

**Zedam Fateh**

**Hamdi Zoheir**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02** en :

Filière : **GENIE MECANIQUE**

Option : **énergétique**

**Thème :**

**Dimensionnement d'une installation photovoltaïque d'une ferme**

**Devant le jury composé de :**

Nom et prénom	Grade	UAMOB	Président
Bouragbi lakhdar	Grade	UAMOB	Encadreur
Nom et prénom	Grade	UAMOB	Examineur
Nom et prénom	Grade	UAMOB	Examineur

**Année Universitaire 2020/2021**

## **REMERCIEMENTS**

*En premier lieu, je tiens à remercier le bon DIEU, de m'avoir donné le courage et la patience pour mener à bien ce Travail pendant toute cette longue année, je remercie également mes parents et toute ma famille pour tout ce qu'ils ont fait pour moi, mes vifs remerciements s'adressent à mon promoteur **L. BOURAGBI** pour son aide, ses conseils, sa disponibilité durant toute la période de ce projet de fin D'études.*

*J'ai à cœur également de remercier tous ceux*

*Qui m'ont aidé au sein de la centrale photovoltaïque de **CONDOR BORDJ BOURIRIDJ**. Je remercie également les membres du jury Qui ont accepté d'examiner et d'estimer ce travail.*

*En fin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de Ce travail.*

## **Dédicace**

*On dédie ce modeste travail à :*

*Nos parents, qui étaient toujours là pour nous dès le premier jour grâce à eux qu'on a fait le courage d'atteindre cette réussite. Que Dieu les protège*

*A toutes nos familles*

*A tous nos amis et nos collègues qui étaient avec nous dans ce parcours académique.*

## Table des matières

Introduction général.....	2
---------------------------	---

### Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

1 Introduction .....	4
2 Historique .....	4
3 Energies renouvelables.....	4
3.1 Energie hydraulique .....	4
3.2 Energie éolienne .....	5
3.3 La Géothermie .....	5
3.4 Les bioénergies.....	5
3.5 Energie solaire.....	5
3.5.1 L'énergie hydraulique .....	5
3.5.2 L'énergie marémotrice .....	6
3.5.3 L'énergie éolienne.....	6
4 Rayonnement solaire .....	8
4.1 Le rayonnement direct.....	9
4.2 Le rayonnement diffus.....	9
4.3 Le rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol.....	9
4.4 Le rayonnement global.....	9
5 Poursuite du soleil et Orientation et inclinaison des panneaux .....	10
5.1 Mâts pivotants .....	11
5.2 Orientation variable selon les saisons .....	12
6 Ombrage ou repérage des masques .....	13
7 Photovoltaïque Pv.....	13
7.1 Solaire photovoltaïque.....	13
7.2 L'effet photovoltaïque.....	14
7.3 Cellule photovoltaïque .....	14
7.4 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque .....	15
7.5 Les filières technologiques .....	17

7.5.1	Le silicium.....	17
7.5.2	Les cellules à base de silicium monocristallin .....	17
7.5.3	Les cellules a base de silicium multi cristallin (Poly cristallin).....	18
7.5.4	Les cellules à base de silicium amorphe .....	18
7.5.5	Les cellules base organiques et plastiques .....	19
7.6	Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque .....	21
7.6.1	caractéristique puissance-tension .....	21
7.6.2	Effet de la température sur une cellule photovoltaïque .....	23
7.7	Composants d'une installation photovoltaïque .....	25
7.7.1	Batteries.....	25
7.7.2	Le régulateur de charge .....	30
7.7.3	L'onduleur.....	32
7.7.4	Boite de jonction en électricité.....	35
7.7.5	Le câblage .....	36
8	Conclusion.....	38

## **CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque**

1	Intoduction.....	40
2	Choix des méthodes de dimensionnement .....	40
2.1	La méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation .....	40
2.2	La méthode de la moyenne annuelle .....	40
2.3	La méthode du mois le plus défavorable.....	41
3	Les méthodes de dimensionnement des panneaux photovoltaïques .....	41
4	Les étapes à suivre afin de réaliser une installation photovoltaïque .....	41
4.1	Etape I estimation la consommation d'électricité .....	41
4.2	Etape II Energie solaire récupérable .....	42
4.2.1	Données météorologiques .....	43
4.3	Etape III Dimensionner le générateur .....	43
4.3.1	Puissance crête d'un générateur photovoltaïque .....	43
4.3.2	Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser .....	45
4.4	Etape IV dimensionnement du parc de batteries .....	46
4.5	Etape V dimensionnement du régulateur de charge.....	47
4.6	Etape VI Dimensionnement de l'onduleur.....	47

4.7 Etape VII Le dimensionnement des câbles électriques solaires.....	48
5 Application du dimensionnement du système PV sur une ferme cas réel.....	48
5.1 Description de la ferme .....	48
5.2 Objectif de l'étude .....	48
5.3 Présentation architecturale de l'habitation de la ferme étudiée.....	49
5.4 Matériels et méthodes.....	49
5.5 Etape I Consommation énergétique .....	50
5.5.1 Liste des appareils électriques.....	50
5.5.2 Cahier de charge pour les appareils qui fonction en courant continu:.....	51
5.5.3 Cahier de charge pour les appareils qui fonction en courant alternatif:.....	51
5.5.4 Puissance crête de installation fonctionnant en courant continu.....	52
5.5.5 La puissance crête de l'installation fonctionnant en courant alternatif.....	52
5.6 Etape II Energie solaire récupérable .....	53
5.6.1 Localisation du site: .....	53
5.6.2 Données météorologiques .....	53
5.6.3 Positionnement des modules: .....	53
5.6.4 Application d'orientation et inclinaison des panneaux PV .....	54
5.7 Etape III Dimensionnement du générateur photovoltaïque.....	55
5.7.1 Nombre de panneaux utilisé dans l'installation .....	56
5.7.2 Caractéristique mécanique: .....	58
5.8 Etape IV: Choix parc des batteries .....	58
5.8.1 Pour installation courant continu: .....	58
5.8.2 pour l'installation en courant alternative:.....	60
5.9 Etape VI: Choix du régulateur de charge .....	61
5.9.1 Le régulateur de charge pour l'installation de 48 V.....	61
5.9.2 La régulation de charge pour l'installation de 24 V.....	62
5.9.3 Type de régulateur utiliser dans les deux systèmes : .....	62
5.10 Etape VII: Choix de l'onduleur .....	63
5.11 Etape VII: choix des câbles .....	64
5.11.1 Calcul de la section du câble à utiliser Pour l'installation en courant continu...	64
5.11.2 Calcul de la section du câble à utiliser Pour l'installation en courant alternatif	65
6 Remarque.....	67
7 Les résultats du dimensionnement pour les deux systèmes : .....	69
8 Installation d'un pompage solaire .....	70

8.1 Principes généraux du pompage solaire .....	70
8.2 Dimensionnement du système de pompage .....	71
8.2.1 Débit .....	71
8.2.2 Hauteur manométrique totale .....	71
8.3 Les étapes de dimensionnement: .....	73
8.3.1 Estimation des besoins en eau .....	73
8.3.2 Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire .....	73
8.3.3 Calcul de l'énergie électrique.....	73
8.3.4 Détermination de l'énergie solaire disponible.....	74
8.3.5 Mois de dimensionnement .....	74
8.3.6 Dimensionnement du générateur photovoltaïque.....	74
8.3.7 Dimensionnement de la pompe .....	74
8.4 Application: Dimensionnement du système de pompage de la ferme .....	75
<input type="checkbox"/> Estimation des besoins en eau .....	75
<input type="checkbox"/> Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire .....	76
<input type="checkbox"/> Calcul de l'énergie électrique .....	76
<input type="checkbox"/> Calcul la puissance nominale de la pompe .....	76
8.5 Les paramètres et matériel choisi pour le système de pompage.....	79
8.6 Conclusion.....	79

### **Chapitre III Etude technico-économique du système étudié**

1 Introduction .....	81
2 Étude technico-économique des systèmes PV .....	81
3 Etude de la rentabilité du projet .....	83
3.1 Les sommes économisées pendant 20 ans.....	83
3.2 La durée d'amortissement de l'installation .....	83
3.3 Le prix facture sonelgaz: .....	83
4 Le prix du kilowattheure solaire produit .....	84
5 Discussion et analyse des résultats du l'installation dimensionnée .....	84
6 Installation et maintenance .....	84
6.1 Installation mécanique et électrique .....	85
6.2 Maintenance .....	85
6.2.1 Modules .....	85
6.2.2 Batteries .....	85

6.2.3	Régulateurs.....	86
6.3	Recommendations- perspectives .....	86
7	Conclusion.....	87

## Liste de figures

<b>Figure 1 :</b> Répartition spectrale énergétique. ....	8
<b>Figure 2:</b> Types de rayonnement solaire reçus au sol. ....	10
<b>Figure 3:</b> Panneau monte sur un mât pivotant. ....	11
<b>Figure 4:</b> réglage de l'inclinaison d'un panneau sur châssis fixe.....	12
<b>Figure 5:</b> Excitation des électrons de valence par les photons et la jonction (P-N).....	14
<b>Figure 6:</b> Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque. ....	15
<b>Figure 7:</b> fonctionnement d'une cellule photovoltaïque .....	16
<b>Figure 8:</b> Les cellules à base de silicium monocristallin.....	17
<b>Figure 9:</b> Photos de cellule multi cristalline.....	18
<b>Figure 10 :</b> panneau solaire en silicium amorphe.....	19
<b>Figure 11:</b> Cellule PV organique.....	19
<b>Figure 12:</b> Caractéristique électrique d'une cellule photovoltaïque.....	21
<b>Figure 13:</b> Caractéristique courant tension et puissance tension.....	22
<b>Figure 14:</b> Evolution de la caractéristique I (V) (a) et P(V) (b) en fonction de l'irradiation. .	23
<b>Figure 15:</b> Evolution de la caractéristique I(V) (a) et P(V) (b) pour différentes températures .....	24
<b>Figure 16 :</b> Les différents composants d'une installation photovoltaïque.....	25
<b>Figure 17:</b> Batterie ouverte au plomb.....	26
<b>Figure 18:</b> Accumulateurs NiMH et Li-ion.....	27
<b>Figure 19:</b> Une batterie monobloc.....	27
<b>Figure 20:</b> Association de deux batteries en série / en parallèle .....	29
<b>Figure 21:</b> Régulateur en série.....	31
<b>Figure 22 :</b> Régulateur de charge MPPT.....	32
<b>Figure 23:</b> Onduleur photovoltaïque. ....	32
<b>Figure 24:</b> Les différents types de courants. ....	34
<b>Figure 25 :</b> Température de fonctionnement d'un onduleur. ....	35
<b>Figure 26 :</b> Vue intérieure d'un onduleur.....	35
<b>Figure 27:</b> Boite de jonction.....	36
<b>Figure 28:</b> Les câbles solaire.....	37
<b>Figure 30:</b> Définition des angles pour un plan incliné : inclinaison $\beta$ , azimuth $\chi$ et l'angle d'incidence $\theta$ .....	42
<b>Figure 31 :</b> Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçu sur une surface horizontal période 199-2002 (source : Atlas solaire algérien CDER).....	45
<b>Figure 32:</b> Batterie solaire .....	47
<b>Figure 29 :</b> Plan architectural de la ferme. ....	49
<b>Figure 33:</b> Le système de support simples orientée vers le sud .....	54
<b>Figure 34:</b> La batterie solaire GEL à utiliser pour les deux installations. (CONDOR) .....	59
<b>Figure 35:</b> Type de régulateurs de charge à utiliser pour installation DC (CONDOR) .....	62

<b>Figure 36:</b> Type de régulateurs de charge à utiliser pour installation AC .....	63
<b>Figure 37:</b> Onduleur a utilisé pour l'installation en courant alternatif (CONDOR) .....	64
<b>Figure 38 :</b> Quelque câble utiliser pour les deux systèmes (CONDOR).....	67
<b>Figure 39 :</b> Les connecteurs MC4 simples pour panneau solaire.....	68
<b>Figure 40:</b> Boite de jonction utiliser pour les deux systèmes.....	68
<b>Figure 41:</b> Pompage de l'eau au fil du soleil.....	70
<b>Figure 42:</b> Système à entrainement direct système .....	71
<b>Figure 43 :</b> Définition des différents paramètres.....	72
<b>Figure 44:</b> Pompe solaire LORENTZ immergée <b>C-SJ8-7 avec contrôleur</b> .....	77

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b> Valeurs énergétiques des photons issus du spectre solaire. ....	8
<b>Tableau 2:</b> Exemple de réglages d'angle de panneau solaire fixe d'une installation située à 45° de l'altitude nord.....	12
<b>Tableau 3:</b> Estimation de l'inclinaison des panneaux en fonction de la latitude .....	13
<b>Tableau 4:</b> Comparatif des différentes technologies cellules .....	20
Avant on a décrit les modules PV qui est un composant essentiel dans l'installation Tableau 4 . maintenant en s'intéresse sur la description de reste des composants. ....	25
<b>Tableau 5:</b> Estimation mensuelle de l'irradiation .....	44
<b>Tableau 6 :</b> Les appareils électriques utiliser dans la ferme .....	50
<b>Tableau 7:</b> Charges fonctionnant en courant continu .....	51
<b>Tableau 8:</b> Charges fonctionnant en courant alternative.....	51
<b>Tableau 9:</b> Tension du champ en fonction de sa puissance crête .....	52
<b>Tableau 10:</b> Tensions des différentes installations .....	52
<b>Tableau 11:</b> Localisation du site. ....	53
<b>Tableau 12:</b> Caractéristique électrique des panneaux solaire monocristalline 60 cellules choisis.....	55
<b>Tableau 13:</b> Caractéristique mécanique des panneaux solaire choisis.....	58
<b>Tableau 14:</b> Type de régulateur utiliser .....	62
<b>Tableau 15:</b> Variation de la section du câble en fonction de l'intensité du couran .....	66
<b>Tableau 16:</b> Caractéristique techniques des équipements utiliser dans l'installation(AC , DC) .....	69
<b>Tableau 17:</b> Estimation de besoin en eau par jour .....	75
<b>Tableau 18:</b> Différents types des pompes .....	77
<b>Tableau 19:</b> Matériels utiliser dans le système de pompage.....	79
<b>Tableau 20:</b> Etude technico économique du système PV alimentant les leds .....	81
<b>Tableau 21 :</b> Etude technico économique du système PV alimentant le système AC.....	82
<b>Tableau 22 :</b> Etude technico économique du système PV alimentant une pompe solaire .....	82
<b>Tableau 23:</b> Avantages et inconvénients du système PV.....	86

## Nomenclature

Les principales notations et abréviations utilisées dans ce mémoire sont explicitées ci-dessous, sous leur forme la plus couramment employée dans le domaine du génie électrique.

<b>Symboles</b>	<b>Désignations</b>	<b>Unités</b>
C	Capacité de la batterie	Ah
Cch	Capacité totale du champ photovoltaïque	Ah
D	Décharge maximale	%
E	Flux de rayonnement solaire	W.m-2
E0	Constante solaire	W.m-2
Et	Consommation journalière	Wh/jour
FF	Facteur de forme	/
H	Hauteur de soleil	Degré
I	Le courant aux bornes de la cellule PV	A
Icc	Le courant de court-circuit	A
IMPP	Courant de puissance maximale	A
Imod	Le courant aux bornes du module PV	A
Ie	Courant d'entrée	A
IS	Courant de sortie	A
J	Numéro de jour de l'année	/
K	Coefficient correcteur	/
L	Longitude	Degré
Ns	Nombre de modules PV connectés en séries	/
NP	Nombre de modules PV connectés en parallèles	/
Pcu	Puissance crête unitaire d'un module photovoltaïque	W
Pch	Puissance crête du champ photovoltaïque	W
Ppv	La puissance disponible en sortie du GPV	W
Pr	Puissance réactive	VAR

S	section du câble	mm <sup>2</sup>
SS	Durée d'insolation	h
SS0	Durée d'insolation maximale	h
t	Temps d'utilisation	h
TSV	Temps solaire vrai	h
U	la tension aux bornes de la cellule PV	V
U <sub>mod</sub>	La tension aux bornes du module PV	V
U <sub>co</sub>	La tension du circuit ouvert	V
UMPP	Tension de puissance maximale	V
V <sub>ch</sub>	Tension du champ photovoltaïque	V
V <sub>m</sub>	Tension délivrée par un seul module photovoltaïque	V
$\rho$	Résistivité	$\Omega.m$
L	Longueur du câble	m
$\alpha$	Azimut de soleil	Degré
$\varphi$	Latitude	Degré
$\beta$	Inclinaison	Degré
$\delta$	Déclinaison	Degré
$\omega$	Angle horaire	Degré
$\sigma$	Fraction d'insolation	/

### **Abréviations :**

**PV** : Photovoltaïque

**Si** : Silicium

**GPV** : Générateur Photovoltaïque

**PPM** : Point de Puissance Maximum

**FF** : Facteur de Forme

**MPPT** : Maximum Power Point Tracker

**CC** : Courant Continu

**CA** : Courant Alternatif

# Dimensionnement d'une installation photovoltaïque d'une ferme

## Résumé

Ce travail concerne l'étude et le dimensionnement d'une installation solaire photovoltaïque d'une ferme agricole située à ZEMOURA à la wilaya de BOURDJ BOU ARIRIDJ., équipée de batteries d'accumulateurs. L'équipement comprenant l'éclairage des différents locaux de la ferme, un système de stockage de l'énergie fournit par les panneaux solaires et une installation de pompage de l'eau. Les techniques d'éclairage, de stockage et de pompage sont présentées et une méthodologie de dimensionnement est détaillée pour chacun des constituants du système. Enfin on a consacré à l'étude économique détaillée entre les différents composants de l'installation PV. Ainsi, nous avons estimé le prix de revient total des composantes de la mini centrale photovoltaïque à installer.

## Sizing of a photovoltaic installation of a farm

### Abstract

This work concerns the study and sizing of an photovoltaic solar installation of an agricultural farm located in ZEMOURA in BOURDJ BOU ARIRIDJ, equipped of accumulator batteries. The equipment including the lighting of the different local of the farm, a system of storage of the energy provides by the solar panels and an installation of water pumping. techniques of lighting, storage are presented and a sizing methodology is retained for each of the constituent of the system. Finally, we devoted to the detailed economic study between the different components of the PV installation, then we estimated the total cost price of the components of this installation.

## تَحجيم منشأة كهروضوئية في مزرعة

### الملخص

يتعلق هذا العمل بدراسة وتحديد حجم تركيبات الطاقة الشمسية الكهروضوئية لمزرعة زراعية تقع في الزمورة بولاية برج بوعريريج، مجهزة ببطاريات مرگبة. تشمل المعدات إضاءة المباني المختلفة للمزرعة، ونظام تخزين الطاقة الذي توفره الألواح الشمسية وتركيب ضخ المياه. يتم تقديم تقنيات الإضاءة والتخزين والضخ، كما يتم تفصيل منهجية التحجيم لكل مكون من مكونات النظام. أخيرًا، خصصنا الدراسة الاقتصادية التفصيلية بين المكونات المختلفة لتركيب الطاقة الكهروضوئية، وبالتالي قمنا بتقدير سعر التكلفة الإجمالية لمكونات محطة الطاقة الكهروضوئية المصغرة التي سيتم تركيبها.

# **Introduction générale**

---

## Introduction générale

---

### Introduction générale

Les habitants de la planète sont de plus en plus confrontés à des problèmes énergétiques et environnementaux largement reconnus à travers le monde, dont la raréfaction des ressources primaires d'énergies et le réchauffement de la planète par effet de serre.

La réponse à ces deux problèmes est un véritable défi qui nécessite d'agir en parallèle sur le développement des sources d'énergie renouvelables, ainsi qu'une consommation modérée des ressources énergétiques.

L'électricité photovoltaïque représente une énergie inépuisable puisqu'elle est directement générée à partir du soleil. Son développement est une réponse nécessaire aux questions énergétiques actuelles. Par contre, elle est limitée par son coût élevé et son rendement relativement faible. Réduire les coûts et augmenter les performances, est l'objectif principal pour rendre le solaire photovoltaïque compétitif.

Les cellules solaires photovoltaïques sont des dispositifs électroniques capables de faire la conversion de l'énergie lumineuse en un courant électrique.

Le principe de ces cellules est de forcer les électrons et les trous du matériau semi-conducteurs les constituants, à se diriger chacun vers une face opposée du dispositif au lieu de se recombiner simplement en volume. Ainsi, il apparaîtra une tension entre les deux faces, de la cellule comme une pile. Pour cela, on s'arrange à créer un champ électrique permanent au moyen d'une jonction p-n entre deux couches du semi-conducteur dopées respectivement p et n.

Suite à une excitation lumineuse, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite du semi-conducteur communiquent leur énergie aux atomes et une différence de potentiel est créée. L'effet photovoltaïque est basé donc, sur une bonne absorption de photons et une conversion très performante de l'énergie absorbée en charges électriques.

Dans cette manuscrite on va savoir plus profondément sur l'énergie solaire et le système photovoltaïque en premier chapitre , en deuxième chapitre on va étudier un cas réel et on va dimensionner son installation photovoltaïque à ZEMMOURA. En troisième chapitre on va faire une étude technico-économique sur le cas étudié

On a étudié ce cas attentivement , et on suggérer tous les perspectives .

**Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque**

## 1 Introduction

Les énergies renouvelables (EnR) sont produites à partir de ressources naturelles constamment renouvelées à l'échelle temporelle humaine. De même qu'il existe de nombreuses sources d'énergie naturelles, une multitude de technologies permettent de tirer parti de ces sources d'énergie renouvelable. Le solaire photovoltaïque (PV) est la plus connue, l'éolien est la plus répandue, et l'hydroélectrique est l'une des plus anciennes. Les technologies EnR exploitent l'énergie géothermique, les déchets solides ou l'énergie marémotrice pour produire de la chaleur ou de l'électricité. [1]

## 2 Historique

C'est le savant français E. Becquerel qui fit la première observation d'un photo-courant, dès 1839, avec une électrode en platine et l'autre en cuivre oxydé, plongées dans une solution conductrice acide. Et en 1877 les propriétés semi-conductrices furent mises en évidence, par WG Adams et RE Day, sur le sélénium.

Mais il a fallu attendre le vingtième siècle pour avoir des résultats importants, grâce à l'interprétation théorique de l'effet photo-électrique par Einstein en 1905, mais les véritables applications pratiques n'ont été réalisées que vers le milieu du siècle en 1941, par la mise au point de la première jonction p-n dans le silicium, puis l'obtention d'une Cellule à bon rendement (construite par les chercheurs de la Bell Téléphone Laboratoires en 1955) ainsi que les fameux transistors. [2]

## 3 Energies renouvelables

On désigne aujourd'hui par énergies renouvelables un ensemble de filières diversifiées dont la mise en œuvre n'entraîne en aucune façon l'extinction de la ressource initiale et est renouvelable sur l'échelle humaine, parmi ces énergies on distingue :

### 3.1 Energie hydraulique

Hydro, mot grec signifiant "eau", s'applique aux cours d'eau et aux océans. La force de l'eau en mouvement représente une source d'énergie considérable, utilisée depuis 2000 ans par l'homme. En premier temps, l'exploitation de cette source d'énergie s'appliquait uniquement à des utilisations mécaniques (moulin, métallurgie, ...). Depuis le XIXe siècle, l'énergie

---

## Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

---

hydraulique est principalement utilisée pour produire de l'électricité. C'est ce que l'on appelle l'hydroélectricité. Le fonctionnement de cette énergie se fait à travers l'eau, qui est accumulée dans les barrages ou dérivée par les prises d'eau, apporte une énergie qui permet d'actionner la roue d'une turbine. Cette turbine entraîne une génératrice qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.

### 3.2 Énergie éolienne

L'énergie éolienne est sans conteste la plus ancienne énergie que l'Homme a su exploiter, pour moulin le blé (moulins) ou naviguer à la voile. Une éolienne permet de valoriser l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique et électrique, dans des lieux suffisamment ventés.

### 3.3 La Géothermie

A mesure que l'on s'enfonce sous terre, la température augmente (de l'ordre de 3°C par 100m). Cette augmentation de la température avec la profondeur témoigne de la présence d'une quantité de chaleur considérable dans le sous-sol et dont l'origine provient pour l'essentiel de la radioactivité naturelle des roches constitutives de la croûte terrestre. La Géothermie peut se définir simplement comme l'exploitation commerciale de cette chaleur stockée dans le sous-sol.

