

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية  
Université de Ghardaïa

N°d'enregistrement



كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
قسم الآلية و الألكتروميكانيك  
Département d'automatique et électromécanique  
Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme  
**Master**

**Domaine :** Sciences et Technologie  
**Filière :** Energies Renouvelables  
**Spécialité :** Energies Renouvelables en Electrotechnique

## Thème

**Etude d'une centrale solaire photovoltaïque autonome :  
exemple pour l'alimentation de la salle de conférence de  
l'Université de Ghardaïa**

**Présenté par :**  
**KAOUZ Riad Abdelghani**  
**LAGHZAL Mounir**  
Soutenu publiquement le 11/06/2022

Devant le jury composé de:

<b>TOUAFEK Khaled</b>	<b>Directeur de recherche</b>	<b>URAER- Ghardaïa</b>	<b>Encadrant</b>
<b>CHENINI Keltoum</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université de Ghardaïa</b>	<b>Examineur</b>
<b>BOUCHAKOUR Abdelhak</b>	<b>MRA</b>	<b>URAER Ghardaïa</b>	<b>Examineur</b>

Année universitaire : 2021/2022

## *Remerciements*

*On tient tout d'abord à remercier notre encadrant Mr  
TOUAFEK Khaled, Directeur de recherche à l'URAER, qui  
a proposé et dirigé ce travail, on lui est extrêmement  
reconnaissants pour ses précieux conseils, orientations,  
patience qui ont constitué un apport considérable sans  
lesquels ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.*

*On remercie aussi les membres de jury qui ont fait  
l'honneur de bien vouloir examiner ce travail.*

*Nos remerciements vont également à tous nos amis.*

*À toute la promotion énergies renouvelables  
électrotechnique 2021/2022.*

## Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

*Maman, je vous dédie ce modeste travail les fruits de vos longues années de sacrifices, vous étiez toujours investie et soucieuse de ma réussite dans les études ainsi que mon bonheur, je vous exprime plus que jamais mes profondes reconnaissances*

*Ma grande mère que dieu me la garde  
Mon binôme et meilleur ami «Mounir »  
Tous mes amis et mes collègues  
Et à toute la famille*

*« Riad »*

## Dédicace

*Je voudrais dédie cet humble travail A :*

*Mes très chers parents pour leurs  
sacrifices, leurs*

*Patiences et leurs Encouragements*

*Mon cher frère & Mes sœurs*

*Ma grande mère que dieu me la garde*

*Mon binôme et meilleur ami «Riad »*

*A tous mes camarades et mes amies.*

*Et à toute la famille*

*« Mounir »*

## **Résumé :**

Le projet proposer est basé sur l'étude technique d'une installation photovoltaïque autonome. L'étude technique est concentrée en premier lieu à l'étude de faisabilité de l'installation PV proposé. Cette étude seras suivit par une étude complète de dimensionnement de l'installation pour alimenter la salle de conférence. En effet l'étude technique consiste à dimensionné tous les éléments de l'installation photovoltaïque.

Mot clé : irradiation solaire,kit solaire, stockage, câble de connexion, photovoltaïque, salle de conférence.

## **ملخص:**

يعتمد المشروع المقترح على الدراسة الفنية لمنشأة كهروضوئية مستقلة. تتركز الدراسة الفنية في المقام الأول على دراسة جدوى التركيب الكهروضوئي المقترح ، وستتبع هذه الأخيرة دراسة كاملة لحجم التركيب اللازم لتشغيل قاعة المحاضرات. تتمثل الدراسة الفنية في تحديد حجم جميع عناصر التركيب الكهروضوئي.

كلمات مفتاحية: الإشعاع الشمسي ، مجموعة الطاقة الشمسية ، التخزين ، كابل التوصيل ، الطاقة الكهروضوئية, قاعة المحاضرات جامعة غرداية.

## **Abstract:**

The proposed project is based on the technical study of an autonomous photovoltaic installation. The technical study is concentrated in the first place on the feasibility study of the PV installation proposed, this study will be followed by a complete study of the sizing of the installation for feeding lecture hall. Indeed the technical study consists in sizing all the elements of the photovoltaic installation.

Key words: solar irradiation, solar kit, storage, connection cable, photovoltaic, lecture hall.

<b>Sommaire.....</b>	<b>i</b>
<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>vi</b>
<b>Liste des figures.....</b>	<b>viii</b>
<b>Liste des abréviations explicitées.....</b>	<b>x</b>
<b>Introduction générale.....</b>	<b>01</b>

## **Chapitre I : Le rayonnement solaire et systèmes photovoltaïques**

I.1.Introduction.....	03
I.2.Le rayonnement solaire.....	03
a) Le rayonnement direct .....	03
b) Le rayonnement diffus .....	03
c) Le rayonnement réfléchi .....	04
d) Le rayonnement global .....	04
I.3.Principe de la conversion photovoltaïque.....	04
I.4.Systèmes photovoltaïques.....	05
I.5.Les éléments d'un système photovoltaïque.....	06
I.5.1.Modules photovoltaïques.....	06
I.5.2.Régulateur de charge et décharge.....	06
I.5.3.Batteries d'accumulation.....	06
I.5.4.Onduleur de tension.....	07
I.5.5.Contrôleur DC/DC.....	07
I.5.6.Récepteurs et charges.....	08
I.6.Les différentes installations (systèmes) photovoltaïques.....	08
I.6.1.Les installations sur site isolé.....	08
I.6.2.Les installations raccordées au réseau de distribution public.....	09
a) Solution avec injection totale.....	09
b) Solution avec injection de surplus.....	10
I.7.Conclusion.....	10

### Chapitre II : Technique de dimensionnement d'un système PV

II.1.Introduction.....	11
II.2.Paramètres d'entrée intervenants dans le dimensionnement .....	11
II.2.1.Paramètres relatifs au système PV.....	11
II.2.2.Paramètres relatifs au site d'installation .....	11
II.2.3.Paramètres concernant le module PV .....	12
II.2.4. Paramètres concernant les batteries de stockage .....	12
II.2.5.Paramètres concernant le régulateur de charge .....	12
II.2.6.Paramètres concernant l'onduleur.....	12
II.2.7. Paramètres concernant la charge .....	13
II.3Méthodes de dimensionnement d'un système PV .....	13
II.3.1.Méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation .....	13
II.3.2.Méthode du mois le plus défavorable .....	13
II.3.2.1.Dimensionnement du champ PV par la méthode du mois le plus défavorable.....	13
a) Calcul de la puissance crête totale du champ PV .....	13
b) Choix de la tension de fonctionnement du champ PV.....	14
c) Détermination du nombre de modules à installer .....	14
II.3.3.Méthode de la moyenne annuelle .....	15
II.3.4. Méthode LPSP .....	15
II.3.5.Méthode des heures équivalentes .....	15
II.3.6.Méthode itérative .....	16
II.3.7.Méthode utilisabilité solaire.....	18
a) Calcul du rendement moyen.....	18
b) Énergie électrique produite par les panneaux PV .....	18
II.3.8.Méthode simplifiée .....	19
Etape1 : Estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité .....	19
Etape 2 : Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur PV.....	19

Etape 3 : calcul du nombre de panneaux solaire .....	20
Etape 4 : calcul de nombre de batteries.....	20
Etape 5 : Choix de régulateur .....	20
Etape 6 : Choix de l'onduleur .....	21
Etape 7 : Dimensionnement des câbles .....	21

### **Chapitre III Conception D'une centrale solaire photovoltaïque autonome**

III. 1 Introduction.....	23
III.2 Modélisation du système photovoltaïque.....	23
III.2.1 Modèle à une diode .....	23
III.2.2 Modèle à deux diodes.....	24
III.3 Définition du besoin électrique .....	25
III.3.1 Inventaire des appareils.....	25
• Eclairage.....	25
• Equipement courant à faible puissance électrique .....	25
• Equipement courant à forts puissance électrique .....	25
III.3.2 Calculs des besoins électriques.....	26
III.4 Evaluation du gisement solaire locale .....	27
III.4.1 Influence de la localisation sur le gisement solaire.....	28
• La longitude .....	28
• La latitude .....	28
• L'altitude .....	28
• La nébulosité .....	28
• L'airmass.....	28
III.4.2 Angle d'inclinaison optimale du module PV.....	29
III.4.3 Orientation du module PV.....	30
III.5 Qualité d'une installation photovoltaïque autonome.....	30
III.5.1 Rendement des modules.....	31



## Sommaire

---

III.5.2 Pertes par échauffement des câbles.....	32
III.5.3 Rendement du régulateur.....	33
III.5.4 Pertes par absence du MPPT.....	33
III.5.5 Rendement des batteries.....	34
III.5.6 Rendement de l'onduleur.....	34
III.5.7 Autres pertes.....	34
III.5.8 Le ratio de performance .....	35

## **Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par une centrale photovoltaïque autonome**

IV.1.Introduction.....	36
IV.2.Site d'implantation.....	36
IV.2.1.Climat de Ghardaïa.....	37
IV.3.Gisement solaire de Ghardaïa.....	37
IV.3.1.Base de données de mesure .....	38
IV.3.2.Valeurs mensuelles et annuelles du rayonnement global.....	39
IV.3.3.Distribution du rayonnement global horaire.....	39
IV.3.4.Pourcentage de fréquence de distribution du rayonnement global.....	40
IV.3.5.Résultat.....	41
IV.4.Angle d'inclinaison optimale pour la région de Ghardaïa.....	41
IV.5.Dimensionnement d'un centrale PV pour l'alimentation de la salle de conférence....	42
IV.5.1.Bilan de la consommation .....	43
a) Salon d'honneur.....	43
b) Kitchenette.....	43
c) Sanitaire VIP .....	43
d) Salle de commission.....	44
e) Hall d'entrée plus couloir .....	44
f) Salle de conférence .....	44

## Sommaire

---

IV.5.1.1.Calculs et choix des éléments du système.....	45
IV.5.2.Bilan de la consommation avec économisassions d'énergie.....	48
a) Salon d'honneur.....	48
b) Kitchenette.....	49
c) Sanitaire VIP .....	50
d) Salle de commission.....	50
e) Hall d'entrée plus couloir.....	50
f) Salle de conférence.....	51
IV.5.2.1.Calculs et choix des éléments du système.....	52
IV.6.Conclusion.....	53

## Chapitre V : résultats et discussion

V.1.Introduction.....	55
V.2.Simulation des résultats avec PVSYST.....	55
V.2.1.Résultats pour l'étude normale.....	55
a. Energie journalière a la sortie du système.....	55
b. Distribution de l'irradiation incidente.....	56
c. Distribution de la puissance du champ PV.....	56
d. Diagramme d'ente/sortie journalier.....	57
V.2.2.Résultats pour l'étude économique.....	58
V.3.Conclusion.....	58