### 3.4 Les bioénergies

Les végétaux ainsi que les matières organiques d'origine animale constituent la biomasse. L'énergie produite à partir de la biomasse est appelée bioénergie. [3]

### 3.5 Énergie solaire

L'énergie solaire est la fraction de l'énergie électromagnétique provenant du soleil, traversant l'atmosphère qui en absorbe une partie, et parvenant à la surface de la Terre. Sur Terre, l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau, du vent et de la photosynthèse réalisée par le règne végétal, dont dépend le règne animal via les chaînes alimentaires. Le Soleil est à l'origine de la plupart des énergies sur Terre, à l'exception de l'énergie nucléaire et de la géothermie profonde. [4]

Les sources d'énergie issues indirectement de l'énergie solaire sont notamment :

#### 3.5.1 L'énergie hydraulique

dérivée de l'énergie cinétique de l'eau dont le cycle dépend du Soleil

---

## Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

---

### 3.5.2 L'énergie marémotrice

Issue principalement de l'effet des forces de gravitation de la Lune et plus faiblement de celle du Soleil ;

### 3.5.3 L'énergie éolienne

provenant de l'énergie cinétique du vent lié à l'échauffement et à l'évaporation de l'eau, générés par le Soleil, la rotation de la Terre et l'effet Coriolis ; l'énergie hydrolienne et l'énergie des vagues, liées aux mouvements des océans et des cours d'eau ; le bois énergie et l'énergie de la biomasse ainsi que la géothermie de très basse température, provenant des couches superficielles du sol réchauffé par le Soleil. On peut ajouter les énergies fossiles, provenant de matières organiques créées par photosynthèse (charbon, pétrole, gaz naturel...) auxquelles s'ajoute l'énergie biochimique de la matière organique vivante [5].

L'énergie solaire vient de la fusion nucléaire qui se produit au centre du Soleil. Elle se propage dans le Système solaire et dans l'Univers essentiellement sous la forme d'un rayonnement électromagnétique dont la lumière n'est que la partie visible. L'énergie solaire reçue en un point du globe dépend de :

- L'énergie électromagnétique (lumière visible, infrarouge, ultraviolet et autres rayonnements) émise par le Soleil et arrivant sur Terre (avec des fluctuations décennales, saisonnières et ponctuelles) ;
- La nébulosité (nuages, brouillards, etc.), qui varie considérablement d'un endroit du globe à un autre. Celle-ci est forte à très forte dans les régions océaniques tempérées et subpolaires ainsi que dans les régions équatoriales, alors qu'elle est faible à très faible en période anticyclonique et dans les régions arides subtropicales ou polaires ;
- La latitude, la saison et l'heure, qui influent sur la hauteur du Soleil et donc l'énergie reçue au sol par unité de surface, ainsi que sur la nébulosité en fonction du climat local.

Globalement, la Terre reçoit en permanence une puissance de 170 millions de gigawatt (soit 170 millions de milliards de watts, ou  $1,7 \times 10^{17}$  joules par seconde), dont 122 sont absorbés alors que le reste est réfléchi. L'énergie totale absorbée sur une année est de 3 850 zettajoules (1021 joules) ; par comparaison, la photosynthèse capte 3 ZJ, le vent contient 2,2 ZJ, et l'ensemble des usages humains de l'énergie, 0,5 ZJ dont 0,06 ZJ sous forme d'électricité.

---

## Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

---

Le flux maximum d'énergie solaire reçu au sol terrestre se rencontre sous les tropiques secs (ou arides), c'est-à-dire dans les déserts chauds où les conditions météorologiques et géographiques sont optimales : basse latitude, vaste espace, ensoleillement ininterrompu, ciel clair, grande sécheresse de l'air. Le Sahara, le plus grand désert chaud du monde, est la région de la Terre qui reçoit le plus amplement la chaleur et la lumière du Soleil. C'est en effet la contrée du globe où la durée de l'insolation moyenne est la plus élevée (jusqu'à 4 300 h/an soit entre 97 et 98 % du jour) et où l'irradiation solaire moyenne est la plus grande, avec plus de 280 W/m<sup>2</sup> en moyenne sur l'année, nuits comprises [6].

Une faible partie du rayonnement solaire parvient jusqu'à la surface de la Terre, des ondes radio décimétriques aux rayons ultraviolets les plus mous, le reste étant réfléchi ou absorbé par l'atmosphère et l'ionosphère [7].

Lorsqu'il atteint la surface de la Terre, en fonction de l'albédo [8] de la surface frappée, une partie plus ou moins importante du rayonnement est réfléchi. L'autre partie de ce rayonnement est absorbée par la surface de la Terre (convertie en chaleur) ou par les êtres vivants qui y vivent, en particulier les végétaux (photosynthèse). Cette source d'énergie, appelée énergie solaire, est à la base de la vie.

D'après les connaissances en géothermie, le rayonnement solaire serait 10 000 fois plus puissant en apport de chaleur sur Terre que toutes nos consommations humaines d'énergies réunies [9].

Cependant, les rayonnements solaires sont nécessaires à la santé humaine :

- Le cycle jour-nuit cale la plupart des cycles biologiques humains ;
- Les UV solaires sont nécessaires à la synthèse de la vitamine D ;
- Les UV solaires contribuent aussi à détruire une partie des microbes vivants ou survivants ou ayant contaminé des eaux de baignades ou eaux susceptibles d'être utilisées comme eau potable ou d'irrigation, avec une efficacité moindre dans les eaux turbides, ou rendues turbides par les activités humaines. Cette propriété est utilisée pour la destruction de bactéries fécales (ex : Escherichia coli et faecalis), de plus, détruire de nombreux virus et des œufs de parasites .[10]

## 4 Rayonnement solaire

La longueur d'onde " $\lambda$ " peut être associée un photon d'énergie  $E_{ph}=h \cdot \nu$ , où  $h$  est la constante de Planck ( $h=6,62 \cdot 10^{-34}$ ) et  $\nu$  la fréquence correspondant à la longueur d'onde  $\lambda$  ( $\lambda=c/\nu$ ,  $c$  étant la vitesse de propagation de la lumière  $=3.108 \text{ms}^{-1}$ ).

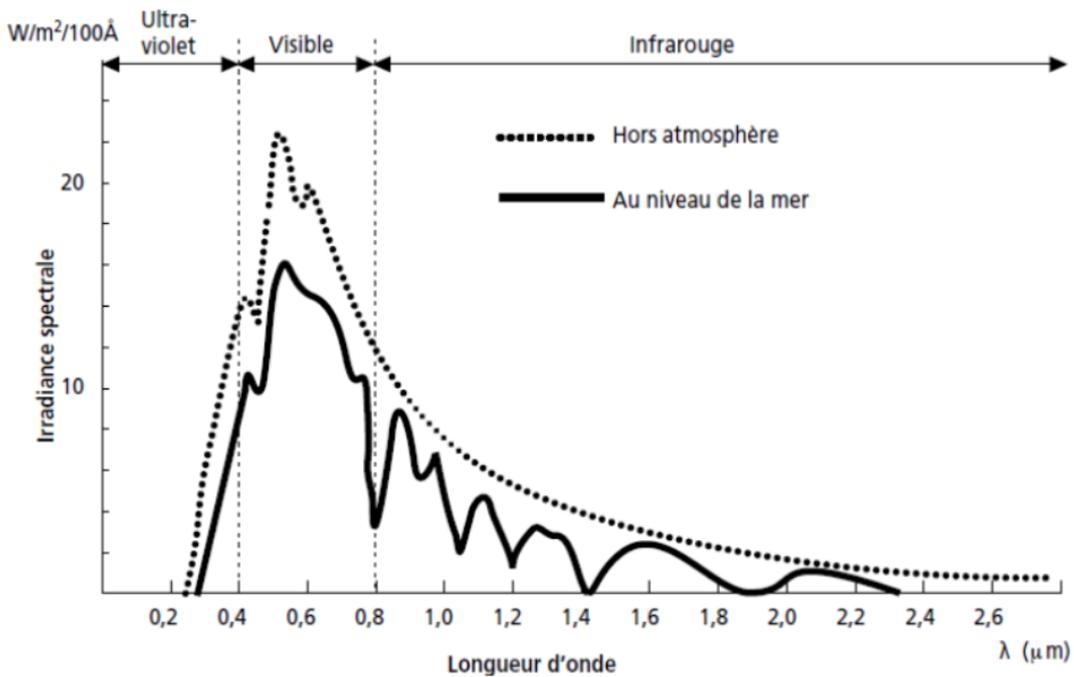
Alors :

$$E_{ph} = \frac{h \times c}{\lambda} \tag{I.1}$$

Le tableau (I.1) donne les valeurs énergétiques caractéristiques des photons pour diverses longueurs d'onde ainsi que les zones correspondantes au spectre lumineux. [9]

$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	$E_{ph}$ (eV)	Zone
0.2	3.1	Ultraviolet
0.4	3.1	Visible bleu
0.5	2.48	Visible jaune vert
0.78	1.59	Visible rouge
1	1.24	Infrarouge
2	0.62	Infrarouge
4	0.31	Infrarouge

**Tableau 1 :** Valeurs énergétiques des photons issus du spectre solaire.



**Figure 1 :** Répartition spectrale énergétique.

---

## Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

---

Afin de quantifier l'énergie développée par le générateur photovoltaïque dans une application donnée, il est nécessaire de connaître le spectre du rayonnement solaire reçu sur le sol. En effet, quatre types de rayonnement ont été répertoriés dans la littérature :

### 4.1 Le rayonnement direct

La conversion du rayonnement direct  $E_D$  est une fonction trigonométrique. Le rayonnement direct, sur le plan horizontal, est la différence entre le rayonnement global et le rayonnement diffus.

Le rayonnement direct est converti pour un plan avec un angle d'azimut  $\alpha$  et d'inclinaison  $\beta$  selon l'équation suivante

$$E_{d\alpha\beta} = \frac{E_D \times \cos \theta_i}{\sin \gamma} \quad (\text{I.2})$$

Avec  $\gamma$  et  $\theta_i$  sont donnés. On note que le paramètre  $E_{D\alpha\beta}$  peut être mesuré par un instrument nommé « Pyroheliometer », qui doit être monté sur la monture du générateur **PV**.

### 4.2 Le rayonnement diffus

Il est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire global par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages et les aérosols.

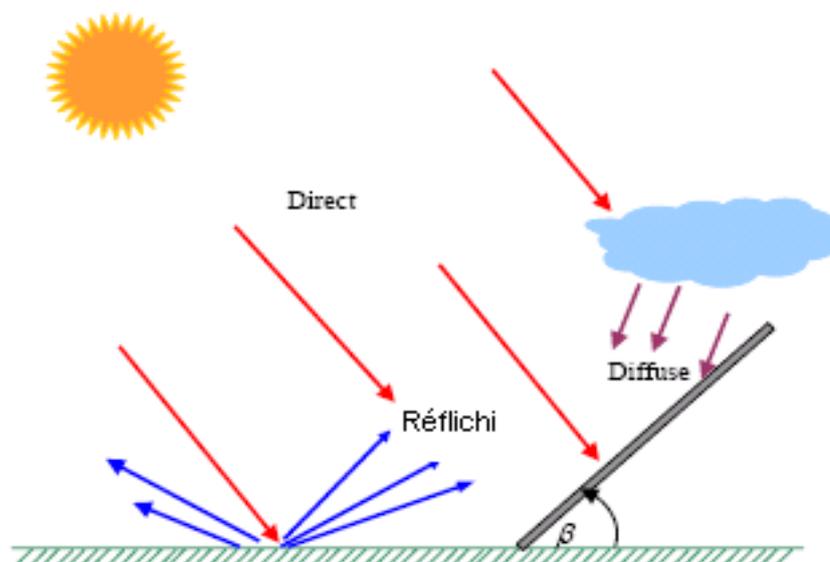
### 4.3 Le rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol

C'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige, etc....).

### 4.4 Le rayonnement global

Le rayonnement global est subdivisé en rayonnements directs, diffus et reflété par le sol). Dans la figure ci-dessous figure (1.4) est schématisé l'ensemble des rayonnements solaires reçus sur une surface terrestre. [11]

L'atmosphère terrestre reçoit le rayonnement solaire à une puissance moyenne de 1,37 ( $\text{kW/m}^2$ ), à plus ou moins 3 %, selon que la Terre s'éloigne ou se rapproche du Soleil dans sa rotation autour de celui-ci.



**Figure 2:** Types de rayonnement solaire reçus au sol. [11]

L'atmosphère en absorbe toutefois une partie, de sorte que la quantité d'énergie atteignant la surface terrestre dépasse rarement  $1,2\text{kW/m}^2$ . La rotation et l'inclinaison de la terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon la latitude, l'heure et la saison. Enfin, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et divers autres phénomènes météorologiques causent des variations horaires et quotidiennes qui tantôt augmentent, tantôt diminuent le rayonnement solaire et le rendent diffus. [12]

### 5 Poursuite du soleil et Orientation et inclinaison des panneaux

La poursuite du soleil consiste à orienter en permanence le panneau solaire photovoltaïque vers le soleil et donc à suivre sa trajectoire apparente au fil de la journée et des saisons. Cette technique permet d'améliorer le rendement des capteurs. Elle est particulièrement utile dans des installations proches de l'équateur. L'investissement dans un système automatique de poursuite solaire se justifie pour des panneaux d'une puissance supérieure à  $500\text{Wc}$ . La présente section se rapporte à des systèmes manuels de poursuite solaire pour des panneaux de taille modeste ou des installations fixes que l'on réoriente aux changements de saison.

La poursuite manuelle peut être :

- Journalière.
- Saisonnière.

➤ Annuelles

### 5.1 Mâts pivotants

Sont une excellente solution pour des installations des faibles puissances proches de l'équateur (entre 15°N et 15°S). Ils apportent une solution économique permettant de capter jusqu'à 20% d'énergie en plus. Le module est monté sur un mât en acier (la fixation au mât se fait selon l'angle d'inclinaison voulu. Soit 25°pres de l'équateur – voir figure 10.1). On fait pivoter le mât deux fois par jour une première fois le matin pour orienter le panneau vers la position du soleil à 10 heures et une seconde fois à 13 heures pour orienter le panneau vers la position du soleil à 16 heures.



**Figure 3:** Panneau monte sur un mât pivotant.

Dans les installations proches de l'équateur les mâts pivotants permettent également d'optimiser la captation de l'énergie solaire en fonction des saisons en changeant l'orientation de panneau : vers le sud d'octobre à mars ; vers le nord d'Avril à septembre. Le risque est bien entendu que personne ne fasse tourner le mât auquel cas la quantité d'énergie captée se réduira considérablement. [12]

## 5.2 Orientation variable selon les saisons

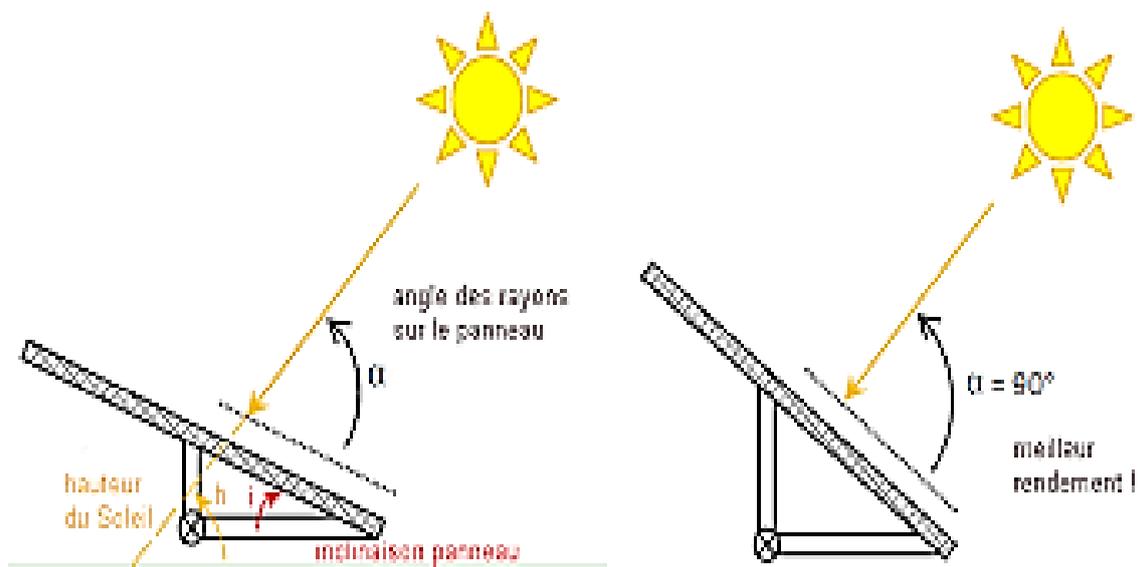
Au-delà des tropiques l'optimisation passe par la modification de l'inclinaison du panneau de telle sorte que les rayons soleil soient perpendiculaires à sa surface.

En modifiant l'inclinaison quatre fois par an on capte environ 10% d'énergie en plus sur une année. On peut surtout capter davantage d'énergie en hiver au moment où en a précisément le plus besoin.

Le tableau 10.1 indique pour un site à 45° de l'altitude nord les réglages permettant de suivre la trajectoire apparente du soleil.

Date	Angle
Mi-février	45° Vers le sud
Mi-avril	22° Vers le sud
Mi-aout	45° Vers le sud
Mi-octobre	65° Vers le sud

**Tableau 2:** Exemple de réglages d'angle de panneau solaire fixe d'une installation située à 45° de l'altitude nord.[13]



**Figure 4:** réglage de l'inclinaison d'un panneau sur châssis fixe. [12]

---

## Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

---

- Un autre type de choix de l'inclinaison est d'utiliser le (**Tableau 3**) qui indique la Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux pour une utilisation annuelle

Latitude $\varphi$	Inclinaison $\alpha$
$\varphi < 10^\circ$	$\alpha = 10^\circ$
$10^\circ < \varphi < 30^\circ$	$\alpha = \varphi$
$30^\circ < \varphi < 40^\circ$	$\alpha = \varphi + 10^\circ$
$\varphi > 40^\circ$	$\alpha = \varphi + 15^\circ$

**Tableau 3:** Estimation de l'inclinaison des panneaux en fonction de la latitude .[14]

- Rappelons que la latitude de notre site est de : 36°20'10" Nord. D'après le tableau IV.3, l'inclinaison des panneaux est :

$$\alpha = \varphi + 10^\circ \Rightarrow \alpha \approx 45^\circ \quad (\text{I.3})$$

## 6 Ombrage ou repérage des masques

Il arrive que les modules soient placés face à un type d'obstacle comme les bâtiments, montagnes, arbres...etc. qui masqueront le soleil. Ces effets d'ombrage sur le rayonnement reçu sont très difficiles à estimer intuitivement, cependant, il faut faire attention aux ombrages partiels et même ponctuels puisqu'ils influent sur la production d'énergie et provoque un déficit de production important dont il faut tenir compte. Il faut noter que lorsqu'une cellule est ombrée, c'est le courant de toute la chaîne des cellules en série qui est limité et cela peut avoir de graves conséquences si les panneaux ne sont pas équipés de diodes anti-retour. [15]

## 7 Photovoltaïque Pv

### 7.1 Solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables et la plus utilisée. Elle est transmise à la terre à travers l'espace sous forme de photons et de rayonnement

## Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

électromagnétique. Elle consiste à convertir directement le rayonnement solaire en électricité. On utilise des convertisseurs photovoltaïques ou cellules photovoltaïques qui représentent l'élément de base dans la conversion photovoltaïque. [15]

### 7.2 L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque se manifeste quand un photon est absorbé dans un matériau composé de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), dénommé comme jonction p-n (ou n-p). Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente (comme un aimant possède un champ magnétique permanent). Quand un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie ( $h\nu$ ) à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure permettent de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure, ainsi se crée un courant électrique. [16]

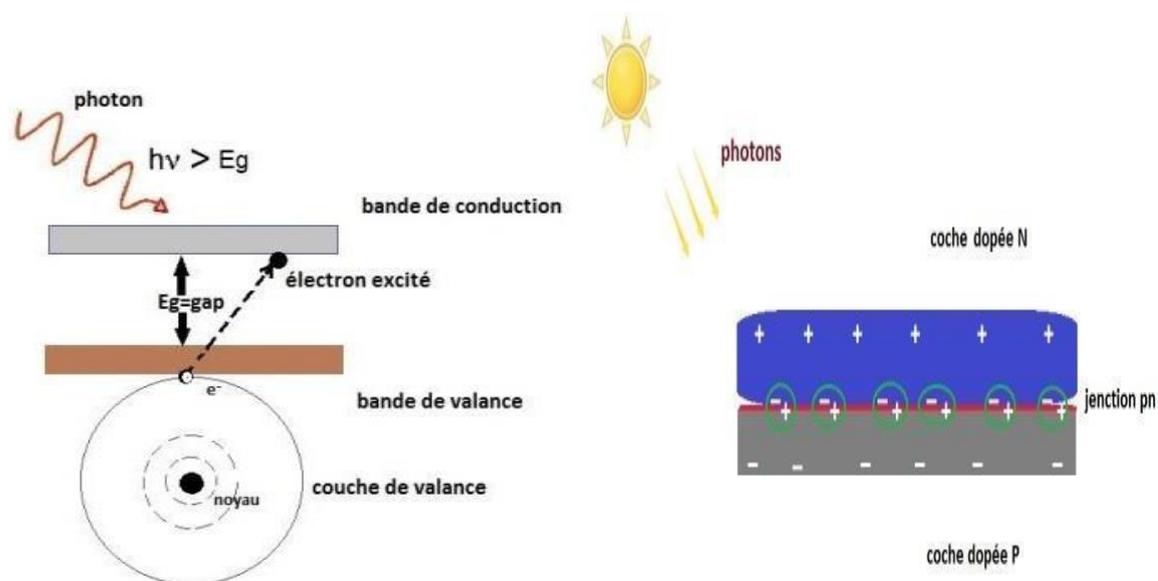


Figure 5: Excitation des électrons de valence par les photons et la jonction (P-N).[17]

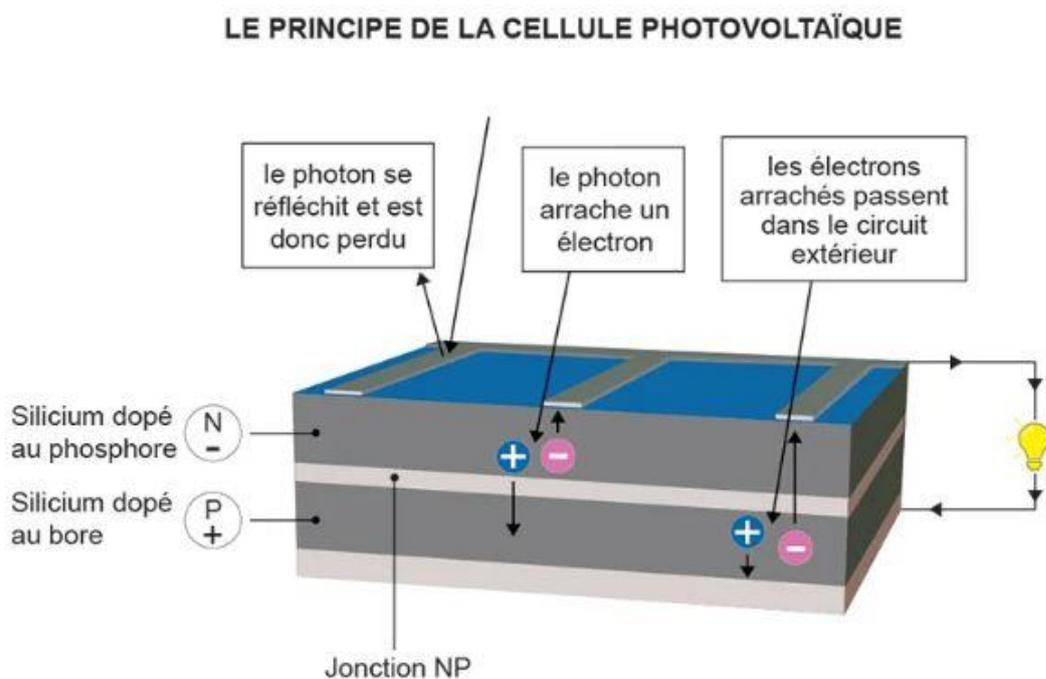
### 7.3 Cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est l'élément de base qui permet la conversion directe de l'énergie solaire (rayon lumineux), à une énergie électrique. Ce mode de conversion repose sur un principe très connu qui est l'effet photovoltaïque. Et pour passer de l'effet photovoltaïque à

l'application pratique, il est nécessaire de trouver des matériaux semi-conducteurs qui permettent d'optimiser les deux phases essentielles de ce principe, soit l'absorption de la lumière incidente et la collection des électrons en surface

### 7.4 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Les cellules PV sont fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs qui sont capables de conduire l'électricité ou de la transporter. Plus de 90 % des cellules solaires fabriquées à l'heure actuelle sont au silicium cristallin, un semi-conducteur. Une des faces de la cellule est dopée **n** (par exemple du phosphore). L'autre est dopée **p** (par exemple du bore). Des électrodes métalliques sont placées sur les 2 faces pour permettre de récolter les électrons et de réaliser un circuit électrique. La face supérieure de la cellule est traitée de manière à optimiser la quantité de lumière entrant dans la cellule au moyen de traitement de surface, par l'application d'une couche anti réflexion, et d'autre couche en verre pour l'étanchéité et la protection de la cellule. En fin les faces supérieure et inférieure sont équipées d'électrodes pour récolter les électrons. [16]



**Figure 6:** Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

## Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Cette transformation est basée sur les trois mécanismes suivants :

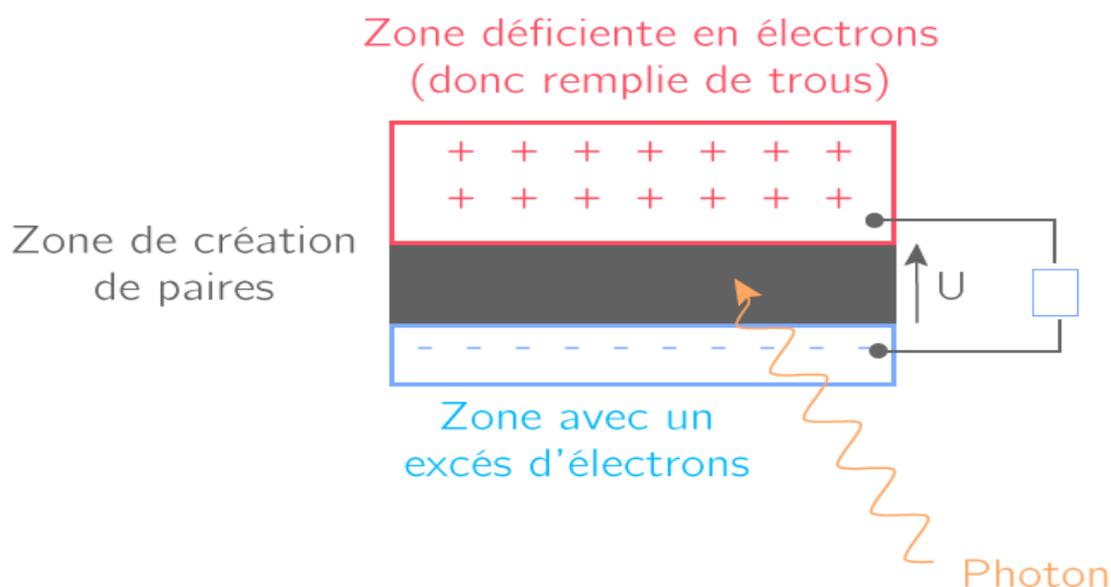
- Absorption des photons (dont l'énergie est supérieure au gap) par le matériau constituant le dispositif.
- Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond à la création de paires électron/trou dans le matériau semi-conducteurs.
- Collecte des particules générées dans le dispositif.