Liste des tableaux

**Chapitre III Conception d'une centrale solaire photovoltaïque**

**Tableau III.1** : Exemples d'ampoules électriques et leurs puissances.....26

**Tableau III.2** : Exemples d'appareils à faible puissance.....26

**Tableau III.3** : Exemples d'appareils à forte puissance.....26

**Tableau III.4** : Exemple de calcul du besoin électrique d'une maison.....27

**Tableau III.5** : Rendement d'une cellule PV selon sa technologie.....31

**Tableau III.6**: Rendement moyen d'un régulateur photovoltaïque.....33

**Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa  
par une centrale photovoltaïque autonome**

**Tableau IV.1** : données climatique à Ghardaïa.....37

**Tableau IV.2** : Valeurs mensuelles et annuelles du rayonnement global (kWh/m<sup>2</sup>) sur un plan....39

**Tableau IV.3** :distribution du rayonnement global horaire (Wh/m<sup>2</sup>) reçu sur un plan horizontal...39

**Tableau IV.4** :Pourcentage de fréquence de distribution du rayonnement global journalier.....40

**Tableau IV.5**: Angle d'inclinaison optimal mensuel.....41

**Tableau IV.6**: Angle d'inclinaison optimal saisonnier.....41

**Tableau IV.7**: Tableau donne les appareils utilisés pour Salon d'honneur.....43

**Tableau IV.8**: Tableau donne les appareils utilisés pour Kitchenette.....43

**Tableau IV.9**: Tableau donne les appareils utilisés pour Sanitaire VIP.....43

**Tableau IV.10**: Tableau donne les appareils utilisés pour Salle de commission.....44

**Tableau IV.11**: Tableau donne les appareils utilisés pour Hall d'entre plus couloir.....44

**Tableau IV.12**: Tableau donne les appareils utilisés pour Salle de conférence.....44

**Tableau IV.13**: Tableau donne l'information utilisée pour Bluesolar.....45

**Tableau IV.14**: Etude coût du système PV alimentant la salle de conférence.....45

**Tableau IV.15**: Tableau donne les appareils économiques utilisés pour la salle d'honneur.....48

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau IV.16:</b> Tableau donne les appareils économiques utilisés pour kitchenette.....	49
<b>Tableau IV.17:</b> Tableau donne les appareils économiques utilisés pour Sanitaire VIP.....	49
<b>Tableau IV.18:</b> Tableau donne les appareils économiques utilisés pour Salle de commission.....	50
<b>Tableau IV.19:</b> Tableau donne les appareils économiques utilisés pour Hall d'entre et couloir.....	50
<b>Tableau IV.20:</b> Tableau donne les appareils économiques utilisés pour Salle de conférence.....	50
<b>Tableau IV.21:</b> Etude de coût du système PV alimentant la salle de conférence après les solutions économique.....	51

## Chapitre V : résultats et discussion

<b>Tableau V.1:</b> La différence de cout et de l'équipement utilisé dans les deux modes.....	58
---	----

Liste des figures

**Chapitre I : Le rayonnement solaire et systèmes photovoltaïques**

**Figure I.1** : composants du rayonnement solaire.....04

**Figure I.2** : principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque.....05

**Figure I.3** : système photovoltaïque.....05

**Figure I.4** : Installation sur site isolé.....08

**Figure I.5** : l'injection de l'énergie dans le réseau.....09

**Figure I.6** : Injection énergie supplément dans le réseau.....10

**Chapitre III : Conception D'une centrale solaire photovoltaïque autonome**

**Figure III.1** : Schéma équivalent d'une cellule PV avec une seule diode.....23

**Figure III.2** : Caractéristique I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïque à une seule .....24

**Figure III.3** : Schéma équivalent du modèle à deux exponentielles.....24

**Figure III.4** : Caractéristique I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïque avec deux diodes.....25

**Figure III.5** : Définition de l'air masse.....29

**Figure III.6** : Les inclinaisons possibles des panneaux PV.....29

**Figure III.7** : Rendement global & Différentes pertes au sein d'une installation photovoltaïque autonome.....30

**Figure III.8** :D'une cellule et d'un module exposés au rayonnement solaire.....31

**Figure III.9** : Modélisation électrique d'un câble.....32

**Figure III.10**: Gain de puissance avec ou sans régulateur M.....33

**Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par une centrale photovoltaïque autonome**

**Figure IV.1**: localisation da la wilaya de Ghardaïa.....36

## Liste des figures

---

<b>Figure IV.2:</b> irradiation globale, diffuse, directe normale et globale inclinée collecté par la station radiométrique.....	38
<b>Figure IV.3 :</b> Salle de conférence d'université de Ghardaïa.....	42
<b>Figure IV.4 :</b> photo par satellite de la salle de conférence.....	42
<b>Figure IV.5 :</b> schéma simplifié de raccordement.....	46
<b>Figure IV.6:</b> schéma simplifié de raccordement.....	52

## Chapitre V : résultats et discussion

<b>Figure V.1 :</b> L'énergie journalière a la sortie du système.....	55
<b>Figure V.2 :</b> Distribution annuelle de rayonnement incidente.....	56
<b>Figure V.3:</b> distribution de la puissance du champ.....	57
<b>Figure V.5:</b> Diagramme d'entrée/sortie journalier du système PV.....	57

### Liste des abréviations explicitées

$P_{pv}$  = Puissance crête du champ photovoltaïque.

$E_c$  = Energie consommée.

$I_r$  = Irradiation du mois le plus défavorable.

$K$  = Coefficient correcteur.

$N_m$  = nombre des modules photovoltaïques.

$P_u$  = Puissance crête unitaire.

$N_{m,s}$  = nombre de modules connectés en série.

$V_{pv}$  = Tension du générateur PV.

$V_u$  = Tension nominale unitaire.

$N_{m,p}$  = nombre de modules connectés en parallèle.

$E_{bat}$  = Energie stockée dans la batterie à une heure  $t$ .

$\sigma$  = Taux horaire d'autodécharge.

$E_{bat}(t - 1)$  = Energie stockée dans la batterie à l'heure précédente ( $t-1$ ).

$E_l$  = Energie demandée par la charge à une date  $t$  (Wh).

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

$E_s$  = Energie produite par la source (Wh).

$T_j$  = température de jour.

$T_u$  = Température diurne.

$V$  = Tension du générateur PV.

$G$  = Energie incidente reçue sur le plan des modules.

$B$  = Eclairage de référence.

$S$  = Coefficient de sécurité.

$\mu$  = Coefficient d'intégration.

$E$  = L'énergie fournie par un module photovoltaïque.

$E_p$  = l'énergie à produire par jour.

## Liste des abréviations explicitées

---

$C_n$  = Capacité nominale de la batterie en Ampère-heure.

$F_t$  = Facteur de réduction de température.

$N$  = Nombre de jours d'autonomie.

$DOD$  = Profondeur de décharge maximale admissible par les batteries.

$R$  = Résistance.

$C$  = Capacité de la batterie.

$C_0$  = Capacité de la batterie.

$T_a$  = Température (en °C).

$E_p$  = Énergie produite par jour.

$\eta_{pc}$  = Facteur de dégradation.

$T_{sun}$  = Temps équivalent avec pleine irradiation (heure par jour).

$P_c$  = puissance crête.