Les matériaux constituant la cellule photovoltaïque doit donc posséder deux niveaux d'énergie et être assez conducteur pour permettre l'écoulement du courant d'où l'intérêt des semi-conducteurs pour l'industrie photovoltaïque.

Afin de collecter les particules générées, un champ électrique permettant de dissocier les paires électrons / trou créées est nécessaire. Pour cela on utilise le plus souvent une jonction PN.

D'autres structures, comme les hétéro jonctions et les Schottky peuvent également être utilisées.

Le fonctionnement des cellules photovoltaïques est illustré sur **la figure (7)**.



**Figure 7:** fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.[17]

- Structure (gauche) et diagramme de bande (droite) d'une cellule Les photons incidents créent des porteurs dans les zones N et P et dans la zone de charge d'espace. Les photon-porteurs auront un comportement différent suivant la région :

---

## Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

---

-Dans la zone N ou P, les porteurs minoritaires qu'atteignent la zone de charge d'espace sont "envoyés" par le champ électrique dans la zone P (pour les trous) ou dans la zone N (pour les électrons) où ils seront majoritaires. On aura une photon courant de diffusion.

-Dans la zone de charge d'espace, les paires électrons/ trou créées par les photons incidents sont dissociées par le champ électrique : les électrons vont aller vers la région N, les trous vers la région P. On aura une photo courant de génération photovoltaïque [18].

### 7.5 Les filières technologiques

Une cellule photovoltaïque peut être réalisée avec de nombreux semi-conducteurs. En réalité, il existe aujourd'hui trois principales filières technologiques : le silicium cristallin, les couches minces et les cellules organiques. Ces filières se partagent inégalement le marché.

#### 7.5.1 Le silicium

La filière silicium représente aujourd'hui l'essentiel de la production mondiale des panneaux photovoltaïques. Cette filière comporte deux technologies : le silicium monocristallin et le silicium multi cristallin

#### 7.5.2 Les cellules à base de silicium monocristallin

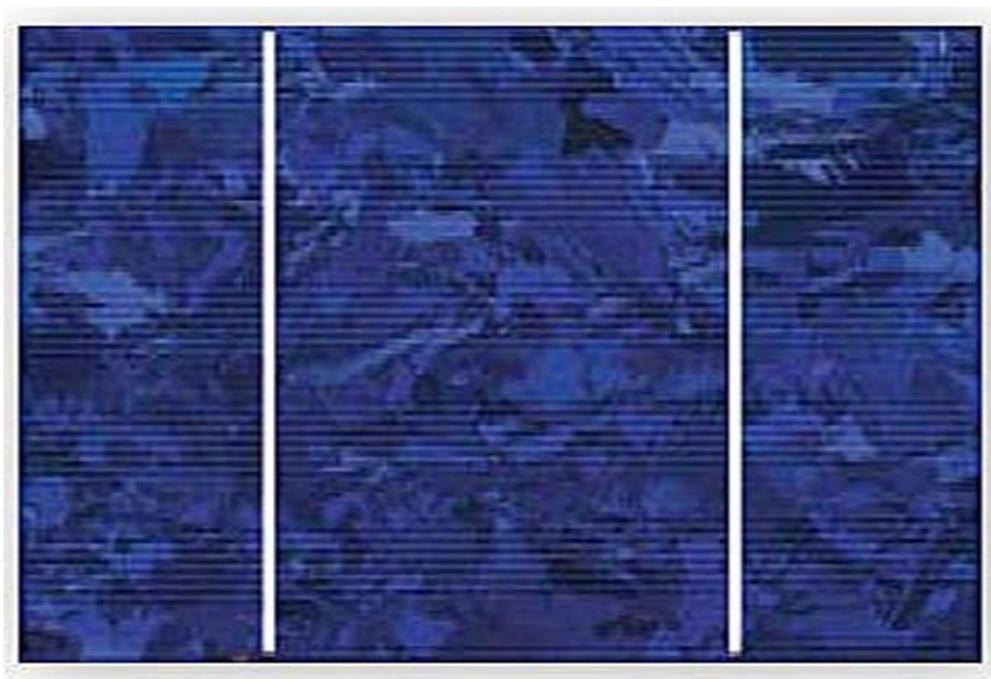
Les cellules sont fabriquées avec du silicium parfaitement cristallisé découpé dans des barres. C'est le matériau le plus répandu, et de plus il a l'avantage d'avoir un très bon rendement, entre 12 % et 16 %. L'inconvénient en est le prix, du fait d'un procédé de fabrication long et énergivore. Il est utilisé en extérieur pour les fortes et moyennes puissances (habitations, relais, télécommunications...). [19]



**Figure 8:** Les cellules à base de silicium monocristallin.

### 7.5.3 Les cellules à base de silicium multi cristallin (Poly cristallin)

Les silicium multicristalin (polycristalin) est devenu aujourd'hui la technologie la plus utilisée. Elle seule représente près de 50% du marché. Ces cellules sont obtenues par coulage de cristaux de silicium, ce qui rend sa structure hétérogène. Son rendement est légèrement inférieur au silicium monocristallin il est compris entre 10 et 14 % selon le fabricant. En revanche sa fabrication est beaucoup plus simple, les coûts de production sont donc plus faibles.



**Figure 9:** Photos de cellule multi cristalline.[20]

### 7.5.4 Les cellules à base de silicium amorphe

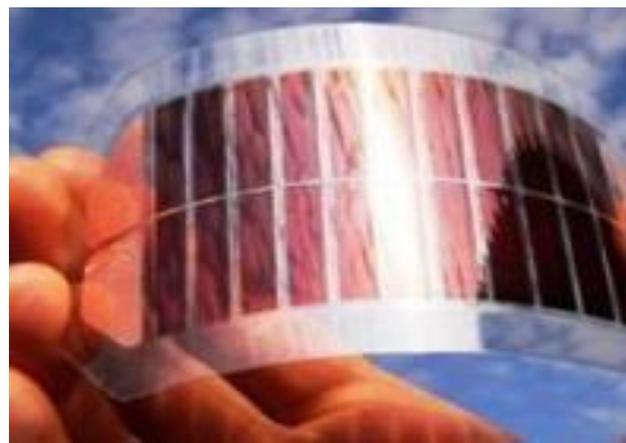
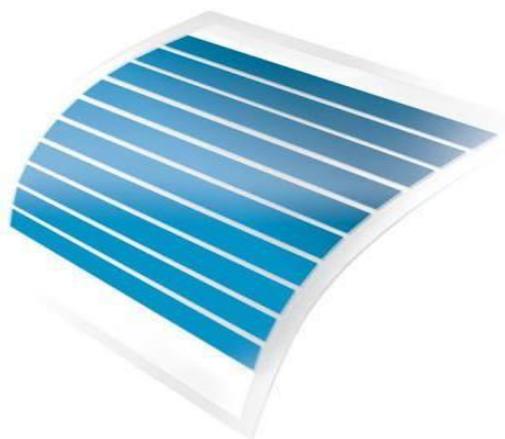
Le silicium est déposé en couche mince sur une plaque de verre ou un autre support souple. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confère en partie une mauvaise semi conduction. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des Montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron. Par contre, son rendement de conversion est faible (de 7 à 10%) et les cellules ont tendance à se dégrader plus rapidement sous la lumière .[21]



**Figure 10 :** panneau solaire en silicium amorphe.[20]

### 7.5.5 Les cellules base organiques et plastiques

Ils sont composées d'une bicouche de molécules évaporées sous vides, attient 0.95% de rendement de conversion, ces cellules comprennent deux voie des cellules « humide » et la voie des cellules polymère organique dite aussi cellules « plastiques ». Le progrès de ces technologies sont très rapide, des records de rendement sont très fréquemment battus (actuellement près de 6%).Elles ouvrent également la voie aux applications légères, nomades et souples. [16]



**Figure 11:** Cellule PV organique [20].

Le tableau suivant présente les avantages et les inconvénients pour les technologies les plus utilisées d'une cellule photovoltaïque

## Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

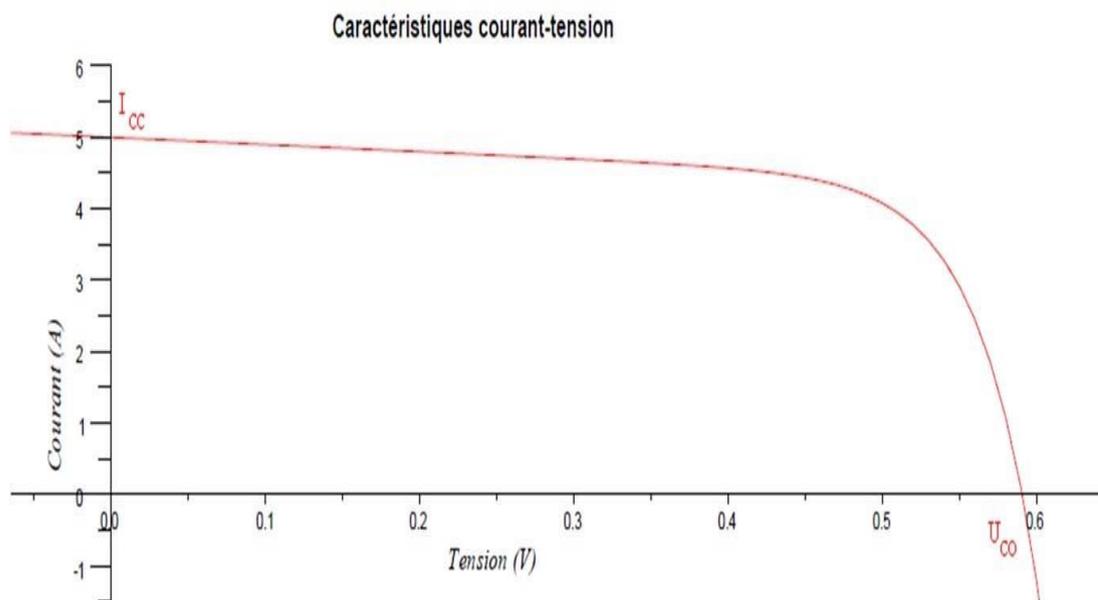
Technologie	Monocristallin	Polycristalin	Amorphe
Cellule et module			
Caractéristiques	<p>Très bon rendement : 14 à 20 %.</p> <p>Durée de vie : importante (30ans)</p> <p>Coût de fabrication : élevé.</p> <p>Puissance : 100 à 150 Wc/m<sup>2</sup>. 7 m<sup>2</sup>/kWc.</p> <p>Rendement faible sous un faible éclairement</p> <p>perte de rendement avec l'élévation de la température.</p> <p>Fabrication : élaborés à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal</p> <p>Couleur bleue uniforme.</p>	<p>Bon rendement : 11 à 15 %.</p> <p>Durée de vie : importante (30 ans)</p> <p>Coût de fabrication : meilleur marché que les panneaux monocristallins</p> <p>Puissance : 100 Wc/m<sup>2</sup>. 8 m<sup>2</sup>/kWc.</p> <p>Rendement faible sous un faible éclairement.</p> <p>perte de rendement avec l'élévation de la température.</p> <p>Fabrication : élaborés à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant forme plusieurs cristaux.</p> <p>Ces cellules sont bleues, mais non uniforme : on distingue des motifs créés par les différents cristaux.</p>	<p>Rendement faible : 5 à 9 %.</p> <p>Durée de vie : assez importante (20ans)</p> <p>Coût de fabrication : peu onéreux par rapport aux autres technologies</p> <p>Puissance : 50Wc/m<sup>2</sup>. 16 m<sup>2</sup>/kWc.</p> <p>Fonctionnement correct avec un éclairement faible.</p> <p>Peu sensible aux températures élevées.</p> <p>Utilisables en panneaux souples.</p> <p>Surface de panneaux plus importante que pour les autres panneaux au silicium.</p>
Part de marché	<b>43 %</b>	<b>47 %</b>	<b>10%</b>

**Tableau 4:** Comparatif des différentes technologies cellules.[4]

### 7.6 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

La caractéristique courant – tension est une relation entre la tension et le courant délivrés par la cellule photovoltaïque, deux données importantes sont à relever :

- Le courant de court-circuit noté  $I_{cc}$ . Il s'agit du courant qui traverse la cellule photovoltaïque lorsque celle-ci est court-circuit.
- La tension en circuit ouvert notée  $U_{co}$ . Il s'agit de la tension aux bornes de la cellule lorsque celle-ci est en circuit ouvert.



**Figure 12:** Caractéristique électrique d'une cellule photovoltaïque.

#### 7.6.1 caractéristique puissance-tension

La puissance fournie par la cellule est tout simplement le produit de courant et de la tension, on peut écrire :

$$P = I * U \quad (I.4)$$

On peut dessiner le graphe de la puissance en fonction de la tension  $U$  à partir de la caractéristique courant- tension.

La caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque met en évidence un point de puissance maximum ( $P_{mpp}$ ) , ce point de puissance maximum est le produit d'un courant et d'une tension données on appelle respectivement ( $I_{mpp}$ ) et ( $U_{mpp}$ ) le courant et la tension correspondant on point de puissance maximum c'est-à-dire tel que ( $I_{mpp} * U_{mpp} = P_{mpp}$ ) .[22]

## Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

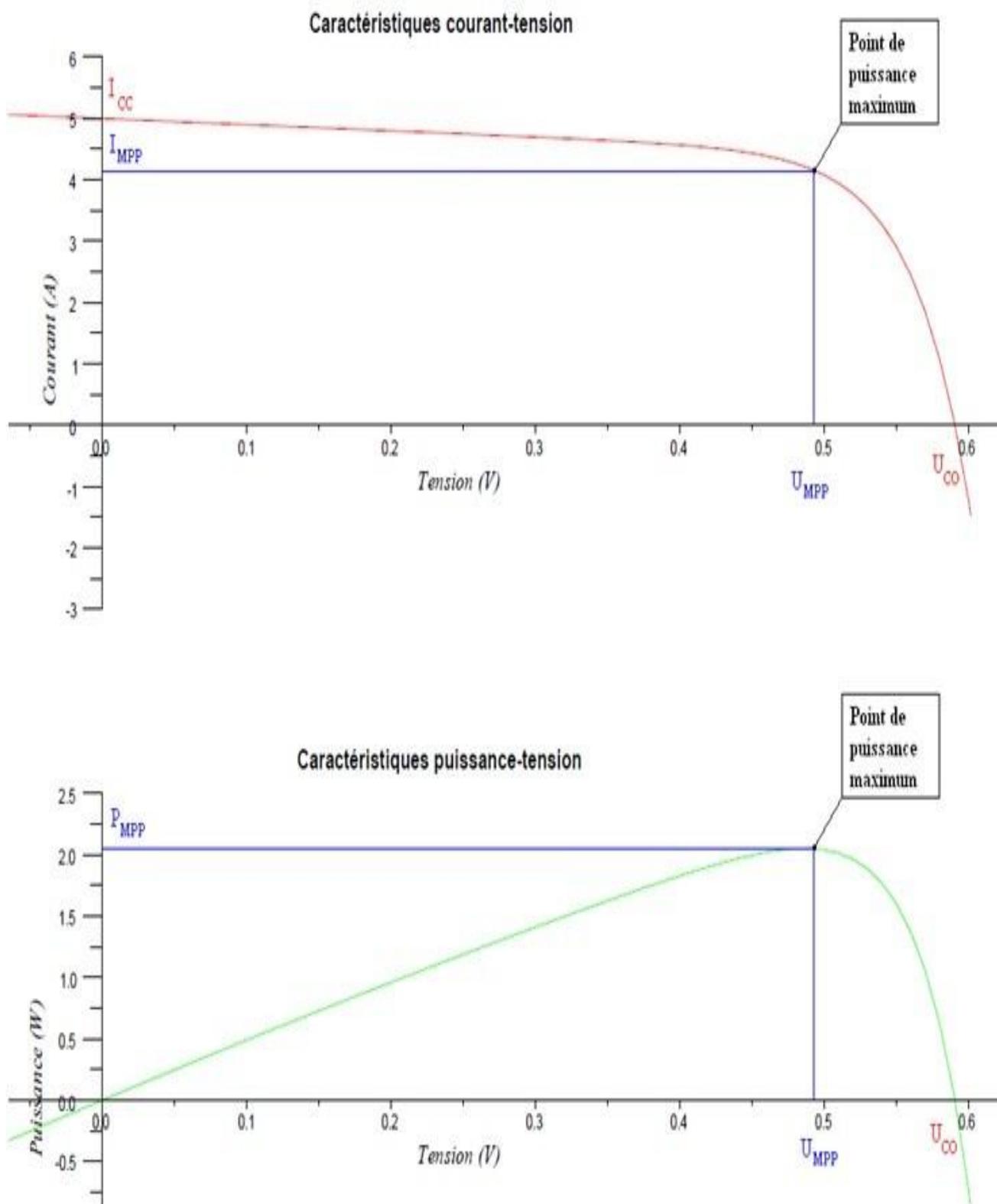


Figure 13: Caractéristique courant tension et puissance tension. [23]

# Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

$I_{CC}$  : le courant de court-circuit.

$U_{CO}$  : La tension en circuit ouvert.

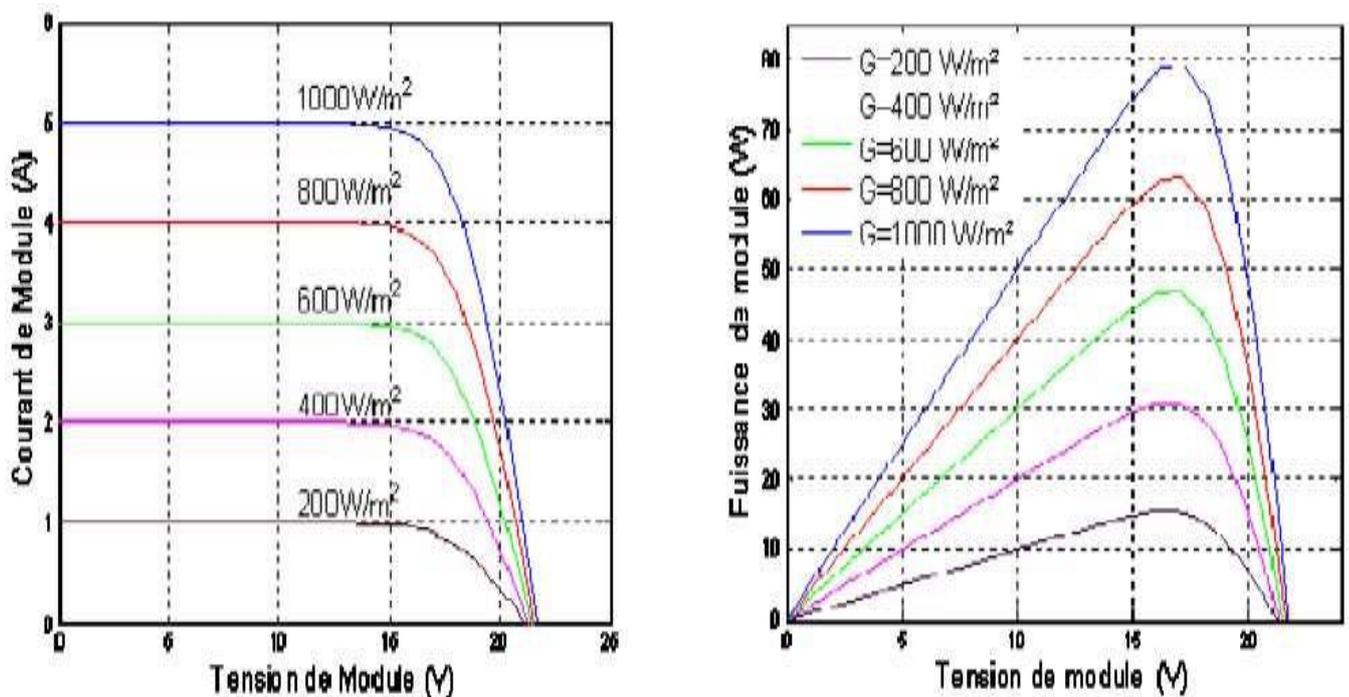
$I_{MPP}$  : le courant de puissance Maximum.

$U_{MPP}$  : la tension de puissance maximum.

La valeur des 4 paramètres ci-dessus varie en fonction de température et niveau d'éclairement de la cellule.

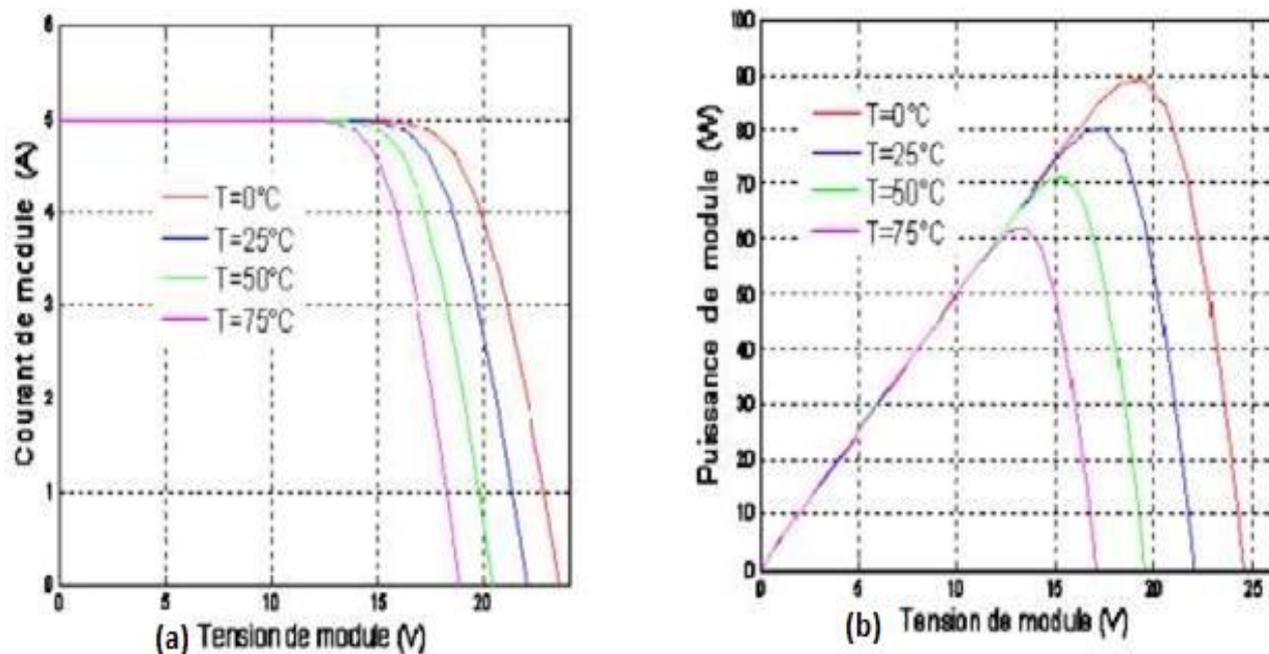
## 7.6.2 Effet de la température sur une cellule photovoltaïque

La performance de la cellule diminue avec la température ambiante de la cellule, ce qui signifie que l'énergie électrique générée par la cellule est réduite par une température élevée.



**Figure 14:** Evolution de la caractéristique I (V) (a) et P(V) (b) en fonction de l'irradiation. [24]

- La température est un paramètre très important dans le comportement des cellules solaires.
- La température a également une influence sur la caractéristique d'un générateur PV.



**Figure 15:** Evolution de la caractéristique I(V) (a) et P(V) (b) pour différentes températures. [24]

### ➤ Le facteur de forme

Qui indique le degré d'idéalité de la caractéristique, soit le rapport :

$$F_F = \frac{P_m}{V_{CO} \times I_{CC}} \quad (I.5)$$

### ➤ Rendement – performance

Correspond au rapport entre la puissance **fournie** et la puissance **reçue** par la cellule.

$$\eta = \frac{P_c}{E \times S} \quad (I.6)$$

E : Eclaircement (W/m<sup>2</sup>)

S : Surface de la cellule (m<sup>2</sup>)

P<sub>c</sub> : Puissance crête (ou Puissance maximum : voir §5)

### ➤ Coefficient de performance d'une cellule [23]

$$PR = \frac{\eta_{réel}}{\eta_{théorique}} \quad , \quad (I.7)$$

### 7.7 Composants d'une installation photovoltaïque

Avant on a décrit les modules PV qui est un composant essentiel dans l'installation Tableau 5 . maintenant en s'intéresse sur la description de reste des composants.

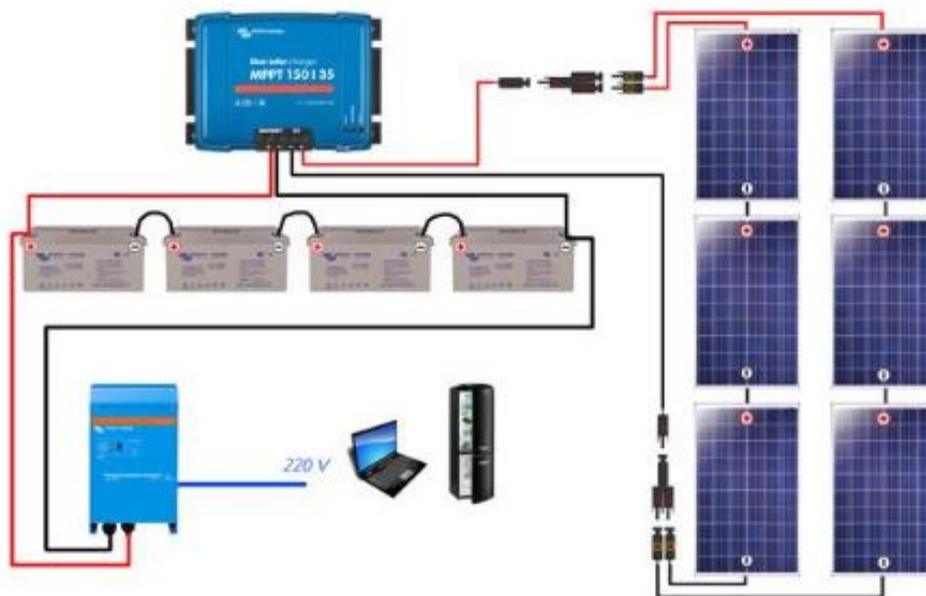


Figure 16 : Les différents composants d'une installation photovoltaïque. [24]

#### 7.7.1 Batteries

Le stockage d'énergie dans les systèmes photovoltaïques s'effectue exclusivement à l'aide des batteries. D'accumulateurs. Dans un système photovoltaïque, la batterie remplit trois fonctions importantes :

- **Autonomie**

Une batterie permet de répondre au besoin de la charge en tous temps, même la nuit ou par temps nuageux.

- **Courant de surcharge**

Une batterie permet de fournir un courant des sur charge pendant quelques instants, c'est-dire un courant plus élevé que celui que peut fournir le champ PV. Ceci est nécessaire pour faire démarrer les moteurs et les autres appareils requérant un courant de démarrage de 3 à 5 fois supérieur au courant d'utilisation.

- **Stabilisation de la tension**

Une batterie permet de fournir une tension constante, en éliminant les écarts de tension du champ PV et en permettant aux appareils un fonctionnement à une tension optimisée.

### 7.7.1.1 Les différents type batteries:

Il existe plusieurs accumulateurs (batterie) :

- **Les Accumulateur surplomb acide**

Il s'agit de la technologie la plus utilisée dans les systèmes solaires autonomes. Elle offre actuellement la meilleure réponse en termes de prix et la durée de vie. De plus, elle présente les caractéristiques les plus recherchées d'une batterie solaire, à savoir un rendement élevé, une durée de vie longue avec un grand nombre de cycles et une auto décharge faible.

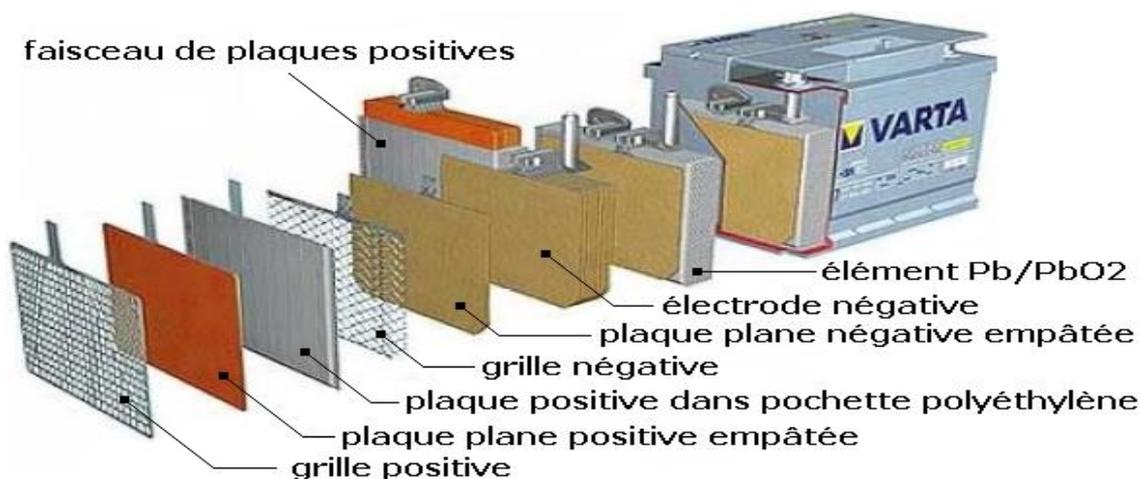


Figure 17: Batterie ouverte au plomb.

- **Les Accumulateurs au Nickel –cadmium [25]**

Les batteries de nickel-Cadmium ont une rupture physique semblable à celle du plomb-Acide. Au lieu du Plomb, elles s'utilisent de l'hydroxyde de Nickel pour les plaques positives et de l'oxyde de Cadmium pour les plaques négatives. L'électrolyte est de l'hydroxyde de Potassium. Ce type d'accumulateur présente beaucoup d'avantages :

- Très bonne résistance mécanique.
- Possibilité de supporter des décharges profondes.
- Pas d'émanations toxiques à partir de l'électrolyte.
- Ne craint pas de gel.

- **Il existe encore deux type deux type des accumulateurs:**

- Les Accumulateurs NiMH (Nickel-Métal-Hydrure)

- Les Accumulateurs Li-ion (Lithium-ion)



**Figure 18:** Accumulateurs NiMH et Li-ion.

- **Batterie mono bloc**

Ces batteries sont composées de plusieurs plaques de plombs dans une solution d'acide sulfurique. la plaque consiste une grille d'alliage de plomb avec une pâte d'oxyde de plomb marquée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte. [25]



**Figure 19:** Une batterie monobloc. [25]

---

## Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

---

### ➤ Les composant d'une batterie monobloc

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| 1. : Grille.           | 7 : Elément couplet    |
| 2. : Séparateur.       | 8 : Pont               |
| 3. : Plaque positive.  | 9 : Rampe de bouchons. |
| 4. : Plaque négative.  | 10: Borne              |
| 5 : Barrette           | 11: bac                |
| 6 : Faisceau negative. |                        |

#### 7.7.1.2 Durée de vie d'une batterie solaire

Les batteries vont voir leurs performances décroître durant toute leur vie. Celles-ci sont considérées en fin de vie lorsque leurs performances ne répondent plus à celles nécessaires pour l'application visée. [26].

La durée de vie d'une batterie solaire s'évalue selon le nombre de cycles de charge/décharge qu'elle est capable de supporter. Car il s'agit d'une donnée basée sur un niveau de décharge et sur des conditions atmosphériques données.

La durée de vie d'une batterie solaire dépend d'abord de la technologie utilisée : plomb ouvert, AGM, GEL. Ensuite les batteries solaires vieillissent en raison des charges et décharges, le nombre de cycles dépend principalement de la profondeur habituelle de décharge. Pour donner un ordre d'idée, pour des décharges de l'ordre de 40%, on peut estimer les durées de vie suivantes pour les différents types de batteries à décharge lente : [26]

- Batterie solaire au plomb ouverte : 400 à 500 cycles
- Batterie solaire AGM (Absorbed Glass Mat) : 600 à 700 cycles
- Batterie solaire GEL : 800 à 900 cycles
- batterie solaire GEL Long Life : 600 à 2400 cycles

#### 7.7.1.3 les critères de choix d'une batterie solaire

- Critters techniques

- Les batteries solaires subissent un grand nombre de cycles charge / décharge et leur état de charge évolue au fil de la journée et encore plus au cours des saisons :
- c'est souvent à la fin de l'hiver que les batteries sont le plus déchargées.

---

## Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

---

- Les batteries solaires doivent supporter un grand nombre de cycles et doivent supporter la décharge profonde.

- On installe généralement des batteries pouvant supporter plus de 300 cycles à 80 % de décharge.

- **Critères économiques**

Le coût d'achat des batteries est évidemment un critère important...

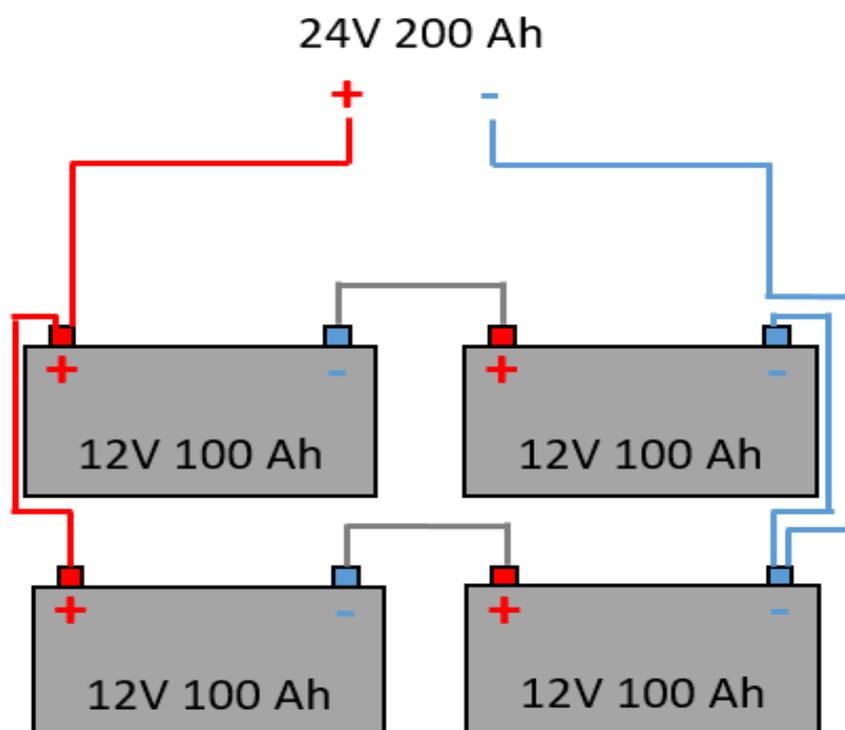
Au prix initial s'ajoute les coûts liés au transport, les frais liés à l'entretien des batteries que l'on cherchera à minimiser.

- **Critères liés à la sécurité**

L'absence de projections d'acide et de dégagement d'hydrogène est un critère important. [27]

### 7.7.1.4 Association de batteries

On associe des batteries en série pour d'obtenir des tensions multiples de (12V, 24V et 48V) et en parallèle pour augmenter la capacité. [24]



**Figure 20:** Association de deux batteries en série / en parallèle. [25]

### 7.7.1.5 Effets de la température dans le comportement d'une batterie : [28]

Si la température est baissée, la durée d'utilisation s'accroît mais il existe un risque de gel.

La capacité nominale d'une batterie (que le fabricant fournit pour 25°C) s'accroît avec la température à un rythme de 1%/°C approximativement.

### 7.7.2 Le régulateur de charge

IL implique une vigilance continue pour éviter les surcharges et les décharges profondes que la batterie peut produire.

- **Fonction** Protection de la batterie contre les situations extrêmes afin de ne pas l'endommager.
- **Fonctionnement** Prendre de l'information sur l'état de charge du système et la comparer avec les valeurs maximales et minimales admissibles pour que la batterie n'endure pas de surcharge ou de décharges extrêmes.

#### 7.7.2.1 Différents types de régulateur

- **Régulateur parallèle**

Il régularise la surcharge. Il est indiqué pour des petites installations solaires photovoltaïques.

- **Régulateur série**

Il régularise la surcharge et la décharge. Son interrupteur peut être électromécanique ou statique. Il peut incorporer des autres fonctions (alarme, interruption nocturne, etc.). La **Figure (21)** présente l'image d'un régulateur série.

Les régulateurs utilisés sont de type série : ILS déconnectent l'ensemble de panneaux de la batterie pour éviter la surcharge ; ET les équipements de consommation pour éviter la surdécharge.

Cette déconnexion se fait à travers interrupteurs qui peuvent être des dispositifs électromécaniques (des relais, des contacteurs, etc.) ou des dispositifs d'état solide (un transistor bipolaire, etc.).

---

## Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

---

Afin de protéger la batterie de la surcharge, l'interrupteur s'ouvre quand la tension de la batterie atteint sa tension d'arrêt de la charge, et se ferme de nouveau quand la batterie retourne à la tension de réinitialisation de charge. La tension d'arrêt de la charge est environ 2,45V par chaque élément de la batterie à 25°C

En ce qui concerne la sur décharge, l'interrupteur s'ouvre quand la tension de la batterie est inférieure à la tension d'arrêt de la décharge, et se ferme quand la batterie retourne à la tension de réinitialisation de décharge. La tension d'arrêt de la décharge est environ 1,95V par chaque élément [28].



**Figure 21:** Régulateur en série .[25]

- **Le type MPPT (Maximum Power Point Tracker)**

Permet d'optimiser en permanence les paramètres électriques de fonctionnement entre les trois systèmes suivants :

Les modules photovoltaïques, les batteries et les récepteurs (moteur, Pompe, éclairage, réfrigérateur, etc.)

Il y parvient en mesurant en permanence la tension et le courant du panneau pour tirer de l'énergie au point de puissance maximale. Sa fonction de balayage lui permet de parcourir la tension de la sortie. Puissance maximale . Ainsi peut-il adapter la tension délivrée par le panneau à celle que les batteries solaires peuvent absorber. Ce type de régulateur est plutôt réservé aux systèmes de grande puissance en raison de son coût élevé. [29]

Paramètres qui définissent un régulateur :

-Tension du travail : 12 ou 24 V et 48 V

-Intensité maximale elle doit être supérieure ou courrant maximale du générateur photovoltaïque.

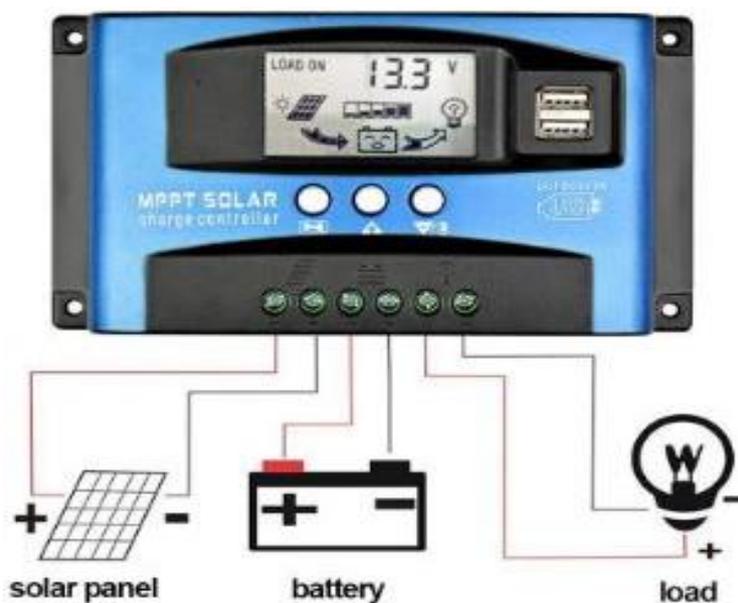


Figure 22 : Régulateur de charge MPPT.

### 7.7.3 L'onduleur

Les onduleurs sont des équipes qui transforment la tension continue fournie par les modules en une tension différente, soit continue d'un eau tremagnitude (onduleurs DC/DC) ou soit alternative (onduleurs DC/AC, qui sont les plus communs).

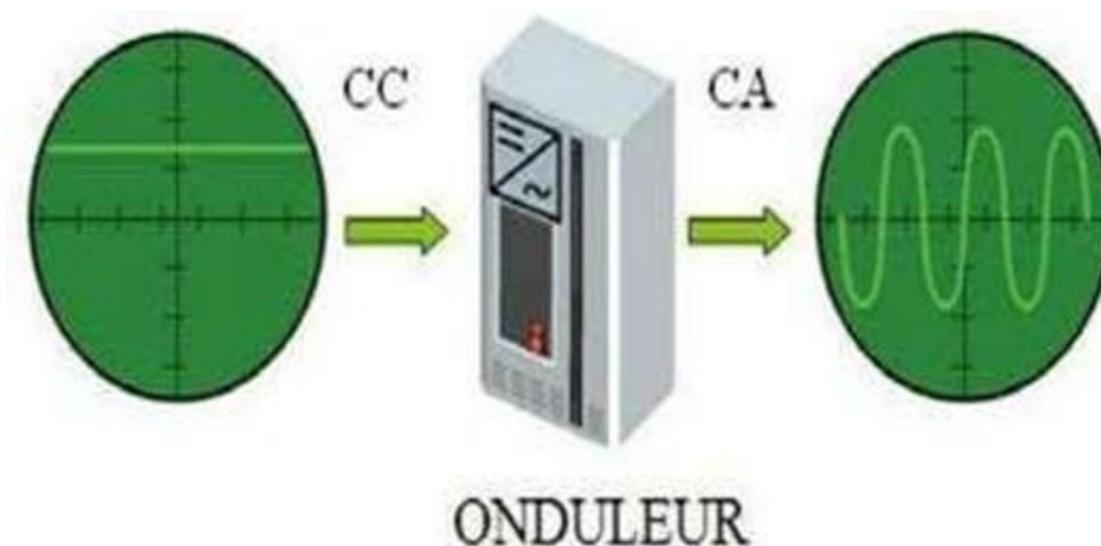


Figure 23: Onduleur photovoltaïque. [16]

### 7.7.3.1 Le convertisseur DC – DC

Ce type de convertisseur est destiné à adapter à chaque instant l'impédance apparente de la charge à l'impédance du champ PV correspondant au point de puissance maximale.

Ce système d'adaptation est couramment appelé MPPT (maximum power point tracking). Son rendement se situe entre 90 et 95%. [30]

Ce système présente deux inconvénients pour un champ PV de faible puissance :

- Prix élevé.
- Le gain énergétique annuel par rapport à un système moins complexe (cas d'une régulation de la tension) n'est pas important.

### 7.7.3.2 Onduleurs DC/AC

Les systèmes solaires produisent de l'énergie électrique en courant continu mais beaucoup d'électrodomestiques et de récepteurs fonctionnent avec le courant alternatif.

Dans les installations solaires photovoltaïques connectées au réseau électrique, l'onduleur doit non seulement transformer le courant continu du générateur photovoltaïque en courant continu du générateur photovoltaïque en courant alternatif, mais aussi réaliser des autres fonctions. Ses fonctions principales :

- Inversion de modulation de l'onde alternative;
- Régulation de la valeur efficace de la tension de sortie.

Les onduleurs peuvent être en monophasé ou en triphasé, avec des valeurs différentes pour la tension d'entrée et avec une puissance qui peut aller jusqu'à des mégawatts

- **Types d'onduleurs DC/AC**

- a-Onduleur à onde carrée**

Pour les utilisations de base comme les TV et l'éclairage, et en général pour les charges résistives. Ils sont moins chers.

### b-Onduleur à onde sinusoïdale

Pour tout type d'application, en particulier pour les moteurs. Ils sont plus chers. Caractéristiques de fonctionnement les plus importants :

### c-Tension et courant d'entrée/sortie

Forme de l'onde

#### - Limites de la tension d'entrée:

Basse de consommation et haut rendement

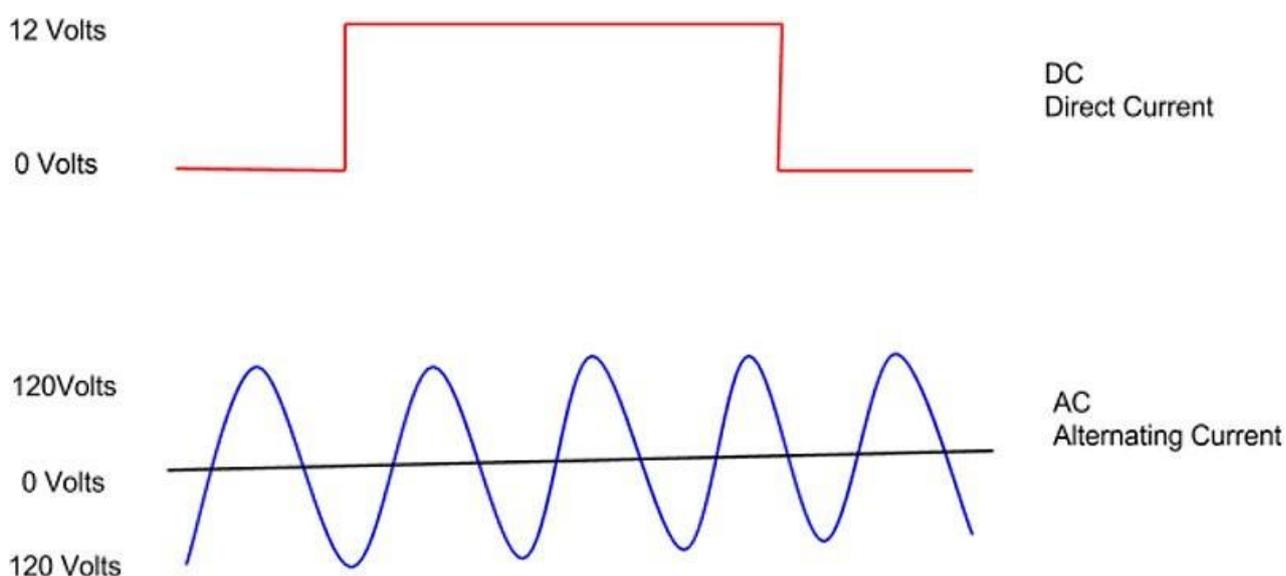


Figure 24: Les différents types de courants.