$\eta_p$  = fonction de la température moyenne.

$\eta_r$  = Rendement du module à la température de référence .

$\beta_p$  = Coefficient de température pour le rendement du module.

$T_c$  = Température moyenne.

$T_a$  = Température ambiante.

$NOCT$  = (Nominal Operating Cell Temperature) : Température nominale des cellules en opération.

$\bar{K}_T$  = Indice de clarté mensuelle.

$S$  = Surface de ces panneaux.

$\eta_p$  = Rendement moyen des cellules PV.

$\bar{I}_t$  = Irradiation horaire incidente sur la surface inclinée des panneaux.

$\lambda_p$  = pertes diverses du champ PV.

$\lambda_c$  = pertes du conditionnement de l'énergie.

$E_a(t)$  = Énergie disponible pour la charge électrique et l'accumulateur durant l'heure  $t$ .

$E_{cj}$  = L'énergie totale moyenne nécessaire chaque jour.



## Liste des abréviations explicitées

---

$E_j$  = consommation de chaque équipement.

$P_j$  = Puissance journalière d'un équipement.

$T_j$  = Temps de fonctionnement.

$N_j$  = Nombre des équipements.

$P_{\text{batterie}}$  = puissance de batterie.

$P_g$  = puissance global.

$N_{\text{ppv}}$  = Nombre des modules PV.

$N_{\text{batterie}}$  = calcul de nombre de batteries.

$L$  = Longueur du câble électrique.

$I$  = Intensité du courant électrique.

$e$  = chute de la tension.

$V$  = tension du système PV.

$\rho$  = Résistivité du câble.

$I_{\text{ph}}$  = le courant photonique.

$I_{\text{pv}}$  = courant du générateur photovoltaïque.

$C_p$ : est la capacité selon Peukert (Ampères-heures).

$t$  : le temps de décharge (heures).

### Introduction général

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir, en effet l'énergie est un facteur essentiel au développement économique, dans tous les pays du monde. Son importance relative s'accroît avec les progrès techniques, l'industrialisation et le besoin de confort moderne. L'augmentation de sa production est synonyme d'amélioration de la qualité de vie et de création de richesse[1].

De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir des énergies fossiles, la consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures, et aussi face aux multiples crise économiques et pétrolières la science s'est intéressée aux ressources dites renouvelables qui constituent un secteur stratégique et occupent une place privilégiées dans les domaines de recherche et développement [2].

Notons que l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde. La moyenne annuelle d'insolation dépasse les 3000 heures. C'est aussi le plus important de tout le bassin méditerranéen avec 169440TWh/an. L'énergie solaire moyenne reçue est de 1700 kWh/m<sup>2</sup>/an au niveau des régions côtières ; 1900 kWh/m<sup>2</sup>/an dans les Hauts-Plateaux et 2650kWh/m<sup>2</sup>/an au Sahara. Notre pays peut donc couvrir certains de ses besoins en énergie par les systèmes photovoltaïques [3].

Par ailleurs aujourd'hui nous distinguons plusieurs sources d'énergies renouvelables :

L'énergie Hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie de la biomasse, l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque (qui sera étudiée dans ce mémoire). L'avantage principal de ces énergies renouvelables est que leurs utilisations ne polluent pas l'atmosphère et elles ne produisent pas de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et les oxydes d'azote qui sont responsables du réchauffement de la terre. Notre étude est réservée à l'installation d'un central photovoltaïque pour alimenter la salle de conférence de l'université de Ghardaïa.

L'énergie photovoltaïque est une possibilité de développement efficace et durable. C'est pour cela que les recherches scientifiques se développent dans le sens de généraliser, améliorer et optimiser l'exploitation des systèmes solaires. L'optimisation des systèmes solaires est basée sur des critères de dimensionnement et de maximisation de la puissance générée pour avoir un bon rendement [4].

## **Introduction général**

---

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur l'énergie solaire. Nous présentons tout d'abord, un état de l'art l'énergie solaire photovoltaïque que nous présentons les systèmes qui sont actuellement établis dans la pratique.

Dans le deuxième chapitre, on présente des différentes méthodes de dimensionnement d'un système PV en basant sur le système photovoltaïque autonome.

Le troisième chapitre concerne la conception d'une centrale solaire photovoltaïque autonome.

Dans le quatrième chapitre, nous nous sommes intéressés au dimensionnement et de conception d'installation photovoltaïque autonome pour l'alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa.

Pour ce qui concerne le cinquième chapitre, il est relatif à la présentation et à la discussion des résultats obtenus.

Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale des perspectives.

**Chapitre I :**  
**Le rayonnement solaire et systèmes  
photovoltaïques**

## chapitre I Le rayonnement solaire et les systèmes photovoltaïques

### I. 1. Introduction

Le soleil peut satisfaire tous nos besoins si nous apprenons à exploiter rationnellement l'énergie qu'il rayonne vers la terre. Il brille dans le ciel depuis presque 5 milliards d'années et les scientifiques ont calculé qu'il est à la moitié de son existence. Nous avons du mal à imaginer qu'au cours d'une année le soleil diffuse vers la terre quatre mille fois plus d'énergie que celle consommée par toute la population mondiale. Aujourd'hui il paraît insensé de ne pas en profiter car nous avons les moyens technologiques nécessaires. De plus il faut considérer que cette source d'énergie est gratuite, propre et inépuisable. Cette énergie pourrait par ailleurs nous libérer de notre dépendance aux énergies fossiles ou aux autres alternatives peu sûres ou polluantes.

Dans ce chapitre, nous allons présenter des définitions sur le rayonnement et l'énergie solaire. Nous détaillerons le principe de fonctionnement d'une cellule, module et panneau photovoltaïques ainsi que leurs constituants. Enfin, nous présenterons l'ensemble des éléments d'un système photovoltaïque.

### I. 2. Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est une propagation d'ondes de longueur qui varie entre 0.2 et  $4.10^{-6}$  [m]. Il arrive au sol après la perte d'une grande partie de son intensité. Il existe plusieurs types de rayonnement [5] :

#### a) Le rayonnement direct :

C'est un rayonnement reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ces rayons sont parallèles entre eux et peuvent être mesurés par un pyromètre.