#### 7.7.3.3 Effet de la température sur l'onduleur photovoltaïque:

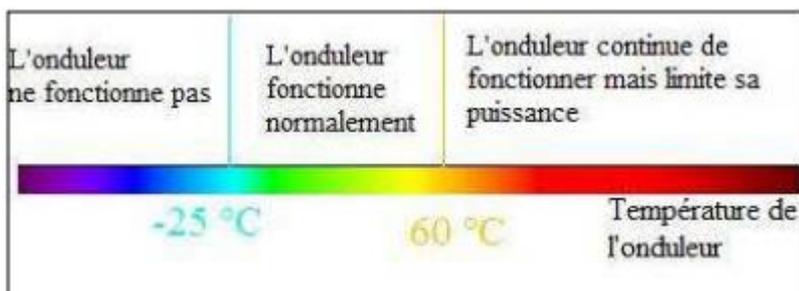
Le rendement d'un onduleur est de l'ordre de 95 %. Cela signifie que 95 % de la puissance produite par le groupe photovoltaïque, côté CC, est transmise en sortie de l'onduleur, côté CA. Les 5 % de puissance restante sont dissipés sous forme de chaleur par les composants électroniques de l'onduleur. Cela peut représenter une importante quantité d'énergie. Il faut alors évacuer cette chaleur afin de ne pas dépasser la température maximale de fonctionnement de l'onduleur. L'évacuation peut se faire simplement par convection naturelle pour les onduleurs de petite puissance ou par ventilation forcée (présence de ventilateur) pour les onduleurs de plus grosses puissances. La présence de ventilateur introduit une consommation supplémentaire qui pénalise le rendement global du système. Dans tous les cas, il faut s'assurer que l'onduleur se situe dans un local bien ventilé. En général, la plage de température de fonctionnement d'un

---

## Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

---

onduleur est comprise entre  $-25^{\circ}\text{C}$  et  $60^{\circ}\text{C}$ . La température de fonctionnement d'un onduleur est indiquée sur sa fiche technique.



**Figure 25 :**Température de fonctionnement d'un onduleur.

### 7.7.3.4 La durée de vie

La durée de vie des onduleurs varie en fonction des fabricants. En règle générale, les onduleurs disposent d'une durée de vie d'une dizaine d'années. Pour s'adapter aux exigences du contrat d'achat de l'électricité d'une durée de 20 ans, les fabricants proposent des extensions de garantie de série ou en option permettant de faire coïncider les garanties avec la durée du contrat d'achat.



**Figure 26 :** Vue intérieure d'un onduleur

### 7.7.4 Boite de jonction en électricité

La boîte de jonction solaire permet de monter en parallèle plusieurs champs photovoltaïques et de protéger votre installation.

---

## Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

---

Installée près des panneaux solaires, la boîte de jonction dispose de protections contre les surintensités grâce à des fusibles sur chaque champ solaire ainsi qu'à un interrupteur sectionneur.

L'interrupteur sectionneur permet aussi de couper l'alimentation électrique en cas d'urgence ou de maintenance.

En cas de nécessité, une protection contre les surtensions liées à la foudre sera aussi nécessaire. [31]



**Figure 27:** Boîte de jonction. [31]

### 7.7.5 Le câblage

- **Choisir son câblage solaire**

En site isolé, on produit de l'énergie sous forme de courants électriques continus basse tension (12, 24, 48V). Cette énergie étant relativement coûteuse au regard de l'investissement nécessaire pour la produire, il y a lieu de minimiser les pertes dans l'installation, de la production jusqu'à la consommation. Outre les pertes inévitables dues à l'électronique (régulation, et surtout conversion cc-ca), le plus souvent des pertes d'énergies importantes sont dues à un mauvais câblage (notamment des sections de câbles insuffisantes), et/ou une qualité de connexions insuffisante.



**Figure 28:** Les câbles solaire

D'une manière générale, les câbles recommandés côté CC sont en cuivre souple (multibrin), le cuivre présentant le meilleur rapport prix/conductivité, et la caractéristique multibrin permet d'assurer des connexions de qualité optimale, donc de minimiser les pertes d'énergie par chute de tension.

On recherchera, en principe, à maintenir la chute de tension entre les panneaux solaires (ou l'éolienne) et les batteries à un niveau inférieur à 5%.

Il existe une relation mathématique entre :

- \* La chute de tension, notée «  $dU$  », exprimée en %
- \* La section de câble utilisée, notée «  $S$  », exprimée en  $\text{mm}^2$
- \* La distance à parcourir, notée «  $D$  », exprimée en m
- \* L'intensité circulant dans le câble, notée «  $I$  », exprimée en A
- \* La tension du courant, notée «  $U$  », exprimée en V :

$$S = \frac{3,4 \times D \times I}{dU \times U} \quad (\text{I.8})$$

On peut donc facilement calculer la section de câble minimale devant être respectée entre le générateur (solaire ou éolien) et les batteries, pour une chute de tension donnée. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-joint.

---

## Chapitre I énergie solaire et système photovoltaïque

---

Il est facile de se rendre compte, à partir de la formule ou du tableau, que la même quantité d'énergie peut être transportée, sans augmentation des pertes, avec un câble de section inférieure (donc moins cher), tout simplement en augmentant la tension. C'est ce qui explique que, pour des puissances d'installations élevées, on opte pour une tension de 24V, voire 48V. [32]

### 8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents composants d'une installation solaire photovoltaïque avec leurs rôles et principes de fonctionnements. Le bon fonctionnement de cette installation requiert un bon dimensionnement de ces composants, c'est ce que nous allons voir dans le chapitre suivant.

---

**CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation  
photovoltaïque**

---

**CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation  
photovoltaïque**

---

## **CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque**

---

### **1 Introduction**

De nos jours, il existe différents modes d'exploitation des énergies renouvelables. Dans notre cas, on s'intéresse plus précisément à l'utilisation de l'une de ces énergies inépuisables, qui est le solaire. Pour concevoir une installation solaire autonome, il est important de prendre en considération un certain nombre de paramètres, de faire des calculs appropriés et suivre des étapes pour définir le matériel le mieux adapté, répondant aux exigences techniques normatives et au besoin énergétique. Cette démarche mènera au dimensionnement de la mini centrale.

Dans le présent chapitre, l'étude porte sur le dimensionnement d'une installation photovoltaïque. Cela revient à déterminer le nombre nécessaire des panneaux solaires constituant le champ photovoltaïque pour adopter un système PV suffisant pour couvrir les besoins des charges électriques pour l'alimentation des appareils fonctionnant en courant continu et pour les équipements fonctionnant en courant alternatif pour la ferme qui est située à Zemoura wilaya Bordj Bou ArRIDJ ainsi que le nombre d'onduleurs et régulateurs de charge et de batteries.

### **2 Choix des méthodes de dimensionnement**

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement d'un système PV :

#### **2.1 La méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation**

Cette méthode permet d'optimiser le dimensionnement d'un système dans des conditions complexes (fluctuations saisonnières de l'irradiation, ciel nuageux pour plusieurs jours, etc.) grâce à un logiciel adapté. L'inconvénient de cette méthode est qu'il faut connaître les radiations qui correspondent aux données horaires sur le site d'installation pour un nombre d'années trop grand (10 à 20 ans).

#### **2.2 La méthode de la moyenne annuelle**

Cette méthode est très proche de celle du mois le plus défavorable. Elle utilise elle aussi l'irradiation journalière  $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{j}$ , mais pour une moyenne qui s'étend pour toute une année au lieu d'un seul mois. Donc on calcule la moyenne mensuelle de l'énergie (irradiation) récupérable sur un site pour les 12 mois de l'année et on effectue la moyenne annuelle de celle-ci.

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

### 2.3 La méthode du mois le plus défavorable

Notre travail se base sur cette dernière qui est une méthode simple et sûre, on estime l'énergie récupérable pour une période critique d'un mois appelé le mois le plus défavorable, Ce mois correspond au mois pendant lequel la valeur de l'irradiation moyenne mensuelle est la plus faible de l'année ou dans certains pays où la période d'hiver est rude

## 3 Les méthodes de dimensionnement des panneaux photovoltaïques

1. Méthode du besoin journalier.

2. Méthode des puissances.

3. Méthode des surfaces.

## 4 Les étapes à suivre afin de réaliser une installation photovoltaïque

### 4.1 Etape I estimation la consommation d'électricité

La première étape pour estimer la consommation est de connaître la puissance consommée par les différents appareils que l'on souhaite installer, outre les heures hypothétiques ou calculées de service. L'objectif est d'obtenir la consommation totale moyenne par jour et par période (été, hivers, vacances...) L'énergie totale moyenne nécessaire chaque jour  $E$  (Wh/j) est la somme des consommations énergétiques des divers équipements constituant le système à étudier, à savoir la télévision, les lampes d'éclairage, les appareils électroniques, etc.... ; Elle est donnée par la loi suivante [17]

$$E = \sum_i E_i \quad (\text{II.9})$$

Le temps moyen d'utilisation est plus délicat à cerner ; il faut le rapporter à :

- La saison,

- Le nombre d'occupants,

Pour calculer la consommation totale d'une installation, on calcule d'abord l'énergie électrique consommée en 24 heures par chaque équipement ou chaque fonction électrique et ensuite on les additionne.

Elle s'exprime par :

$$E_t = \sum P_i \times t_i \quad (\text{II.10})$$

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

E : l'énergie journalier consommé par cette Equipment (Wh/j)

P : puissance de cet Equipment

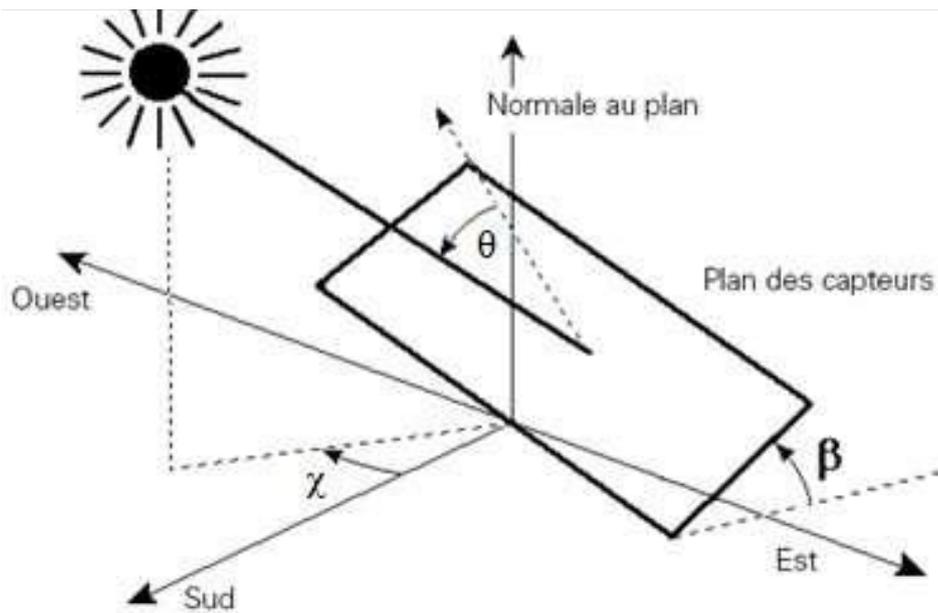
t : la dure d'utilisation de l'Equipment

### 4.2 Etape II Energie solaire récupérable

L'énergie solaire récupérable dépend principalement de l'**inclinaison et orientation** optimales des capteurs photovoltaïques

L'énergie fournie par les capteurs photovoltaïques est directement proportionnelle à l'ensoleillement. Afin d'optimiser au mieux l'installation solaire il faut donc tenir compte de ce facteur, qui dépend à son tour du lieu de l'installation, de l'orientation et de l'inclinaison de ces capteurs. Un plan incliné est caractérisé par son inclinaison  $\beta$  (par rapport à l'horizontale), et son orientation ou azimut  $\chi$  par rapport au sud. [33]

- Plus les rayons sont proches de la perpendiculaire au plan des panneaux ( $\cos \theta \approx 1$ ), plus la quantité d'énergie disponible est importante.
- En moyenne, sur l'année, l'inclinaison optimale pour maximiser l'énergie annuelle produite est égale à la latitude du lieu.
- Une inclinaison plus forte que la latitude peut augmenter l'énergie récupérée en hiver (La trajectoire du soleil étant basse dans le ciel), au détriment de celle récupérée en été. L'inverse est réalisé pour une inclinaison plus faible que la latitude.



**Figure 29:** Définition des angles pour un plan incliné : inclinaison  $\beta$ , azimut  $\chi$  et l'angle d'incidence  $\theta$ . [33]

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

### 4.2.1 Données météorologiques

La conception des systèmes photovoltaïques nécessite la connaissance du rayonnement solaire utile sur le site d'installation. Cette connaissance est l'un des paramètres essentiels de l'étude préalable.

Pour un besoin électrique donné, plus l'énergie solaire reçue est grande, moins est le nombre de panneaux solaires à installer et inversement.

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé au sol.

L'influence de l'atmosphère provoque la diffusion et l'absorption d'une partie du rayonnement incident.

Le flux lumineux reçu au niveau du sol à un instant donné dépend d'un grand nombre de

Paramètre :

Gaz présents dans l'atmosphère, Nuages, Albédo (réflectivité du sol), Température ambiante, Vent, Humidité relative, etc...

Or tous ces paramètres dépendent du lieu géographique, de la saison, de l'heure de la journée, des conditions météorologiques du moment.

Il est donc important de disposer de données fiables en recourant à des statistiques accumulées sur les années antérieures grâce à un instrument de mesure appelé « héliographe ». Grâce à cet instrument de mesure, les stations météorologiques élaborent des statistiques de rayonnement solaire intégré en [KWh/m<sup>2</sup>. J] à partir de toutes les données récoltées. Ce sont ces données, globales sur une journée, qui servent la plupart du temps au dimensionnement d'un système photovoltaïque.

### 4.3 Etape III Dimensionner le générateur

Elle consiste cette étape à calculer la quantité des modules photovoltaïque.

#### 4.3.1 Puissance crête d'un générateur photovoltaïque

La puissance crête elle dépend de l'irradiation de lieux d'installation. En calcul par l'application de cette lois :

$$P_{ch} = \frac{E_c}{K \times I_R} \quad (\text{II.11})$$

$P_{ch}$  : Puissance crête de champs photovoltaïque en Watt crête (WC)

$E_c$  : Energie consommée par jour (Wh/jour)

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

**Ir** : Temps moyen d'ensoleillement journalier (h/jour)

En Algérie :  $2 \geq \mathbf{Ir} \leq 8$ . On prend la moyenne de 5 h/Jour

**K** : Coefficient correcteur, ce coefficient tient compte :

- De l'incertitude météorologique.
- De l'inclinaison non corrigée des modules suivant la saison.
- Du point de fonctionnement des modules.
- Du rendement moyen charge/décharge de la batterie (90%).
- Du rendement de régulateur (95%).
- Des pertes dans les câbles et connexions pour les systèmes avec batterie.

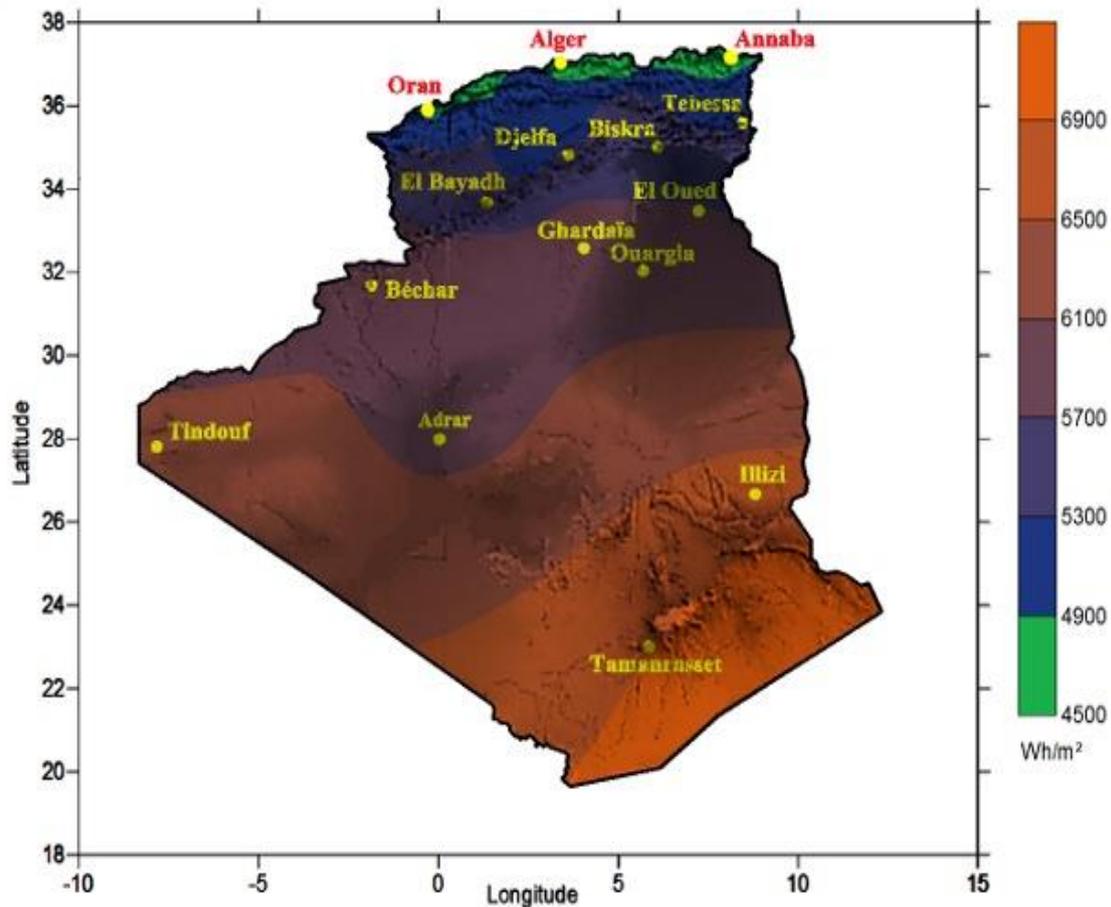
**K** est en générale compris entre 0,55 et 0,75. La valeur souvent utilisée dans les calculs du système avec batterie est  $k=0,65$ . [33]

Mois	$H_h$	$H_{opt}$	H(35)	$T_{(24h)}$	$N_{DD}$
Janvier	2840	4580	4680	10.6	206
Février	3690	5220	5300	11.2	161
Mars	5190	6240	6260	13.9	94
Avril	5880	6160	6110	15.7	47
Mai	6930	6540	6420	18.8	2
Juin	7820	6970	6810	23.3	1
Juilly	7770	7120	6960	25.8	0
Août	7060	7130	7040	26.7	1
Septembre	5590	6450	6450	23.1	6
Octobre	4490	6020	6090	19.8	22
Novembre	3090	4790	4890	14.8	152
Décembre	2610	4410	4530	12.4	168
Année	5260	5970	5970	18.0	860

**Tableau 6:** Estimation mensuelle de l'irradiation

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

Moyenne annuelle de l'irradiation Globale reçue sur une surface horizontale, Période 1992-2002



**Figure 30 :** Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçu sur une surface horizontal période 199-2002 (source : Atlas solaire algérien CDER). [13]

### 4.3.2 Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser

A partir de la puissance crête on peut déterminer le nombre de panneaux :

$$N_m = \frac{P_{ch}}{\text{puissance crête unitair}} \quad (\text{II.12})$$

➤ Le nombre de module en série :

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_n} \quad (\text{II.13})$$

$V_{ch}$  : tension total du champ.

$V_n$  : la tension délivrée par un seul panneau photovoltaïque.

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

➤ Nombre de module en parallèle :

$$N_p = \frac{N_m}{V_m} \quad (\text{II.14})$$

$N_m$  : nombre total de panneaux photovoltaïques

$N_s$  : nombre de panneaux connectés en série

### 4.4 Etape IV dimensionnement du parc de batteries

Pour réaliser le dimensionnement des batteries, il faut calculer la capacité © de la batterie en appliquant la formule ci dessus

$$C_{ch} = \frac{E_c \times N}{D \times E} \quad (\text{II.15})$$

$C_{ch}$  : capacité du champ de batterie en ampère. Heure (Ah)

$E_c$  : énergie consommée par jour (Wh/j)

$N$  : nombre de jour d'autonomie

$D$  : décharge maximale admissible (0,8 pour les batteries au plomb)

$U$  : tension de la batterie (V)

➤ Nombre de batterie en série :

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_{batterie}} \quad (\text{II.16})$$

$V_{ch}$  : tension du champ

$V_{batterie}$  : la tension de la batterie

- Nombre de batterie en parallèle :

$$N_p = \frac{C_{ch}}{C_{batterie}} \quad (\text{II.17})$$

Avec :

$C_{ch}$  : Capacité totale du champ de batteries associées à toute l'installation photovoltaïque.

$C_{batterie}$  : Capacité d'une batterie.

La durée de la vie d'une batterie décroît rapidement lorsque la profondeur de décharge augmente.

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---



Figure 31: Batterie solaire

### 4.5 Etape V dimensionnement du régulateur de charge

Le régulateur est dimensionné d'après les paramètres suivants : tension, courant d'entrée et courant de sortie.

**Tension nominale** : Elle doit être celle du champ photovoltaïque.

**Courant d'entrée  $I_e$**  : C'est le courant de charge maximal que les modules sont susceptibles de débiter. Il doit être supporté sans problème par le régulateur. Pour estimer ce courant, le plus sûr est de prendre 1,5 fois le courant maximal. [34]

**Courant de sortie  $I_s$**  : L'intensité du courant de sortie du régulateur doit être supérieure à la valeur maximale que peuvent tirer les récepteurs simultanément. Elle peut être déterminée par la formule suivante : [28]

$$I_{\max} = \frac{P_{ch}}{u} \quad (\text{II.18})$$

$P_{ch}$ : la puissance crête du champs photovoltaïque

$$P_{ch} = P_c \times N_p \times N_s \quad (\text{II.19})$$

### 4.6 Etape VI Dimensionnement de l'onduleur

Le convertisseur de courant se dimensionne en fonction de plusieurs critères :

La tension d'entrée : la même que la tension des batteries ou du régulateur (12, 24 ou 48V DC).

La tension de sortie : en Algérie nous utilisons du 220/230 V, 50Hz.

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

Le rendement : Une partie de l'électricité transformée est consommée par le convertisseur de courant (entre 80 et 95% de l'énergie est restituée).

Il est important de contrôler ce rendement, sachant qu'un bon produit se situe autour de 90%.

### 4.7 Etape VII Le dimensionnement des câbles électriques solaires

Pour assurer le transport de l'énergie des modules jusqu'au régulateur de charge, on ne peut pas utiliser n'importe quel câble électrique. Les câbles solaires sont étudiés pour résister aux conditions liées à leur utilisation. La résistance d'un câble électrique ne dépend ni de la tension ni de l'intensité du courant qui le traverse, mais dépend de la résistivité ( $\rho$ ) des matériaux utilisés (cuivre, argent, fer, ...), de la longueur du câble, de sa section, et de sa température.

L'équation permettant de connaître la résistance est la suivante :

$$R_L = \rho \times \frac{L}{S} \quad (\text{II.20})$$

Avec :

R : la résistance en ( $\Omega$ )                      L : la longueur du câble en (m)

$\rho$  : la résistivité en ( $\Omega \cdot m$ )                      S : la section du câble s en ( $mm^2$ )

## 5 Application du dimensionnement du système PV sur une ferme cas réel

### 5.1 Description de la ferme

La ferme de ZEMOURA se compose d'un terrain agricole et d'une habitation traditionnelle, équipée de l'intérieur par des installations électriques constituées essentiellement des points lumineux, des ordinateurs, des téléviseurs, réfrigérateur, de machine à laver, éclairage extérieure aussi de pompe solaire modèle LORENZ. Ces installations électriques ont besoin d'une puissance qui correspond un besoin journalier

### 5.2 Objectif de l'étude

Cette étude vise la promotion des énergies renouvelables en l'occurrence photovoltaïques (PV) qui se traduit par la fourniture en permanence en énergie électrique de la ferme.

Spécifiquement, il s'agit :

---

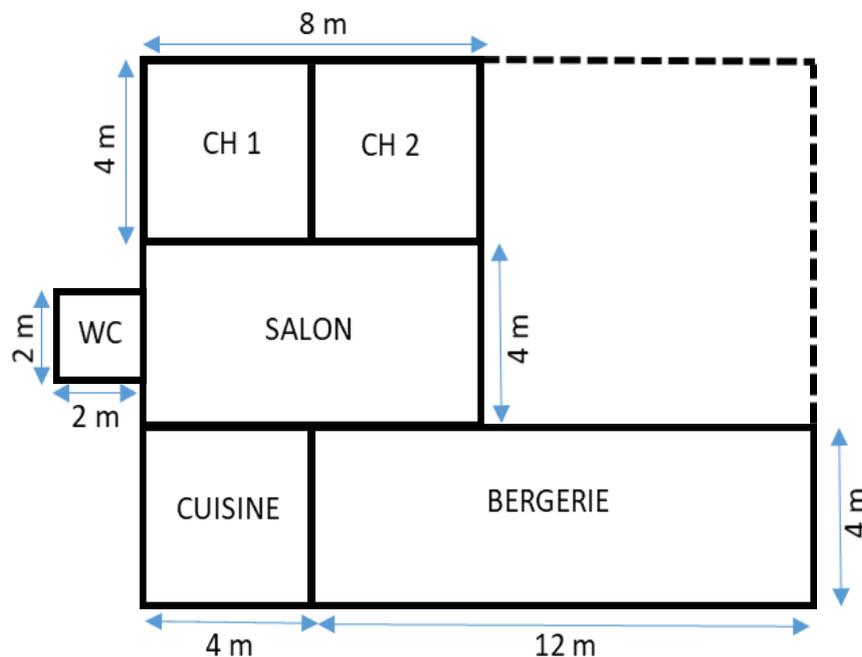
## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

- Identifier et choisir les structures pour les quelles la production de l'énergie électrique à partir de l'énergie solaire photovoltaïque pourra être faite;
- Identifier les charges électriques et Déterminer la puissance requise, le besoin journalier, en faisant un bilan de puissance;
- Étudier la faisabilité technique et financière de cette mini-Centrale photovoltaïque;
- Faire etude économique de faisabilité du projet.

### 5.3 Présentation architecturale de l'habitation de la ferme étudiée

Le plan architectural de la ferme est représenté sur la **figure 29**



**Figure 32** : Plan architectural de l'habitation de la ferme.

### 5.4 Matériels et méthodes

L'Etude consiste en l'établissement d'un bilan de puissance et du bilan énergétique global actuel de la base de vie pour déterminer les charges électriques à prendre pour les deux systèmes (DC-AC), ensuite en applique l'étude troisième système (pompage) qui est une partie essentielle pour satisfaire les besoins de la ferme de l'eau en utilisant les pompes solaires équipé d'un contrôleur avec une capacité suffisante pour remplir les besoin pour les consommations humain et l'agriculture , avant terminer par une étude technoéconomique de faisabilité de projet.

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

### 5.5 Etape I Consommation énergétique

#### 5.5.1 Liste des appareils électriques

La première étape pour estimer la consommation est de connaître la puissance consommée par les différents appareils que l'on souhaite installer, outre les heures Hypothétiques ou calculées de service.

On doit remplir le tableau suivant avec les données proportionnées par le fabricant (que l'on doit vérifier) et avec les données Estimées par le futur consommateur. Si l'installation possède un convertisseur CC/CA il faut faire attention à sa performance  $\eta$  pour calculer la puissance ou l'énergie qui Absorbera vraiment d'entrée en un courant continu. Une valeur de performance peut être de 0.85. **Le tableau (6)** suivant montre un exemple :

Localisation	Appareil électriques	Nombres	Puissance (W)
CH 1	Lompe LED	2	25
CH 2	Lompe LED	2	25
CUISINE	Lompe LED	2	25
	REFREGIRATEUR	1	250
SALON	Lompe LED	2	25
	Tv	1	100
WC	Lompe LED	2	25
	Machine a laver	1	370
BERGERIE	Lompe LED	4	25
extérieur	Lompe LED extérieur	4	250

**Tableau 7 :** Les appareils électriques utiliser dans la ferme

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

### 5.5.2 Cahier de charge pour les appareils qui fonctionnent en courant continu:

Appareils (lampe)	Nombre	Puissance (W)	Heure d'utilisation(h)	Energie (Wh/jour)
CH 1	2	25	2	100
CH 2	2	25	2	100
CUISINE	2	25	4	200
SALON	2	25	1	50
WC	2	25	1	50
BERGERIE	4	25	2	200
Extérieur	4	250	7	7000
Total	/	1150	/	7700

**Tableau 8:** Charges fonctionnant en courant continu

### 5.5.3 Cahier de charge pour les appareils qui fonctionnent en courant alternatif:

Appareils	Nombre	Puissance (W)	Heur de marche	Energie (Wh/jour)
ORDINATEUR	1	200	3	600
Machine à laver	1	370	1	370
TV	1	100	6	600
REFREGIRATEUR	1	250	16	4000
Total	/	1100	/	5570

**Tableau 9:** Charges fonctionnant en courant alternative

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

### 5.5.4 Puissance crête de installation fonctionnant en courant continu

Tenant compte de la puissance nécessaire au fonctionnement des appareils en courant continu (Tableau 9), on évalue la puissance crête des panneaux solaires, comme suit :

$$P_{CH} = \frac{E_C}{K \times I_r}$$

En Algérie :  $2 \geq I_r \leq 8$ . On prend la moyenne de 5 h/Jour donc :

$$P_{CH} = \left( \frac{7700}{0.65 \times 5} \right) = 2369.23W$$

### 5.5.5 La puissance crête de l'installation fonctionnant en courant alternatif

Tenant compte de la puissance nécessaire au fonctionnement des appareils en courant alternatif (Tableau 9), on évalue la puissance crête des panneaux solaires, donnée par l'équation (II.11), comme suit :

$$P_{CH} = \frac{5570}{0.65 \times 5} = 1713.85 Wc$$

Puissance crête(WC)	Moins de 500WC	De 501WC à 2000WC	De 2001WC à 10000WC	Plus de 1000 WC
Tension de champ (V)	12	24	48	96

**Tableau 10:** Tension du champ en fonction de sa puissance crête

D'après ces puissances crêtes, en se référant au tableau (9) on détermine la tension de chaque installation, il vient que :

/	Courant continu	Courant alternatif
La puissance crête (WC)	2369.23	1713.85
Tension de l'installation U (V)	48	24

**Tableau 11:** Tensions des différentes installations

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

### 5.6 Etape II Energie solaire récupérable

#### 5.6.1 Localisation du site

<b>Wilaya :</b>	<b>BORDJ BOURIRIDJ</b>
<b>Site</b>	<b>Zemoura</b>
<b>Latitude</b>	<b>36°16Nord</b>
<b>Longitude :</b>	<b>4°51'Est</b>
<b>Altitude :</b>	<b>1 043 m</b>
<b>Albédo</b>	<b>0.2</b>
<b>Température ambiante min</b>	<b>1°C</b>
<b>Température ambiante max</b>	<b>34° C</b>
<b>On prend l'Inclinaison comme suit</b>	$\beta (^{\circ}) = \varphi + 10^{\circ}$ Ce qui donne : $\beta (^{\circ}) = 36^{\circ} + 10^{\circ} = 46^{\circ}$

**Tableau 12:** Localisation du site.

Saison d'exploitation : toute l'année Les données de différentes irradiations sont mentionnées dans le tableau (5) [35]

#### 5.6.2 Données métrologiques

En Algérie :

La durée d'ensoleillement journalière minimale est de : 2 h/jour

La durée d'ensoleillement journalière maximale est de : 8h/jour

En général on prend la moyenne de : 5 h/jour

#### 5.6.3 Positionnement des modules

Orientation plein sud  $\gamma=0^{\circ}$  ; Inclinaison  $i = 46^{\circ}$  ;  $h_m=29,8$  ;  $i=36^{\circ}$  ;  $l=0.99m$ .

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

### 5.6.4 Application d'orientation et inclinaison des panneaux PV

La manière la plus appropriée de se servir d'un panneau solaire est de l'orienter une fois pour toute, vers une direction pour laquelle l'énergie totale collectée dans l'année est maximale.

Dans notre cas d'étude, l'orientation sera faite avec support orientée vers le sud orientée vers le sud, le système de support sera composé de profils simples en aluminium et acier galvanisé. Les panneaux seront placés selon le portrait pour former la table qui sera inclinée d'un angle de  $46^\circ$  que nous avons calculé précédemment.



**Figure 33:** Le système de support simple orienté vers le sud

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

### 5.7 Etape III Dimensionnement du générateur photovoltaïque

Les lampes disponibles sur le marché fonctionnent soit en alternatif, soit en continu mais avec des tensions inférieures à 24V.

Afin d'éviter d'ajouter des convertisseurs qui augmentaient la consommation, et donc les coûts de l'installation, IL est judicieux de répartir les consommateurs en deux catégories, ceux fonctionnant en continu et ceux fonctionnant en alternatif.

Ensuite, on procède au dimensionnement de chacun d'eux.

En utilise les panneaux CEM250M-60.

Les panneaux photovoltaïques choisis sont de type monocristallin, leurs caractéristiques sont consignées dans la figure ci-dessous :

Type de module	Unité	CEM250M-60	CEM260M-60	CEM265M-60
<b>Puissance nominale</b>	$W_c$	250	260	265
<b>Tension en circuit ouvert</b>	V	37.80	38.10	38.26
<b>Courant de court circuit</b> $I_{sc}$	A	8.83	9.13	9.00
<b>Tension mpp <math>V_{mpp}</math></b>	V	30.00	30.20	31.11
<b>Courant mpp <math>I_{mpp}</math></b>	A	8.33	8.61	8.52
<b>Tension maximale du système VDC</b>	V	1000		
<b>Charge maximale du fusible</b>	A	15		

**Tableau 13:** Caractéristique électrique des panneaux solaire monocristalline 60 cellules choisis [36]

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

### 5.7.1 Nombre de panneaux utilisé dans l'installation

#### A. Nombre de panneaux total à utiliser pour l'installation en pour le courant continue

D'après les équations (I.9) le nombre de panneaux utiliser en séries ET e parallèles correspond à :  
Nombre de panneaux total à utiliser :

$$N_m = \frac{p_c}{\text{puissance crete unitaire des panneaux}}$$

Elle Donne donc:

$$N_m = \frac{2369.23}{250} = 9.47 = 10$$

Donc en utilise 10 panneaux de 250 W

#### ➤ Le nombre de module connecte en série

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_n}$$

Qui Donne:

$$N_s = \frac{48}{30} = 1.6 = 2$$

En utilise 2 panneaux de 250 watt en série

#### ➤ Nombre module connecter en parallèle

$$N_p = \frac{N_m}{N_s}$$

Qui Donne:

$$N_p = \frac{10}{2} = 5$$

Nombre de panneaux 250 w connecter en parallèle c'est 5

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

### B. Nombre de panneaux total à utiliser pour l'installation en courant alternatif

$$N_m = \frac{P_c}{\text{puissance crete unitaire des panneaux}}$$

$$\rightarrow N_m = \frac{1713.85}{250} = 6.85 = 7$$

$$N_m = 7$$

En utilise 7 panneaux pour le courant alternatif

#### ➤ Le nombre de module connecté en série

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_s}$$

$$N_s = \frac{24}{30} = 0.8 = 1$$

$$N_s = 1$$

Donc on utilise UN seule panneaux de 250  $W_c$  connectés en série.

#### ➤ Le nombre de module connectés en parallèle

$$N_p = \frac{N_m}{N_s}$$

Qui Donne:

$$N_p = \frac{7}{1} = 7$$

$$N_p = 7$$

Donc on utilise 7 panneaux de 250  $W_c$  connectés en parallèle.

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

### 5.7.2 Caractéristique mécanique:

Type de cellule	Cellules monocristalline avec anti-reflection
nombre de cellules par modules	60 cellules (6×10)
Dimension de la cellule	156×156 mm
Dimension du module	1640×992×50 mm
Poids du moduls	19.5 kg
	Alliage en aluminium anodisé
Type de verre	Verre trempé, 3.2 mm d'épaisseur
Boite de jonction et connecter	IP65 ; 3 diodes by-passe et câbles compatibles avec un connecteur avec un connecteur MC4
Température d'utilisation	-40° a 85° C

**Tableau 14:** Caractéristique mécanique des panneaux solaire choisis [37]

## 5.8 Etape IV: Choix parc des batteries

### 5.8.1 Pour installation courant continu

A partir de l'équation (II.15) en va calculer le nombre total des batteries en série et en parallèle. Pour 4 jour d'autonomie  $N=4$  en tenant compte la puissance des appareils qui fonction en **courant continu**. La relation évaluer la capacité d'une batterie:

Elle donne:

$$C_{ch} = \frac{2369.23 \times 4}{0.8 \times 48} = 246.79 \text{ Ah}$$

A fin de sttabilisé cette énergie, on utilise des batteries solaires pour les deux installations ayant pour la tension 12 V et une capacité 130 Ah.

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---



**Figure 34:** La batterie solaire GEL à utiliser pour les deux installations. (CONDOR)

➤ **Nombre de batterie en série**

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_{batterie}}$$

Qui Donne:

$$N_s = \frac{48}{12} = 4$$

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

➤ **Nombre de batterie placer en parallèle:**

$$N_p = \frac{C_{ch}}{C_{batterie}}$$

Qui Donne:

$$N_p = \frac{246.79}{130} = 1.89 = 2$$

Donc en utilise 2 batterie de 12 v et 130 A

➤ **Nombre de batterie utilise dans l'installation pour le courant continu elle correspond a:**

$$N_{batterie\ total} = N_p \times N_s$$

Qui Donne:

$$N_{batterie\ total} = 2 \times 4 = 8$$

### 5.8.2 pour l'installation en courant alternative

A partir de l'équation (I.) en va calculer le nombre total des batteries à utiliser en série et en parallèle. Pour 4 jours d'autonomie ( $N=4$ ), en tenant en compte de la puissance requise au fonctionnement des appareils en courant alternative tableau (8).

En utilise l'équation pour a valeur la capacité de la charge :

$$C_{ch} = \frac{E_c \times N}{D \times E}$$

Qui Donne:

$$C_{ch} = \frac{1713.85 \times 4}{0.8 \times 48} = 178.53\ Ah$$

➤ **Nombre de batterie en série**

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_{batterie}} \quad \text{Qui Donne:} \quad N_s = \frac{24}{12} = 2$$

. En utilise deux batteries de 12V ET 130 Ah

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

### ➤ Nombre de batterie en parallèle

$$N_p = \frac{c_{ch}}{c_{batterie}}$$

Qui Donne:

$$N_p = \frac{178.53}{130} = 1.37 = 2$$

En utilise 2 batteries de 12 V et 130 Ah

Le nombre total de batteries à utiliser pour l'installation en courant alternative :

$$N_{\text{total de batterie}} = N_p \times N_p$$

Ce qui Donne :

$$N_{\text{total de batterie}} = 2 \times 2 = 4$$

## 5.9 Etape VI: Choix du régulateur de charge

### 5.9.1 Le régulateur de charge pour l'installation de 48 V

En appliquant l'équation

$$I_{\max} = \frac{P_{\text{c champ}}}{U}$$

Avec:

$$P_{\text{c champ}} = P_C \times N_s \times N_p$$

Ce qui Donne:

$$P_{\text{c champ}} = 250 \times 2 \times 5 = 2500 W_c$$

Ce qui Donne:

$$I_{\max} = \frac{2500}{48} = 52,08 A = 50 A$$

$$I_{\max} = 50 A$$

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

### 5.9.2 La régulation de charge pour l'installation de 24 V

$$I_{\max} = \frac{P_{c \text{ champ}}}{U}$$

$$P_{c \text{ champ}} = P_c \times N_p \times N_s$$

Qui Donne:

$$P_{c \text{ champ}} = 250 \times 1 \times 7 = 1750 W_c$$

$$I_{\max} = \frac{1750}{24} = 72.92 A$$

$$I_{\max} = 72.92 A$$

### 5.9.3 Type de régulateur utiliser dans les deux systèmes :

/	Courant continue	Courant alternative
Type de régulateur	48 V/50 A	24 V /72.92 A

**Tableau 15:** Type de régulateur utiliser



**Figure 35:** Type de régulateurs de charge à utiliser pour installation DC (CONDOR)

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---



**Figure 36:** Type de régulateurs de charge à utiliser pour installation AC

### 5.10 Etape VII: Choix de l'onduleur

La caractéristique de l'onduleur il faut qu'elle soit compative avec l'installation ayant la tension 24 v et une demande de 400  $W_c$ . [36]

$$P_{\text{onduleur}} = (P^2 + P_r^2)^{1/2}$$

Avec :

$P_r$  : puissance réactive [KVAR]

$P$  : puissance crête du champ photovoltaïque

On prend :  $\cos \beta = 0,8$  et  $\sin \beta = 0,6$

Ce qui Donne:

$$P_r = 400 \times \frac{0.6}{0.8} = 300 \text{ var} = 0.3 \text{ var}$$

$$P_{\text{onduleur}} = (0.4^2 + 0.3^2)^{\frac{1}{2}} = \mathbf{0.5 \text{ KVA}}$$

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---



**Figure 37:** Onduleur a utilisé pour l'installation en courant alternatif (CONDOR)

### 5.11 Etape VII: choix des câbles

- Dans cette partie, on donne un aperçu de calcul des câbles nécessaires à la connexion des différents panneaux photovoltaïques, quant aux autres connexions (régulateur, Appareils, onduleur) elles restent tributaires des conditions de réalisation sur le site.
- La chute de tension admise à travers un câble étant de 2% de la tension appliquée sur le champ de batteries de stockage, il vient que la différence de potentiel admise au borne d'un câble de connexion correspond à :

$$\Delta U = \text{tension Appliqué} \times 0,02$$

#### 5.11.1 Calcul de la section du câble à utiliser Pour l'installation en courant continu:

Tenant compte de l'intensité optimale délivrée par un panneau solaire (tableau 13), soit :

$$I_{\max} = 8.33 \text{ A}$$

ET pour les panneaux en parallèle :

$$I_{\max} = 8.33 \times 5 = 41,65 \text{ A}$$

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

La tension du champ de batteries étant de 48V, la chute de tension admise pour les câbles de connexion sera alors :

$$\Delta U = 48 \times 0,02 = 0,96 \text{ v}$$

A partir de la loi d'Ohm, on évalue la résistance de ces câbles par :

$$R = \frac{\Delta U}{I} = \frac{0,96}{41,65} = 0,023 \Omega$$

$$R = 0.23 \Omega$$

Ne considérant que la longueur du câble solaire à utiliser étant égale à la largeur des trois Panneaux en parallèles, il vient que :

$$L = 0,67 \times 5 = 3,35 \text{ m}$$

$$L = 3.35 \text{ m}$$

Tenant compte de l'équation suivante, la section des câbles à utiliser se déduit par

$$S = \rho \times \frac{L}{R}$$

Ce qui Donne 
$$S = 1.6 \times 10^{-8} \times \frac{3,35}{0,022} = 2,43 \text{ mm}^2$$

$$S = 2,43 \text{ mm}^2$$

En se référant au Tableau (16) la section normalisée correspond à 25 A

### 5.11.2 Calcul de la section du câble à utiliser Pour l'installation en courant alternatif

Tenant compte de l'intensité optimale délivrée par un panneau solaire voir tableau (13) :

$$I_{\max} = 8.33 \text{ A}$$

Il vient que pour huit panneaux connectés en parallèles, l'intensité totale délivrée sera :

$$I_{\max} = 8,33 \times 7 = 58,31 \text{ A}$$

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

$$\Delta U = 24 \times 0,02 = 0,48 \text{ V}$$

$$R = \frac{\Delta U}{I} = \frac{0,48}{58,31} = 0,0083 \Omega$$

$$R = 0.0083 \Omega$$

Ne considérant que la longueur du câble solaire à utiliser étant égale à la largeur des huit Panneaux en parallèles, il vient que :

$$L = 0,67 \times 7 = 4,69 \text{ m}$$

$$L = 4,69 \text{ m}$$

Tenant compte de l'équation suivante, la section des câbles à utiliser se déduit par

$$S = \rho \times \frac{L}{R}$$

Ce qui donne

$$S = 1,6 \times 10^{-8} \times \frac{4,69}{0,0082} = 9.04 \text{ mm}^2$$

$$S = 9.04 \text{ mm}^2$$

En se référant au **Tableau (15)** la section normalisée correspond à :

$$I_{\max} = 60 \text{ A}$$

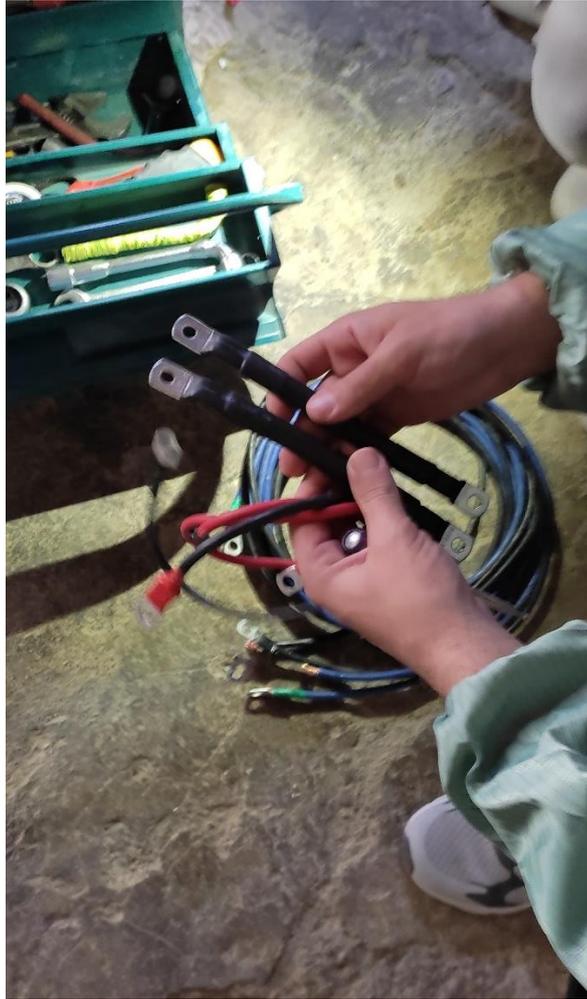
Section en mm <sup>2</sup>	0,5	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10	16
Intensité max en Ampères (A)	3	6	10	16	25	30	40	60	80

**Tableau 16:** Variation de la section du câble en fonction de l'intensité du courant

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---



**Figure 38** :Quelque câble utiliser pour les deux systèmes (CONDOR)

### 6 Remarque

- Pour obtenir le meilleur rendement de votre installation solaire photovoltaïque, choisissez la section du câble solaire correspondant à la distance à couvrir entre votre champ solaire et votre régulateur et au courant transporté.
- Réalisez des connexions parfaites avec les connecteurs MC4 simples ou en Y (pour la mise en parallèle) et en manipulant ces connecteurs avec les outils dédiés.
- Pensez également à la sécurité de votre installation en mettant toutes ces parties métalliques à la terre.
- Pour parfaire votre installation, utilisez un boîtier de mise en parallèle de panneaux et une batterie solaire GEL ou une batterie solaire AGM.

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

Par convention internationale, le conducteur positif est toujours ROUGE, le conducteur négatif est BLEU ou NOIR. Exceptionnellement, le conducteur positif peut être NOIR, à la condition expresse d'être clairement identifié par des bagues ROUGES et que le conducteur négatif soit de couleur BLEUE. Le conducteur de terre est toujours VERT-JAUNE.