#### b) Le rayonnement diffus :

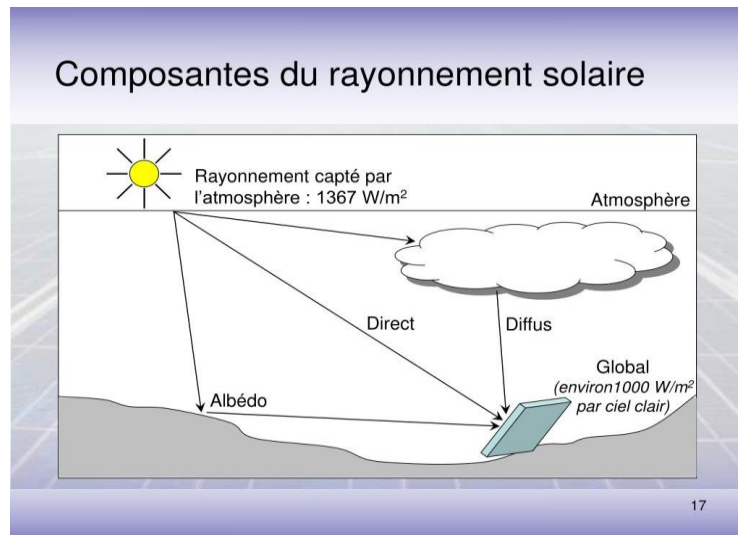
Il est constitué d'une lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). Sa diffusion engendre un phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel, ce sont à la fois les molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuages) et les poussières qui produisent cet « éclatement » des rayons du soleil. Cela dépend donc avant tout des conditions météorologiques.

### c) Le rayonnement réfléchi :

Ou « l'albédo » du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Ce rayonnement réfléchi peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

### d) Le rayonnement global :

C'est la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface. Il est mesuré par un pyromètre ou un « Solari mètre » sans écran. La figure I.1.représente les composants du rayonnement solaire.

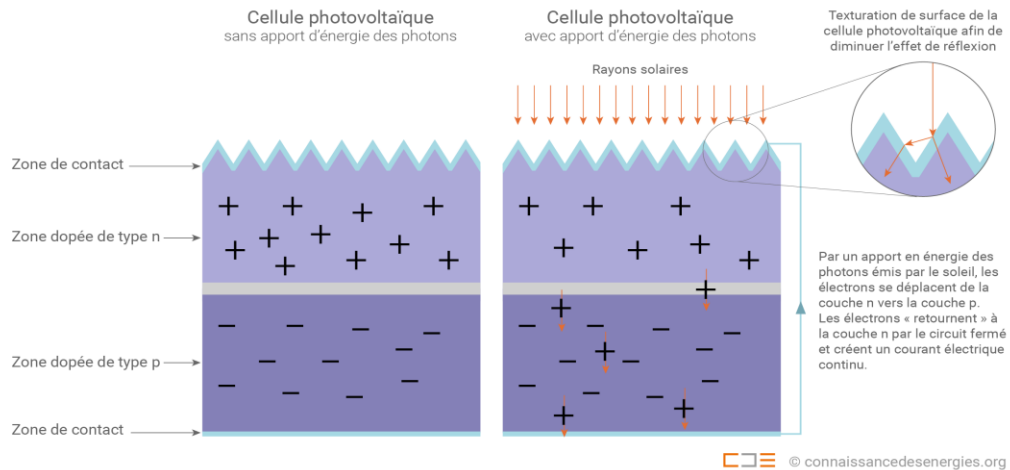


**Figure I.1** : composants du rayonnement solaire

### I. 3. Principe de la conversion photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet Photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule [6].

La figure (I.2) illustre une cellule PV typique.

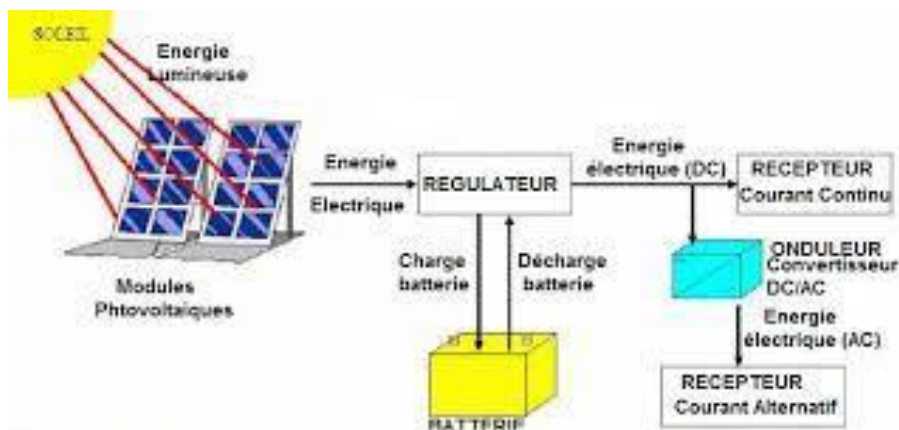


**Figure I.2 :** principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque.

## I. 4. Systèmes photovoltaïques :

Un système (photovoltaïque) PV est un ensemble d'éléments (constituants) de production d'électricité, en utilisant une source solaire. Ces constituants sont essentiellement le champ PV, le conditionnement de puissance, le système de stockage (dans un certain cas), et la charge. Le conditionnement de puissance peut comprendre: un régulateur seul, un régulateur avec un convertisseur (DC /DC ou/et DC/ AC) ou un convertisseur seul.

Figure I.3 représente un système photovoltaïque.



**Figure I.3 :** système photovoltaïque

### I. 5. Les éléments d'un système photovoltaïque

#### I.5.1. Modules photovoltaïques

Les modules sont un assemblage de photopile (ou cellule) montée en série, afin d'obtenir la tension désirée (12V, 24V...), la cellule photovoltaïque est l'élément de base dans la conversion du rayonnement. Plusieurs cellules sont associées dans un module qui est la plus petite surface de capacité transformable, montable et démontable sur un site. Les modules sont regroupés en panneaux, qui sont à leur tour associés pour obtenir des champs photovoltaïques selon les besoins. Les cellules photovoltaïques sont réalisées principalement par le silicium cristallin, qui est utilisé sous forme monocristalline ou multi-cristalline en plaquette ou en ruban ou encore en couches semi-minces sur substrat selon les technologies récentes. Les modules sont associés en série et en parallèle pour obtenir des puissances importantes et la tension voulue. On protège chaque cellule PV contre l'échauffement en lui montant une diode dite « diode by-pass » en parallèle qui court-circuite. Aussi on évite qu'un module PV soit récepteur en mettant en série à chaque branche une diode dite « diode anti retour » de chute de tension négligeable [7].

#### I.5.2. Régulateur de charge et décharge

Le régulateur électronique dans un système photovoltaïque gère la charge et la décharge de la batterie. Il limite la tension de la batterie afin d'éviter une surcharge, en déconnectant la batterie trop chargée des modules PV. Quand la batterie est trop déchargée, il la déconnecte de l'utilisation, par un disjoncteur automatique pour la protéger contre la décharge profonde. Dans un système PV, en l'absence d'un régulateur, les accumulateurs seront exposés à une perte d'eau donc un vieillissement prématuré et à la sulfatation des plaques. Le régulateur dans un système photovoltaïque peut assurer aussi le rôle de la compensation thermique. Il est situé entre le champ de modules et les batteries accumulateurs [8].

#### I.5.3. Batteries d'accumulation

Dans un système photovoltaïque, la ressource solaire ne pouvant être disponible à tout moment, il est indispensable de stocker de manière journalière ou saisonnière de l'énergie électrique produite par les panneaux solaires. On utilise pour cela des batteries d'accumulateurs. Les batteries les plus courantes sont de type plomb-acide à plaque plane pour les installations de faible puissance,



## **Chapitre I : Le rayonnement solaire et systèmes photovoltaïques**

---

Il existe aussi des accumulateurs de type nickel-cadmium qui sont chères et qui posent des problèmes de régulation de tension. A long terme, on pourra voir apparaître d'autre système de stockage.

La batterie est constituée essentiellement des deux électrodes l'une positive et l'autre négative et une solution électrolytique : solution d'acide sulfurique de viscosité variable. Les batteries sont connectées au régulateur électronique car elles sont chargées à travers le régulateur et elles alimentent les charges par biais du même régulateur. Nous pouvons associer plusieurs batteries en série pour obtenir une tension adaptée à l'utilisation et on les associe en parallèle pour avoir la capacité et la puissance nécessaire à l'autonomie désirée. Les tensions des batteries seront déterminées par rapport à celle aux récepteurs à courant continu et la tension des modules .Le nombre de batterie sera déterminé à partir de l'autonomie désirée [8].

### **I.5.4.Onduleur de tension**

La tension produite par les modules photovoltaïques et celle fournie par les batteries pour l'alimentation des charges est de nature continue. Dans ces conditions, il faudra intégrer obligatoirement un onduleur au système PV destiné à alimenter des charges alternatives. L'onduleur est un convertisseur DC/AC, c'est-à-dire convertir la sortie continue (DC) du champ de module ou des batteries en électricité alternative(AC) standards comme celle fournie par SONELGAZ.

### **I.5.5.Contrôleur DC/DC**

Il peut arriver que dans un système PV, la tension de sortie du champ ou de la batterie soit inférieur ou supérieure à celle de l'utilisation, qui doit être alimenté en continu. Il est donc nécessaire pour ces système, un convertisseur DC-DC transforme une tension continue de son entrée en une tension de sortie continue inférieure ou supérieure à celle de l'entrée selon qu'il soit abaisseur ou élévateur .Il permet de contrôler le signal d'alimentation de la charge et le stabilise. Les câbles relient électriquement tous les composants du système PV. Le câblage est un point critique de toute installation PV. Il est très important de bien dimensionner les conducteurs afin d'éviter la circulation d'un courant très fort dans les câbles même pour de petites puissances dans le cas d'utilisation de faibles tensions. Le choix des câbles dont l'enveloppe est adaptée aux conditions d'utilisation est nécessaire [8].

## I.5.6. Récepteurs et charges

Les récepteurs ou charges (utilisation) font partie du système PV. Leurs tensions d'usage et leurs puissances déterminent les caractéristiques des éléments du système. Les récepteurs doivent être choisis avec soin. Lorsque c'est possible, il faut choisir les récepteurs de grand rendement. Après le choix des charges à alimenter par notre mini-centrale PV, nous relèverons leur caractéristiques qui nous permettront de déterminer la puissance à installer.

## I. 6. Les différentes installations (systèmes) photovoltaïques

### I.6.1 Les installations sur site isolé

Ce type de montage est adapté aux installations ne pouvant être raccordées au réseau. L'énergie produite doit être directement consommée et/ou stockée dans des accumulateurs pour permettre de répondre à la totalité des besoins. Les panneaux photovoltaïques produisent l'électricité en courant continu. La figure I.4 montre une Installation sur un site isolé.