Figure 39 : Les connecteurs MC4 simples pour panneau solaire[38]



Figure 40: Boîte de jonction utilisée pour les deux systèmes

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

### 7 Les résultats du dimensionnement pour les deux systèmes

Dimensionnement		système 1 (DC)	système 2 (AC)
Puissance crête à installer(WC)		2369.23	1713.85
Tension de l'installation (V)		48	24
Nombre de modules	Total	10	7
	En série	2	1
	En parallèle	5	7
Batteries	Capacité Total (Ah)	246.79 Ah	178.53 Ah
	Nombre total	8	4
	Eléments en series	4	2
	Eléments en Parallèles	2	2
	Courant de sortie(A)	41,65 A	58,31 A
Régulateur de charge		48V/50A	24V/70A
Type de câble section (mm <sup>2</sup> ) et Longueur (m)		2,43 mm <sup>2</sup> /3.35 m	10 mm <sup>2</sup> /4.69 m
Puissance de d'onduleurs KVA		Pas d'onduleurs	0.5

**Tableau 17:** Caractéristique techniques des équipements utiliser dans l'installation(AC , DC)

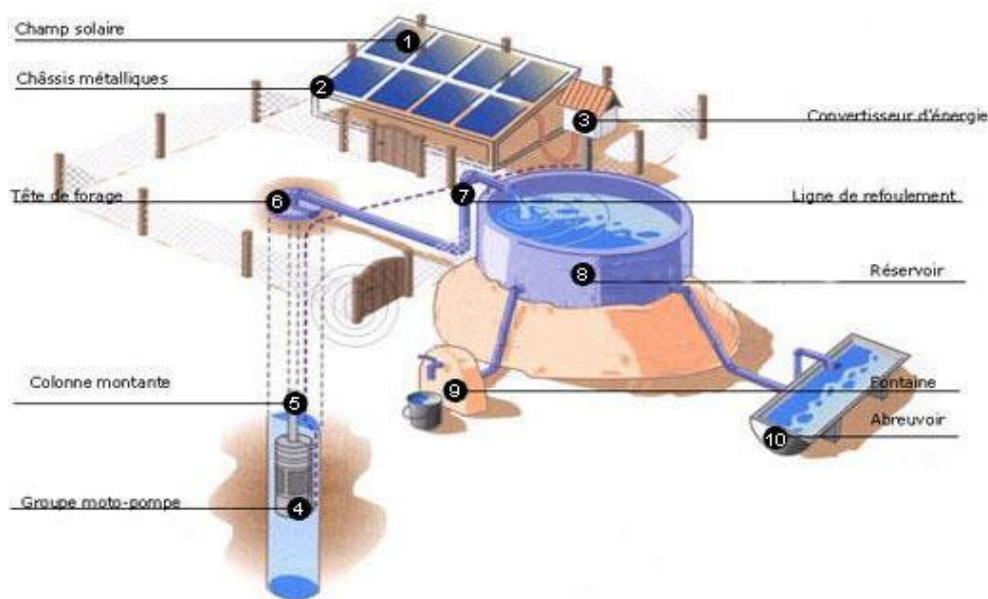
## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

### 8 Installation d'un pompage solaire

#### 8.1 Principes généraux du pompage solaire

Les panneaux solaires photovoltaïques (1) produisent l'énergie électrique sous forme d'un courant continu qui est converti à travers un convertisseur statique (3) pour alimenter un groupe motopompe immergé ou flottant (4). Le groupe motopompe est composé d'un moteur à courant alternatif mono, bi ou triphasé ou à courant continu à commutation électronique qui est couplé à une pompe centrifuge à étages multiples ou à une pompe volumétrique ou autre suivant le débit recherché.

La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation des roues à aubes alors que la pompe volumétrique transmet l'énergie du moteur par un mouvement hélicoïdal qui permet littéralement de propulser l'eau à la surface. Les systèmes proposés sont composés de modules photovoltaïques montés sur un châssis de support (2) incliné suivant la latitude du site afin d'optimiser la production photovoltaïque, ou rotatif suivant la course du soleil. Le dispositif est complété par le convertisseur statique (3) monté en surface et qui permet la conversion du courant continu produit par le champ solaire en courant alternatif ou continu pour alimenter le moteur couplé à la pompe (**Figure 41**) [33].



**Figure 41:** Pompage de l'eau au fil du soleil

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

Le système de pompage peut être à entraînement direct (nommés au fil de soleil) ou à piles. La figure de suivante illustre les composantes de chaque type de système [33].

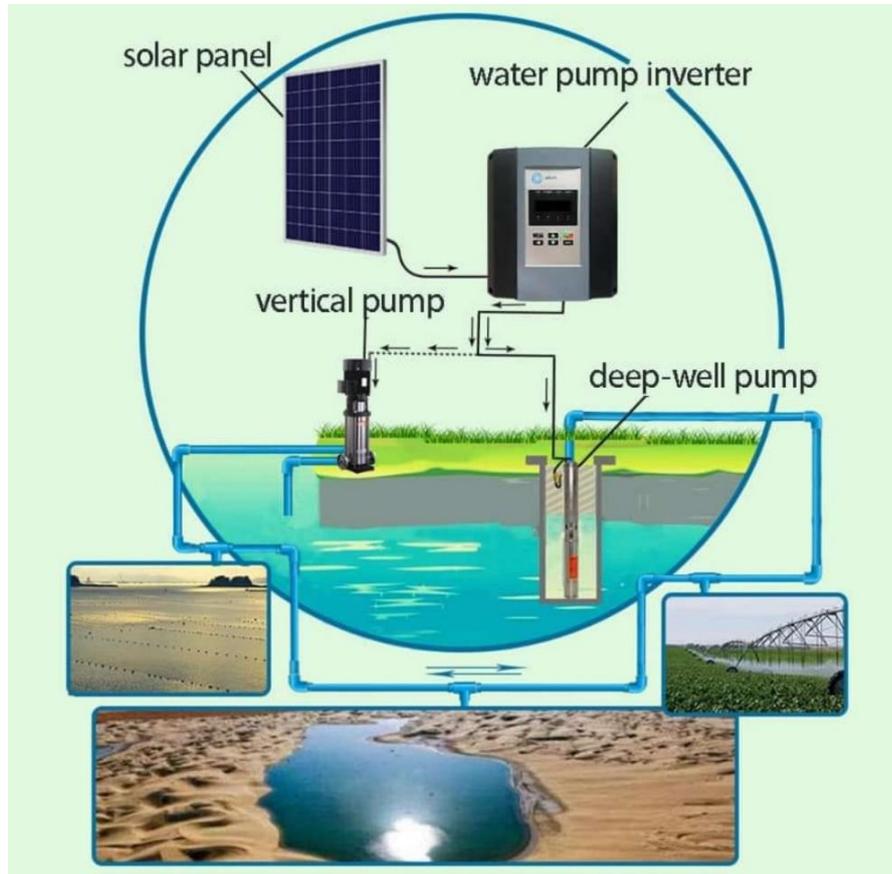


Figure 42: Système à entrainement direct système

## 8.2 Dimensionnement du système de pompage

### 8.2.1 Débit

Le débit  $Q$  est la quantité d'eau que la pompe peut fournir durant un intervalle de temps donné. En pompage, le débit est habituellement donné en litres par heure (L/h). En pompage solaire, le débit (ou le besoin en eau) est souvent exprimé en  $m^3/h$  [34].

### 8.2.2 Hauteur manométrique totale

La hauteur manométrique totale HMT d'une pompe est la différence de pression En mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Cette Hauteur peut être calculée comme suit [34]

$$HMT = H_g + P_c \quad (\text{II.21})$$

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

Où :

$H_g$  est hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation  $H_r + N_d$ . Pour une pompe de surface sur un plan d'eau,  $H_g$  sera choisi en fonction de la hauteur de la pompe à son niveau le plus bas.

$P_c$  est les pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites.

### Niveau statique

Le niveau statique  $N_s$  d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau avant pompage.

### Niveau dynamique

le niveau dynamique  $N_d$  d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau pour un pompage à un débit donné. Pour le calcul de la *HMT*, le niveau dynamique est calculé pour un débit moyen. La différence entre le niveau dynamique et le niveau statique est appelée rabattement  $R_m$ .

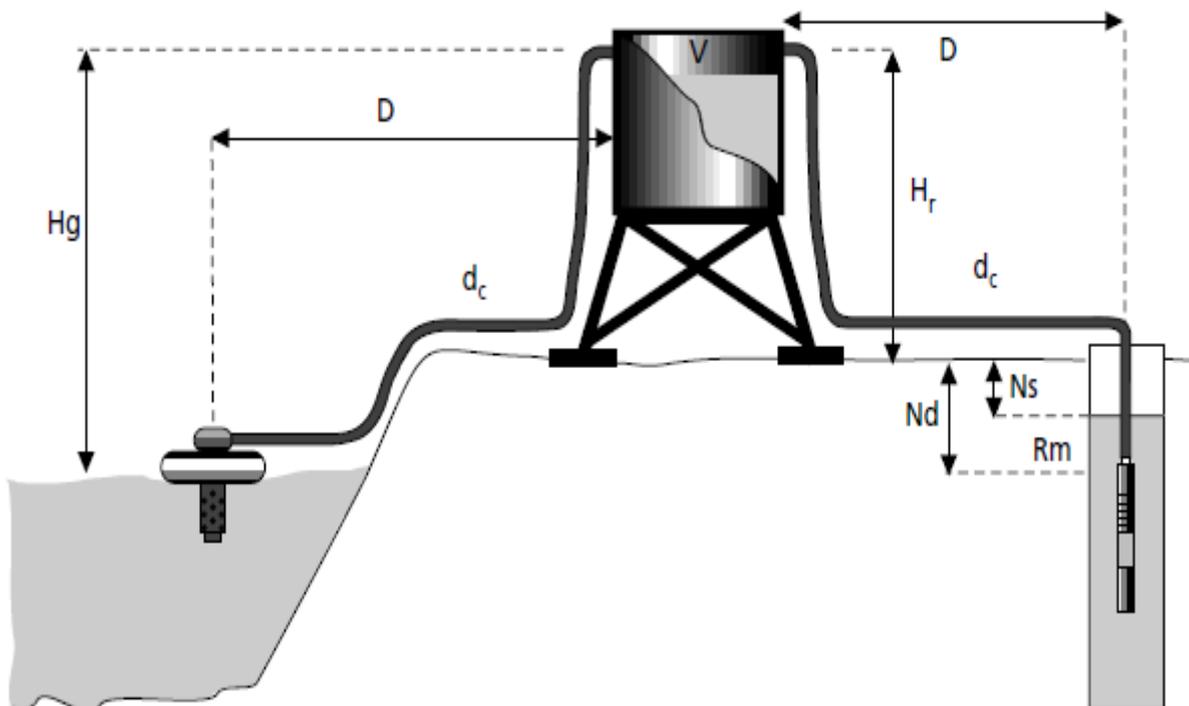


Figure 43 : Définition des différents paramètres

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

### 8.3 Les étapes de dimensionnement

#### 8.3.1 Estimation des besoins en eau

La détermination des besoins en eau pour la consommation se diffère d'une population à une autre selon le mode de vie. La capacité du réservoir sera déterminée selon les besoins en eau journalières et l'autonomie requise du système [30].

#### 8.3.2 Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire

L'énergie hydraulique dépend des besoins nécessaires en eau et des caractéristiques de puit HMT, elle est calculée à partir de la relation suivante [39] :

$$E_h = \frac{g \cdot \rho_a \cdot V_a \cdot HMT}{3600} \quad (\text{II.22})$$

Où

$E_h$  : Énergie hydraulique (Wh/jour)

HMT : Hauteur manométrique totale (m)

$V_a$  : Quantité d'eau journalière ( $\text{m}^3/\text{jour}$ )

$\rho_a$  : Densité de l'eau ( $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ )

$g$  : Accélération de la pesanteur ( $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$ )

#### 8.3.3 Calcul de l'énergie électrique

L'énergie nécessaire pour soulever une certaine quantité d'eau sur une certaine hauteur donnée pendant une journée est calculée à partir de l'équation suivante [40] :

$$E_e = \frac{E_h}{\eta_{ond} \cdot \eta_{MP}} \quad (\text{II.23})$$

Où

$E_e$  : Energie électrique exprimé en (Wh/jour)

$\eta_{MP}$  : Rendement du groupe motopompe, en général entre 30% et 60%.

$\eta_{ond}$  : Rendement de l'onduleur.

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

### 8.3.4 Détermination de l'énergie solaire disponible

La méthode de dimensionnement utilisée est basée sur les calculs des valeurs moyennes journalières mensuelles de l'irradiation solaire disponible et de l'énergie hydraulique nécessaire [39].

### 8.3.5 Mois de dimensionnement

Le mois de dimensionnement sera le mois le plus défavorable, c'est-à-dire celui dont le rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaire soit minimum.

### 8.3.6 Dimensionnement du générateur photovoltaïque

Le dimensionnement du générateur photovoltaïque nécessite à [34] :

- Choisir l'inclinaison du champ ;
- Estimer l'ensoleillement minimal pendant la période de fonctionnement ;
- Déterminer l'efficacité approximative du champ.
- Estimer la capacité, en Watts-crête, que doit avoir le champ ;
- Déterminer la configuration du champ, réajuster selon les spécifications des modules.

La puissance crête du générateur photovoltaïque se calcule en fonction de nombre d'heures maximal d'ensoleillement du mois le plus défavorable pour l'inclinaison optimal et les pertes (la température, la poussière . . .). La relation de celui-ci est [34] :

$$W_C = \frac{E_e}{E_{\text{ensoleil}} \times (1 - \text{Pertes})} \quad (\text{II.24})$$

Où :

$E_{\text{ensoleil}}$  : Nombre d'heures maximal d'ensoleillement

Le choix du type de module déterminera le nombre de modules en série et en parallèle.

### 8.3.7 Dimensionnement de la pompe

La puissance nominale du groupe motopompe est calculée comme suit :

$$P_N = \frac{E_e}{E_{\text{ensoleil}}} \quad (\text{II.25})$$

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

Le puissance hydraulique est

$$P_h = 2.72 \times Q \times HMT \quad (\text{II.26})$$

Le débit crête Q (m<sup>3</sup>/h) est calculé par la relation :

$$Q = \frac{P_h}{2.72 \times HMT} \quad (\text{II.27})$$

### 8.4 Application: Dimensionnement du système de pompage de la ferme

- **Estimation des besoins en eau**

La boisson, la cuisine, la lessive et la toilette constituent les principaux usages de l'eau pour les besoins humains. Les animaux aussi ont besoin d'eau pour leur survie. La demande en eau est également primordiale dans les domaines de l'agriculture et de l'industrie, quelle qu'en soit leur ampleur.

Besoin en eau	
Humains	
Survie	5 litre/jour
Minimum admissible	10 litre/jour
Conditions de vie normales	50 litre/jour
Animaux	
Bœuf	40 litre/jour
Lapins	5 litre/jour
Cheval. Chèvres	40 litre/jour
Ane	20 litre/jour
Mottons	20 litre/jour (réserve de 8 jr)
Irrigation	
Végétaux	25 m <sup>3</sup> /jour
herbe	15 m <sup>3</sup> /jour
Total.....40.19 m <sup>3</sup> /jour	

**Tableau 18:** Estimation de besoin en eau par jour

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

- **Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire**

Considérons que la hauteur manométrique égale à 40 m

$$E_h = \frac{g \times \rho \times V_a \times HMT}{3600}$$

$$E_h = \frac{9.81 \times 1000 \times 40.19 \times 40}{3600} = 4380.71 \text{ Wh/j}$$

- **Calcul de l'énergie électrique**

Le rendement global du système ( $\eta_{mp}$  et  $\eta_{ond}$ ) est considéré de 45%.

$$E_e = \frac{E_h}{\eta_{mp} \cdot \eta_{ond}}$$

$$E_e = \frac{4380.71}{0.45} = 9734.91 \text{ Wh/j}$$

- **Calcul la puissance nominale de la pompe**

$$P_N = \frac{E_e}{E_{\text{ensoleil}}} = \frac{9734.91}{4.5} = 2163.31$$

- **Calcul le débit max Q en m<sup>3</sup>/h**

La puissance hydraulique nécessaire est :

$$P_h = P_N \times \eta_{mp} \cdot \eta_{ond}$$

$$P_h = 2163.31 \times 0.45 = 973.49 \text{ W}$$

$$P_h = 2,725 \cdot Q \cdot HMT$$

$$Q = \frac{P_h}{2.725 \times HMT}$$

Ce qui donne

$$Q = \frac{973.49}{2.725 \times 40} = 8.93 \text{ m}^3/\text{h}$$

Pour notre étude, le choix de la motopompe utilisée est porté sur une gamme de pompes proposées par le constructeur LORENTZ. Les types des pompes sont donnés dans le tableau 19.

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

PS1200	HR-10	HR-10	C-SJ5-8	C-SJ8-7	C-SJ12-4
HMT(m)	30-80	0-60	0-40	0-24	0-15
Debit max(m <sup>3</sup> /h)	1.9	2.7	7.5	11	21
Fonctionnement solaire direct	64	65	48	48	48
Generateur solair (W)	Tension nominale 72-96 V DC Tension en circuit ouvert max 200 V DC				

**Tableau 19:** Différents types des pompes

Selon nos besoins, d'une part, un débit horaire de 8.93 m<sup>3</sup>/h, et une hauteur manométrique totale de 40 m d'autre part, la motopompe adéquate sera alors la pompe **C-SJ8-7**. Pour un débit maximum de 11 m<sup>3</sup> par heure et une hauteur manométrique totale maximum de 40m. Elle fonctionne au fil du soleil.



**Figure 44:** Pompe solaire LORENTZ immergée C-SJ8-7 avec contrôleur

- **Calcul la puissance crête photovoltaïque**

Les pertes sont prises en considération de 15%.

---

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

---

$$P_{ph} = \frac{P_N}{1 - \text{pertes}}$$

$$P_{ph} = \frac{2163.31}{0,85} = 2545.07 \text{ W}$$

Quel que soit le système, les nombres de modules (en séries et/ou en parallèles) calculés ne sont pas des entiers ; IL faut donc les arrondir pour trouver la nouvelle puissance corrigée [40].

Dans la pratique, il est difficile de trouver une connexion des modules qui donne une puissance de 2545.07 W, pour cette raison ont arrondi la puissance à 2385 W. Le sous dimensionnement est de

$$S = \frac{2545.07 - 2385}{2385} = 7\%$$

On s'intéresse à la gamme des modules de 250 W, 260 W, 265 W du constructeur CONDOR (Fiche technique : tableaux 12-13)

Maintenant on va calculer le nombre des modules nécessaire et leur association série/parallèle en tenant compte la tension nominale du fonctionnement de la pompe.

Le choix optimal est de prendre panneaux de 265 W pour compenser le sous dimensionnement tel que :

2340 W  $\Rightarrow$  9 modules

X  $\Rightarrow$  10 modules

$$X = \frac{2385 \times 10}{9} = 2650 \text{ W}$$

Donc le système sera surdimensionné de :

$$\frac{2650 - 2545.07}{2545.07} = 4 \%$$

Donc en utilise 10 modules de 265

5 en serie.

2 en parallèle .

## CHAPITRE II Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

### 8.5 Les paramètres et matériel choisi pour le système de pompage

		Nombre/heures de marche	Puissance totale (W)	Consommation journaliere (W)	Production journaliere (W)
<b>Pompe solaire C-S18-7</b>		1/8 h	1500	12000	/
<b>Module PV monocristallin</b>		10	265	/	2650
<b>cables</b>	Longueur	15 mètre	/	/	/
	Section	10 mm <sup>2</sup>			

**Tableau 20:** Materieux utiliser dans le système de pompage

### 8.6 Conclusion

Dans le présent chapitre, après une présentation de la ferme, de ses besoins en pompage et stockage par batteries, le dimensionnement de ces trois sous-systèmes a été effectué. Le troisième chapitre sera consacré à l'étude Le coût total pour la fourniture et la pose d'une installation de panneaux solaires photovoltaïques en 2021 suivant les équipements qui sont mis en œuvre, les garanties proposées et des difficultés de l'installation de panneaux solaires.

**Chapitre III Etude technico-économique du système étudié**

### 1 Introduction

Suite à notre étude du système d'installation d'une chaîne photovoltaïque, il est important d'évaluer le coût annuel total de notre système. Alors, nous procédons à la détermination économique et énergétique du coût global actualisé du kWh fourni. Le prix du kWh produit par cette installation solaire photovoltaïque dépend des coûts fixes à l'investissement initial (achat du matériel et travaux) et surtout de la durée considérée pour l'amortissement de l'investissement. Le choix technique et économique de l'une des formes des énergies renouvelables est tributaire de la connaissance de plusieurs paramètres à savoir : la puissance électrique requise, et le coût d'investissement.

L'analyse économique préalable de l'une de ces formes d'énergies renouvelables revêt une importance capitale.

### 2 Étude technico-économique des systèmes PV

Les prix de l'équipement utilisé pour l'étude économique sont obtenus auprès des entreprises fabricantes en ALGERIE : CONDOR et ALGERIA SOLAR COMPANY. Donc on ne prendra plus en TVA, les frais de transport.

ystème	Désignation	Caractéristique	Puissance Installée w	Quantité	Prix unitaire DA	Montant DA
DC	Module monocristallin	250W-48V	2000	10	15000	150 000
	Supports pour les modules	/	/	10	5 000	50 000
	Génie-civil	/	/	/	5 000	5 000
	Armoire de commande	/	2000	1	15 000	15 000
	Câble et divers	/	/	/	25 000	25 000
	Régulateurs	50A/24V	2000	1	17 000	17 000
	batteries	130A/12V	2000	8	60 000	480 000
	Coût de Fonctionnement Annuel	/	/	/	50 000	50 000
	Coût totale	/	/	/		787 000

**Tableau 21:** Etude technico économique du système PV alimentant les leds

## Chapitre III Etude technico-économique du système étudié

système	Désignation	Caractéristique	Puissance installée	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant DA
<b>AC</b>	Module mono-cristallin	250 w-24V	1000	7	15 000	105 000
	Supports pour les modules	/	/	7	5 000	35 000
	Génie-civil (Enclos pour les modules)	/	/	/	5 000	5 000
	Armoire de commande	/	1000	1	15 000	15 000
	Câble et divers	/	/	/	20 000	20 000
	onduleur		1000		50 000	50 000
	Régulateurs		1000		17000	17 000
	batteries	12V		4	60 000	240 000
	Cout de fonctionnement annuel (entretien de 4 visites par ans)	/	/	/		50 000
	Cout totale	/	/	/	/	537 000

**Tableau 22** : Etude technico économique du système PV alimentant le système AC

Système	Désignation	Caractéristique	Puissance installée	Quantité	Prix unitaire DA	Montant DA
<b>PV alimentant une pompe solaire</b>	Module mono cristallin	265 Wc/ICO MAX 200V	2650W	10	17 000	170 000
	supports pour les modules	/	/	10	5 000	50 000
	Génie civil ( enclos pour les modules)	/	/	/	5 000	5 000
	armoire de commande	/	2650 W	/	15 000	15 000
	câble et divers	/	/	/	/	17 000
	Cout de fonctionnement annuel (entretien de 4 visites par ans)	/	/	/	/	50 000
	Totale	/	/	/	/	307 000

**Tableau 23** : Etude technico économique du système PV alimentant une pompe solaire

LE COUT TOTALE .....1 631 000 DA.

### 3 Etude de la rentabilité du projet

$$IR = \frac{\text{la somme économisées durant la durée de vie de cette installation}}{\text{le cout globale de l'installation}}$$

**IR** : indice de la rentabilité du projet :

- Rentable Si  $IR \geq 1$

- Pas rentable si  $IR < 1$

#### 3.1 Les sommes économisées pendant 20 ans

L'installation produira au minimum **25.3 KWh** par jour, la production annuelle sera égale alors à **23.8 x 365 = 9234.5 KWh/an.**

La durée de vie de l'installation est estimée à **20 ans** d'où sa production durant cette période sera égale à

$$9234.5 \times 20 \text{ ans} = 184690 \text{ KW.}$$

Le coût du KWh produit à base d'hydrocarbure est estimé à **5,50 DA** en TTC d'où la somme économisée durant la durée de vie de l'installation est :

$$184690 \times 5,50 \approx 1015795 \text{ DA/20ans}$$

Le cout global de l'installation est 1 631 000 DA

$$IR = \frac{1015795}{1\ 631\ 000} = 0.62$$

D'où l'installation n'est pas rentable.

#### 3.2 La durée d'amortissement de l'installation

$$\text{La durée d'amortissement} = \frac{\text{le cout globale de l'installation photovoltaïque}}{\text{le prix de la facture sonalgaz régler par an}}$$

#### 3.3 Le prix facture sonalgaz:

La carrière consommé **9234.5 KWh/an** d'où le prix de la facture de Sonalgaz s'élève à **50789.75 DA/AN**

Donc :

$$50789.75 \times 20 = 1015795 \text{ DA/20ANS}$$

---

## Chapitre III Etude technico-économique du système étudié

---

Le cout global de l'installation 1 631 000

$$\text{D'où : la durée d'amortissement} = \frac{1631\ 000}{50789.75} = 32 \text{ ans}$$

### 4 Le prix du kilowattheure solaire produit

$$\text{Le prix de } KW H_{\text{solaire}} = \frac{\text{le cout globale de l'installation photovoltaïque}}{\text{la production de cette installation durant sa durée de } v}$$

$$\text{le prix de } KW_H = \frac{1631000}{184690} = 8.831 \text{ DA}$$

### 5 Discussion et analyse des résultats du l'installation dimensionnée

Les tableaux montrent que pour une production de 25.3 kW par jour, selon la valeur de consommation relevée à partir du poste MT/BT, notre budget d'investissement est estimé à :

**1 631 000DA.**

Suite aux résultats trouvés, l'amortissement de l'investissement du projet est estimé de 10 à 20 ans, et la durée de vie des batteries est de 10ans, aussi nous considèrerons ces batteries Serons remplacées deux fois pendant la durée de projet.