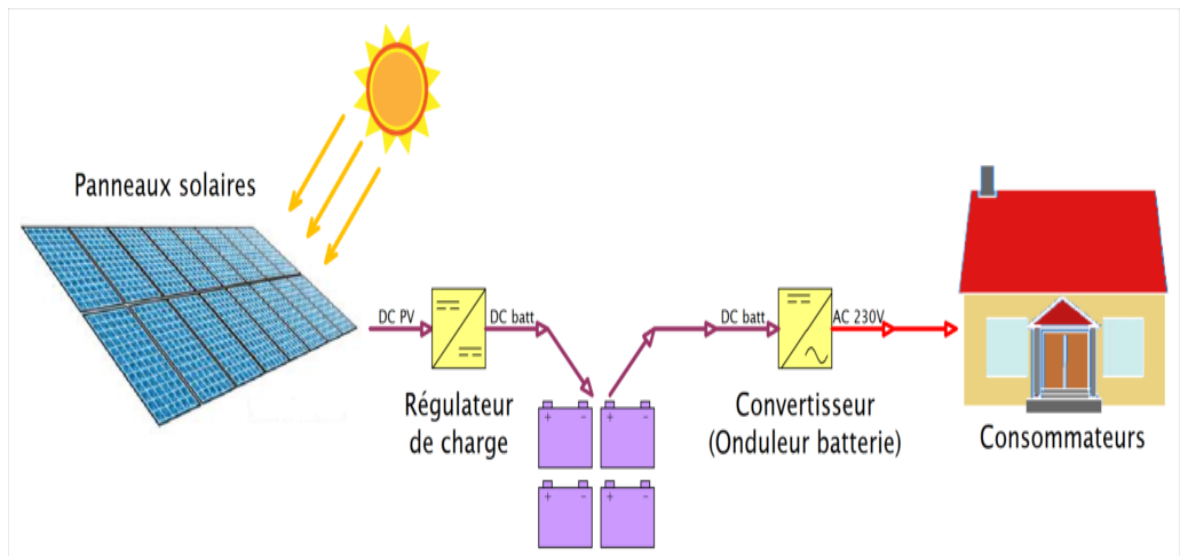


Figure I.4 : Installation sur site isolé

Le régulateur optimise la charge et la décharge de la batterie suivant sa capacité et assure sa protection. L'onduleur transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteur AC. Les batteries sont chargées le jour pour pouvoir alimenter la nuit ou les jours de mauvais temps. Des récepteurs DC spécifiques sont utilisables. Ces appareils sont particulièrement économes [9].

## I.6.2 Les installations raccordées au réseau de distribution public

### a) Solution avec injection totale

Toute l'énergie électrique produite par les capteurs photovoltaïques est envoyée pour être revendue sur le réseau de distribution. Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en deux points :

- le raccordement du consommateur qui reste identique avec son compteur de consommation (on ne peut pas utiliser sa propre production),
- le nouveau branchement permettant d'injecter l'intégralité de la production dans le réseau, dispose de deux compteurs : L'un pour la production.
- L'autre pour la non-consommation (permet de vérifier qu'aucun soutirage frauduleux n'est réalisé). La figure I.5 représente l'injection de l'énergie dans le réseau.

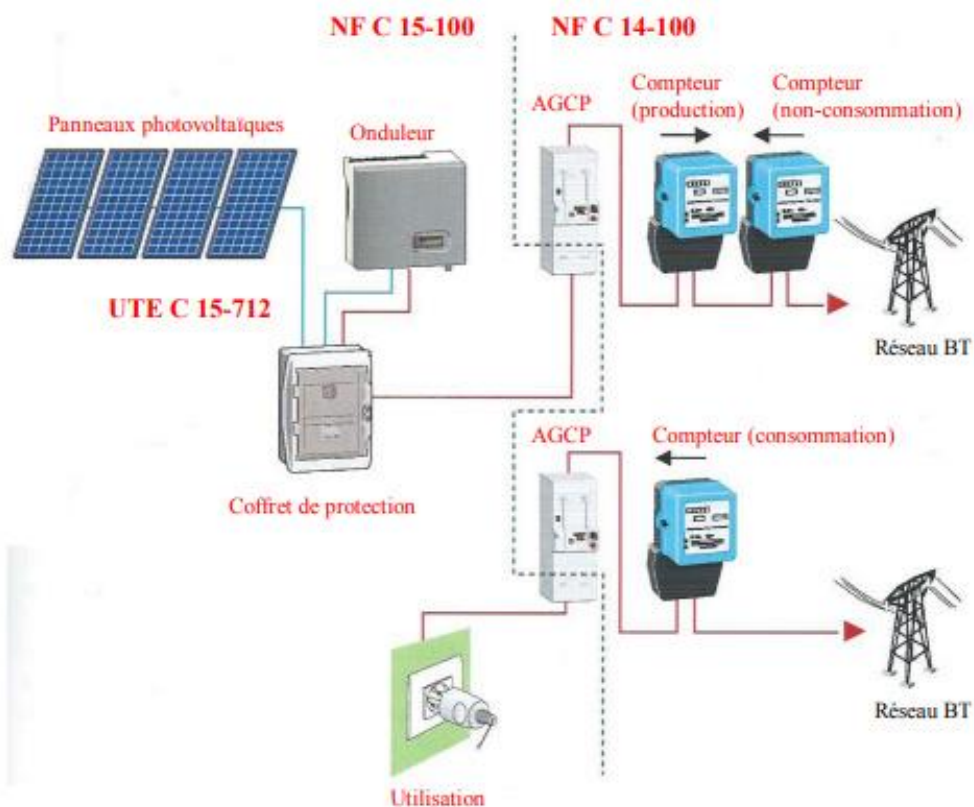


Figure I.5 : l'injection de l'énergie dans le réseau.

### b) Solution avec injection de surplus

Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en un point: l'utilisateur consomme l'énergie qu'il produit avec le système solaire et l'excédent est injecté dans le réseau. Quand la production photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit l'énergie nécessaire. Un seul compteur supplémentaire est ajouté au compteur existant (voir figure I.6).



Figure I.6 : Injection énergie supplément dans le réseau.

### I.7 Conclusion

Les moyens de productions actuels de l'électricité sont divers et variés aussi bien que les méthodes d'utilisation, mais celle-ci fait tellement parti de nos habitudes qu'elle nous est indispensable autant à l'échelle humaine qu'économique.

Dans ce chapitre on a parlé du rayonnement solaire et de l'énergie qu'on peut l'extraire de ce dernier a travers les cellules photovoltaïque, aussi introduit les éléments d'un système photovoltaïque et ses différents types. Dans le chapitre suivant, on va entamer le dimensionnement du système photovoltaïque dont fera l'objet de notre travail.