La durée d'amortissement de ce projet est de 32 ans, ce problème existe toujours tant que les frais de l'installation ne sont pas subventionnés par l'état.

l'indice de rentabilité est inferieur à 1 ce qui rend ce projet non rentable tant que le décret exécutif n°5 du journal officiel n°33 est toujours non appliqué. « Les producteurs d'énergie verte peuvent bénéficier de primes à travers la vente de leur électricité à un tarif d'achat garanti. Ce tarif sera fixé par arrêté du ministre chargé de l'Énergie».

### 6 Installation et maintenance

Le montage d'une installation PV ne diffère pas beaucoup de celui électrique traditionnel. Cependant les particularités du courant continu et de la basse tension liée aux grands courants imposent certaines précautions particulières. Les panneaux solaires devant être montés à l'extérieur, une série de problèmes liés à l'environnement peuvent apparaître : corrosion ou vieillissement en fonction de la salinité, des matériaux et des choix de montage.

### 6.1 Installation mécanique et électrique

Pour le montage des modules, on adoptera un montage sur châssis au sol puisque la surface à mettre en œuvre est importante. En ce qui concerne l'orientation et l'inclinaison des modules. On aura la situation suivante en fonction de la latitude du site étudié.

L'installation des autres composants se fera dans un local bien aéré pour éviter surtout les pertes au niveau des batteries dues à la variation de la température réduisant la capacité de stockage. En ce qui concerne la connexion électrique du système, il faudra connecter, d'abord la batterie aux bornes du régulateur en respectant scrupuleusement la polarité, ensuite l'onduleur à la batterie et en fin le régulateur aux panneaux solaires.

L'onduleur sera mis à la terre ou à la masse selon les normes, pour éviter à ce que la foudre ne se propage dans le câblage et ne détruise les équipements.

### 6.2 Maintenance

Les composants photovoltaïques nécessiteront des opérations de maintenance et surtout des contrôles pour s'assurer du bon fonctionnement du système.

#### 6.2.1 Modules

L'entretien des modules se fera chaque fois pour assurer que rien ne gêne l'arrivée du rayonnement et que l'énergie produite est transmise au régulateur. On fera donc :

- Le nettoyage de la face avant des modules à l'eau claire tous les 3 à 6 mois environ pour enlever les salissures, le sable, les éventuels nids.
- Une vérification des supports : surveillance des corrosions éventuelles, serrage des fixations mécaniques.
- L'élagage de la végétation tout autour si elle a poussé
- La vérification des connexions

#### 6.2.2 Batteries

Les opérations de maintenance et les contrôles sur les batteries doivent être effectués avec de l'outillage isolé et en observant les règles de sécurité pour éviter tout court-circuit. On fera donc des opérations de maintenance et les contrôles suivants :

- La mesure de la tension de chaque élément et report des valeurs dans un tableau.

---

## Chapitre III Etude technico-économique du système étudié

---

- Le contrôle de l'aspect : bac normale, non déformé, bornes propres (sinon les nettoyer).
- L'entretien des connexions et nettoyage des contacts
- Le contrôle visuel des niveaux d'électrolyte : ajoute de l'eau distillée si nécessaire (il y a deux indicateurs de niveau MAX et MIN).
- La mesure de la densité de l'électrolyte de chaque élément.

### 6.2.3 Régulateurs

Les nécessitent en principe très peu d'entretien. Les éléments à contrôler sont la fixation du régulateur, le serrage des borniers et la tenue des câbles. Les paramètres de fonctionnement ne devant pas changer dans le temps, sauf après une surcharge occasionnée, par exemple par un impact de foudre proche du système, dans un tel cas on surveillera que le fonctionnement de fin de charge est correct et que la charge s'arrête.

Au vu de ces résultats obtenus, le système PV étudié présente des avantages et des inconvénients, qui sont résumés sur le tableau ci-dessous. Le système photovoltaïque présente un cout d'investissement important, un entretien très réduit et un faible cout d'exploitation. [42]

Ces avantages et inconvénients doivent être pris en considération lorsqu'un investissement est à effectuer. Lors de notre analyse des hypothèses sur certains paramètres pouvant variés dans d'importantes proportions qui ont été apportées. Il s'agit des prix variables en fonction de la qualité et de la quantité du matériel. [33]

/	Avantages	Inconvénients
<b>Système PV</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Faible maintenance</li><li>· Propre</li><li>· Installation facile</li><li>· Fiable sur long terme</li><li>· Faible cout périodique</li><li>· Système modulable</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Cout important d'investissement</li><li>· Le rendement baisse en fonction des irradiations</li><li>· Sensible au taux d'actualisation</li></ul>

**Tableau 24:** Avantages et inconvénients du système PV.

### 6.3 Recommendations- perspectives

Cette production de l'énergie propre, participerait à la protection de l'environnement. Chacune de ces structures devra utiliser une partie de son budget, évidemment prévu à cet effet, pour le

---

## Chapitre III Etude technico-économique du système étudié

---

financement de ces projets. Ainsi les factures d'électricité consommée par ces structures étatiques impayées seront prises en compte d'une manière ou d'une autre [28].

Vu l'importance des énergies renouvelables dans le développement socio-économique des populations, la promotion de ces d'énergie est nécessaire. Il parait opportun de formuler les recommandations suivantes :

- \_ Identifier et caractériser tout le potentiel national en source d'énergie renouvelable,
- \_ Promouvoir les projets de mise en exploitation de ces sources renouvelables,
- \_ Généraliser le projet étudié aux autres institutions et structures de l'état,
- \_ Diversifier les sources d'énergie et surtout renouvelable dans la généralisation du projet, c'est à dire utiliser l'énergie éolienne dans les structures située dans la région côtière de pays,
- \_ Remplacer les lampes par des lampes solaires plus économiques du point de vu énergétique.

## 7 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à l'étude économique détaillée entre les différents composants de l'installation PV. L'étude a porté sur la comparaison de couts des différents éléments constitutifs de l'installation afin de choisir la combinaison la plus économique et la mieux adaptée au besoin journalier des différentes consommations devant être alimentés par la mini centrale. Ainsi, nous avons estimé le prix de revient total des composantes de la mini centrale photovoltaïque à installer

---

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

Les énergies renouvelables vont assurer une grande partie de notre avenir énergétique c'est la solution idéal a nos problèmes énergétiques maintenant et même au futur.

Dans ce travail on a proposé une alimentation en énergie photovoltaïque d'une ferme agricole. Les études ont été faites sur la base d'un bilan de consommation journalière établi au niveau de cette ferme. Nous avons recensé tous les appareils électriques dont dispose, le dimensionnement a été fait en prenant le mois de décembre comme mois de référence suite à un fichier météo établi par une entreprise franco-algérienne spécialisée dans les installations photovoltaïques.

On a développé une méthode de calcul de différents dimensionnements et les résultats montrent également que l'utilisation du système PV comme système principal améliore le cout et la rentabilité économique.

A fin de réussir une installation photovoltaïque, nous avons motionné une étude détailler concernant la méthode de dimensionnement d'une installation PV pour une ferme à ZEMOURA (BORDJ BOURIRIDJ ) en tenant en compte la consommation totale des appareille électrique utiliser dans l'installation son oublier l'éclairage extérieure.

L'énergie produite dépend directement des fluctuations permanentes des conditions météorologiques de notre site d'utilisation et de la charge imposée par l'utilisateur ainsi qu'aux nombre de jours d'autonomie.

Notre système et formé des modules individuels d'une puissance nominale 250 watt chacune destinée à l'alimentation du nos appareils électriques qui consomment quotidiennement une énergie électrique qui se diffère d'une saison à une autre.

La présence de l'onduleur dans notre application a pour but de convertir le courant continu produit par les panneaux photovoltaïques en courant alternatif, qui sera distribué via nos appareils électriques. Est pour la maintenance du notre installation leur procédure du la maintenance son comme suivante :

- Un nettoyage des faces des modules PV avec de verification des support de connexion
- Verifier l'état du charge de regulateur
- Resserrage des borniers de cables.

---

## **Conclusion générale**

---

Enfin, nous avons conclu que les systèmes PV autonomes peuvent jouer un rôle très important en apportant une solution réellement économique pour couvrir les besoins de base en électricité, puisque près d'un tiers de la population mondiale vit sans accès à l'électricité principalement dans les pays en voie de développement.

---

## Reference bibliographie

---

### Reference :

[1] : extrait d'un cours « les énergies renouvelable »2021.

[7] : L'ionosphère est l'atmosphère supérieure d'une planète.

[8] : L'albédo, ou albédo, est le pouvoir réfléchissant d'une surface, c'est-à-dire le rapport de l'énergie lumineuse réfléchi à l'énergie lumineuse incidente

[11] : M. Z. F.Z. Zerhouni, "Optimisation d'un système à énergie verte avec validation pratique," Revue des Energies Renouvelables, vol. 11, no. N°1, p. 41–49, 2008.

[12] : Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric shiller, Bocar sada « le pompage photovoltaïque ». Manuel de cours, université d'Ottawa ; 1998

[13] : Mark Hankins « installations solaires photovoltaïques autonomes » la partie orientation des panneaux solaires, paris 2012.

[14] : Y. JAUTARD et T. BOUDOL, "Architecture et énergies renouvelables" réalisé par l'Agence Méditerranéenne de l'Environnement (AME) et l'Ordre des Architectes du Languedoc-RoussillonRédaction, 2000.

[15] : belabed rafik « Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque » un extrait d'un ombrage 2017.

[16] : Sunedison. L'effet photovoltaïque. Manuel de formation pour l'installation et la maintenance des petits systèmes photovoltaïques.2019.

[17] : Ressources pour les STIED, Septembre- Octobre 2011

[18] : Nichiporuk Oleksiy « Simulation, fabrication et analyse de cellules photovoltaïques à Contacts arrière interdigués ». Thèse de doctorat, L'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2005.

[19] : M. Kenane, S. Sadoudi « **Modélisation de modules photovoltaïques en milieu réel D'implantation** », Mémoire de Master II, département de génie mécanique, faculté du génie De la construction, UMMTO 2013.

---

## Reference bibliographie

---

[20] : M. Kenane, S.Sadoudi « Modélisation de modules photovoltaïques en milieu réel d'implantation », Mémoire de Master II, département de génie mécanique, faculté du génie de la construction, UMMTO 2013.

[21] : M.L. LOUAZENE, D. KORICHI et B. AZOUI : Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque application sur le site de ouargla. Mar

[22] : LOUZAZNA (B.) et MADI(S.), mémoire de master option énergies renouvelables : étude et caractérisation d'un panneau photovoltaïque type condor, université A. MIRA de Bejaia, 2014-2015, P.27.

[23] : AURIAN (A.), installations photovoltaïques autonomes.les clés de la conception et de dimensionnement, éd .HK.2015, paris P.37.

[24] : Helali Kamelia « **Modélisation d'une cellule photovoltaïque : Etude comparative** », Mémoire de magister, département d'électrotechnique, faculté du génie électrique, UMMTO 2012.

[25] : Cours sonelgaz « **l'énergie solaire photovoltaïque** », documentation SKTM, Ghardaïa

[28] : Othmane Benseddik, Fathi Djaloud, « Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque », mémoire de master, université KasdiMarbah- Ouargala, 2012.

[29] : Sylvain et Brigand, « Installation solaire photovoltaïque », Février2011

[30] Cours sonelgaz« l'énergie solaire photovoltaïque », documentation SKTM, Ghardaïa

[33] : K. Thierry et S. Maurice : Système photovoltaïque : Dimensionnement pour pompage d'eau, pour une irrigation goutte-à-goutte. ZOUGMORE François.

[34] : R. JIMMY, D. THOMAS, S. ERIC et S.S. BOCAR : Le pompge photovoltaïque. Eric Schiller, 17 février 2007.

[35] : [Http : //re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php).

[36] : B-EQUER « Energie solaire photovoltaïque » vol 1 : physique et technologie de la conversion photovoltaïque 2009

---

## Reference bibliographique

---

[37] :alaheddine Bensalem, « Effets de la température sur les paramètres et caractéristiques des cellules solaire », université Farhat Abbas- Setif, mémoire de magister, 2011

[39] : A.HADJ ARAB, M.BENGHANEM et A.GhARBI : Dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque. 2005.

[40] : M.L.LOUAZENE, D.KORICHI et B.AZOUI : Dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque application sur le site de ouargla. Mars 2013.

[41] : Maxime Montaru, « Contribution A L'évaluation Du Vieillissement Des Batteries .

[30] : A. HADJ ARAB, M. BENGHANEM et A. GhARBI : Dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque. 2005.

## Site web

[2] : <https://www.comptoireolien.fr/un-regulateur-solaire-a-quoi-sa-sert/index.html>

[4] : <https://phys.org/news/2006-03-probing-earth-core.html>

[5] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie\\_solaire](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_solaire)

[6] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie\\_solaire](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_solaire) 33 L'ionosphère est l'atmosphère supérieure d'une planète

[9] : <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/chaleur-Terre-geothermie.xml>

[10] : <http://sante.lefigaro.fr/mieux-etre/beaute/peau-soleil/rayonnement-solaire>

[26] : <https://www.quelleenergie.fr/questions/capacite-duree-vie-batteries-solaires>

[27] : <https://www.google.dz/search?q=%2Bquels%2Bont%2Bles%2Bcrit%C3%A8res%2Bde%2Bchoix%2Bd%27une%2Bbatterie%2B%2Bsolaire>

[31] : <https://www.batterie-solaire.com/boite-de-jonction-solaire-6-champs-gjb-61-150-v-60-a-c2x24078512>

---

## Reference bibliographie

---

[32] : <https://www.ecolodis-solaire.com/conseils/cablage-et-securite-d-une-installation-photovoltaique-en-site-isole-choisir-son-cablage-solaire-39>

[37] : [https://fr.made-in-china.com/co\\_andyconpo/image\\_1000W-6000W-12V-24V-48V-Pure-Sine-Wave-Inverter-built-in-Charging-system-transformer-base-\\_rirunurog\\_ptSYVliKCdbL.html](https://fr.made-in-china.com/co_andyconpo/image_1000W-6000W-12V-24V-48V-Pure-Sine-Wave-Inverter-built-in-Charging-system-transformer-base-_rirunurog_ptSYVliKCdbL.html)

[38] : <https://www.ase-energy.com/connecteur-mc4-pour-panneau-solaire-c2x30551066>

## Annexe

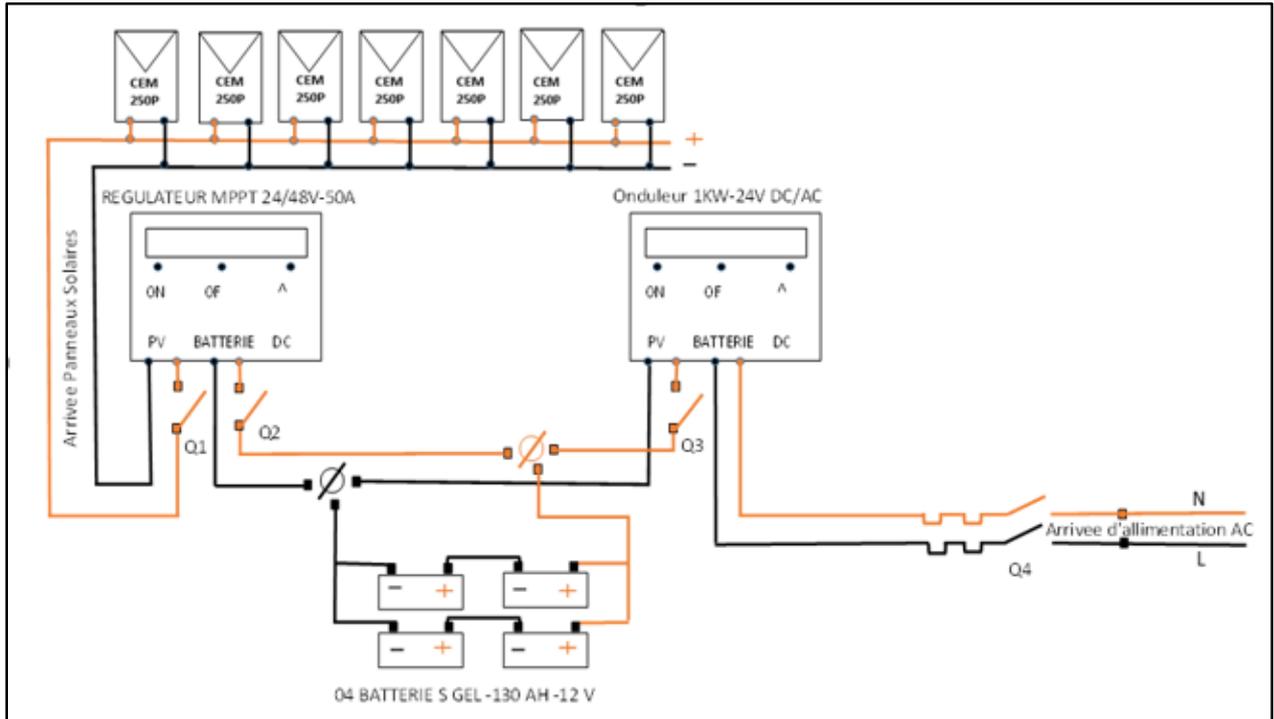


Schéma électrique solaire appliqué sur l'installation AC

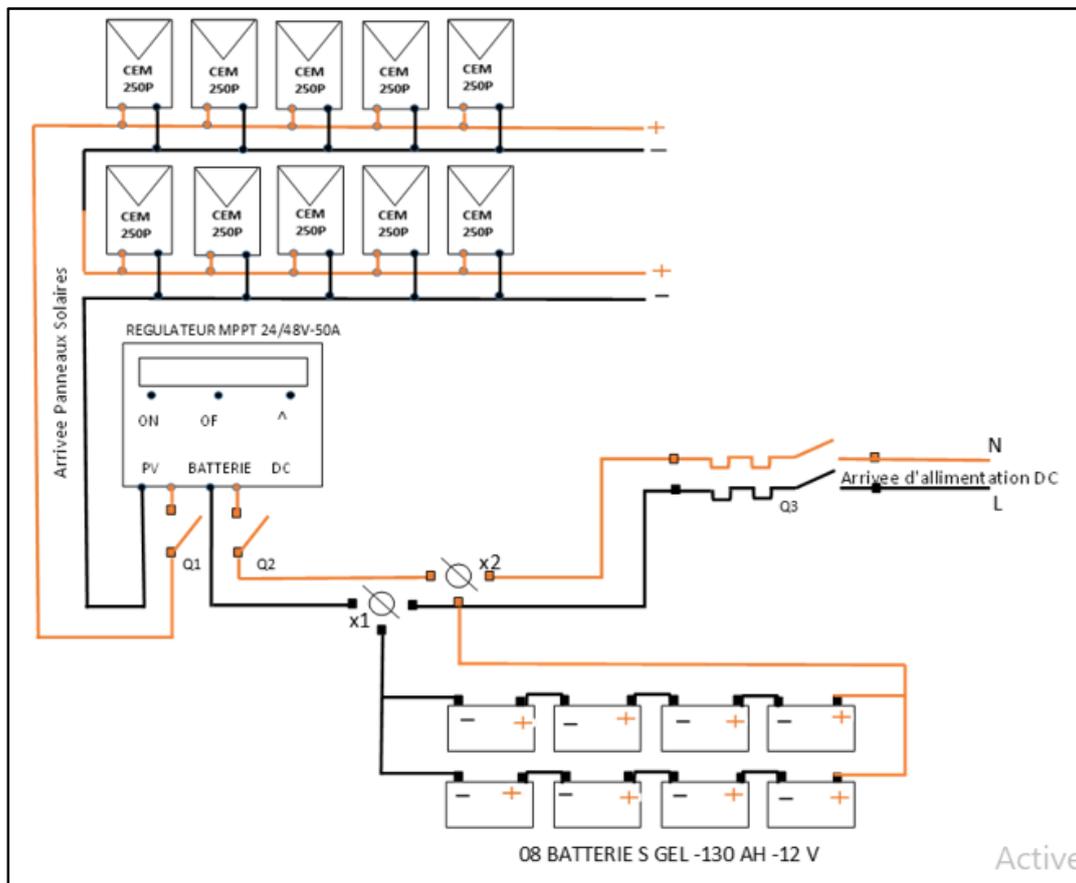


Schéma électrique solaire appliqué sur l'installation DC

## Annexe

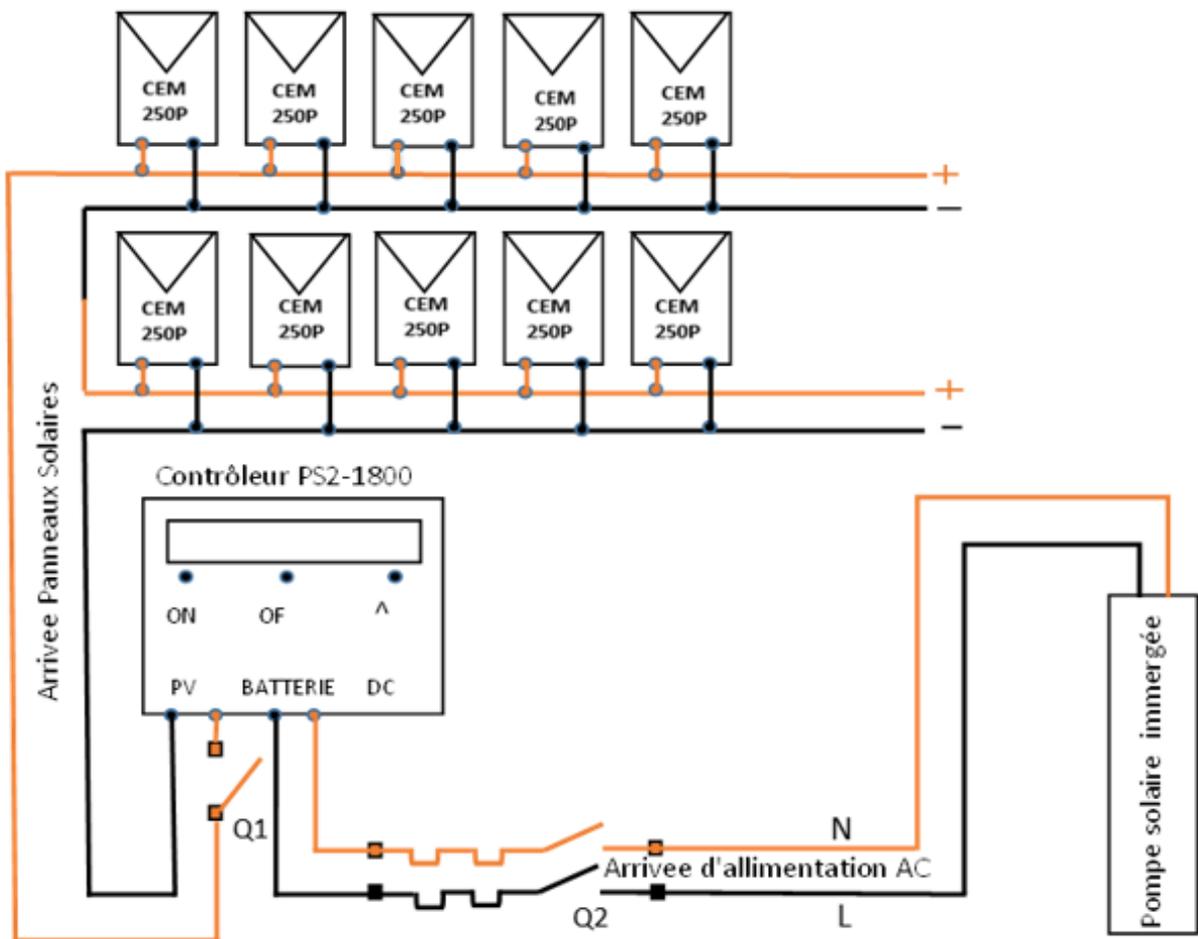


Schéma électrique solaire appliqué sur l'installation pompage

Tension d'entrée max	200 VDC
Hauteur Manométrique maximum	40 m
Débit maximum	13,00 m3/heure
Puissance	1800 W
Courant	n.c.
Degré de protection	IP 68
Dimensions	352*207*124 mm (pour le contrôleur), 684*98 mm (pour la pompe)
Poids	20,00 Kg
Marque	LORENTZ

Caractéristique de la pompe solaire utiliser