## **Chapitre II**

# **Technique de dimensionnement d'un système PV**

### **chapitre II Technique de dimensionnement d'un système PV**

#### **II.1.Introduction**

Le dimensionnement est un aspect fondamental de la conception du système. C'est l'ensemble des opérations nécessaires, une fois connue la consommation de l'installation, pour déterminer les dimensions optimales du générateur photovoltaïque, du système d'accumulation et capable de garantir cette consommation. Dans cette partie il ya deux paramètres particulièrement importants : Connaitre le rayonnement incident sur le système et déterminer avec précision la consommation. Certes, il est facile de calculer approximativement qui permettent de déterminer les dimensions des panneaux pour pouvoir couvrir les besoins en consommation d'une localité concrète [10].

#### **II.2.Paramètres d'entrée intervenants dans le dimensionnement**

D'une manière générale, les paramètres à prendre en compte pour concevoir et dimensionner un système photovoltaïque sont assez nombreux et concernent :

- Le lieu où sera placé le générateur PV,
- Le système PV (modules, régulateur, onduleur et batteries),
- La charge.

##### **II.2.1.Paramètres relatifs au système PV**

Les paramètres concernant le système donnent à titre indicatif un ordre de grandeur du rendement de l'installation, sont relatifs aux modules photovoltaïques, éléments de batterie, régulateur et onduleur existants dans le marché. Ces paramètres basés sur un critère liant d'un côté la satisfaction des besoins et le fonctionnement optimal du système et de l'autre la disponibilité [11].

##### **II.2.2.Paramètres relatifs au site d'installation**

Le dimensionnement du générateur PV est dicté par les conditions relatives au site. Pour adopter les capacités générateur PV / batterie, aux conditions de charge, il est indispensable de

## **Chapitre II : Technique de dimensionnement d'un système PV**

---

connaître les caractéristiques de l'irradiation solaire par jour ou par mois, soit l'énergie moyenne reçue sur un plan donné, à l'endroit même où sera situé le générateur PV. Les données doivent être connues pour chaque mois de l'année. Elles peuvent être obtenues par des organismes nationaux de météorologie ou par des calculs (outil informatique), qui exigent les paramètres d'entrées suivants [12]:

- Latitude,
- Altitude,
- Réflectivité du sol ou albédo,
- Irradiation moyenne journalière la plus défavorable dans l'année, soit mesurée ou calculée.

### **II.2.3. Paramètres concernant le module PV**

Les paramètres concernant le module PV sont [11]:

- Tension maximale,
- Courant maximal,
- Puissance maximale.

Les paramètres aux conditions standards (1000 W, 25 °C) sont donnés par le constructeur.

### **II.2.4. Paramètres concernant les batteries de stockage**

Les paramètres relatifs au système de stockage sont donnés selon la disponibilité des batteries à capacité normalisée :

- Profondeur de décharge selon le constructeur,
- Rendement énergétique de la batterie.

### **II.2.5. Paramètres concernant le régulateur de charge**

Les paramètres sont, la tension selon la puissance de la charge et le rendement donné par le constructeur.

### **II.2.6. Paramètres concernant l'onduleur**

Pour l'onduleur continu/alternatif on précisera le rendement seulement, qui est aussi donné par le constructeur [12].

### II.2.7. Paramètres concernant la charge

Les paramètres concernant la charge sont [11]:

- Type d'alimentation continue ou alternative,
- Puissance de la charge,
- Durée de fonctionnement moyenne par jour.

### II.3 Méthodes de dimensionnement d'un système PV

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

#### II.3.1. Méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation

Cette méthode permet d'optimiser le dimensionnement d'un système dans des conditions complexes (fluctuation saisonnières de l'irradiation, ciel couvert (nuageux),...etc.) grâce à un logiciel adapter. L'inconvénient de cette méthode est qu'il faut connaître les radiations pour un nombre d'années très grand (10 ans minimum) [13].

#### II.3.2. Méthode du mois le plus défavorable

Dans cette méthode, on estime l'énergie récupérable pour une période critique d'un mois, appelé le mois le plus défavorable. Ce mois correspond au mois pendant lequel la valeur de l'irradiation moyenne mensuelle est la plus faible de l'année ou dans certains pays la période d'hivers est rude [14].

##### II.3.2.1. Dimensionnement du champ PV par la méthode du mois le plus défavorable

###### a) Calcul de la puissance crête totale du champ PV

La puissance crête totale du champ photovoltaïque, dépend de l'irradiation quotidienne du lieu d'utilisation, elle est donnée par [14] :

$$P_{pv} = \frac{E_c}{k \cdot I_r} \quad \text{(II-1)}$$

$I_r$  = Irradiation du mois le plus défavorable

$P_{pv}$  = Puissance crête du champ photovoltaïque



## Chapitre II : Technique de dimensionnement d'un système PV

---

$E_c$  = Energie consommée

$k$  = Coefficient correcteur

### b) Choix de la tension de fonctionnement du champ PV

On choisit la tension de fonctionnement en fonction de la puissance crête du champ PV en watt. De façon générale [14] :

- Moins de 500 watts crête : elle est de 12V
- De 501 à 2000 watts crête : elle est de 24V
- De 2001 à 10000 watts crête: elle est de 48V
- Plus de 10000 watts crête : elle est supérieure à 48V

### c) Détermination du nombre de modules à installer

Le nombre des modules photovoltaïques est calculé en fonction des caractéristiques du module choisi et de la puissance crête du générateur par l'équation suivante [10]:

$$N_m = \frac{P_{pv}}{P_u} \quad (\text{II-2})$$

$P_{pv}$  : Puissance crête de l'installation

$P_u$  : Puissance crête unitaire

- Le nombre de modules connectés en série est égale a

$$N_{m,s} = \frac{V_{pv}}{V_u} \quad (\text{II-3})$$

$V_{pv}$  : Tension du générateur PV.

$V_u$  : Tension nominale unitaire.

- Le nombre de modules connectés en parallèle est égale à :

$$N_{m,p} = \frac{N_m}{N_{m,s}} \quad (\text{II-4})$$

### II.3.3.Méthode de la moyenne annuelle

## Chapitre II : Technique de dimensionnement d'un système PV

---

Cette méthode est très proche de celle du mois le plus défavorable. Elle utilise aussi, l'irradiation journalière en (KWh/m<sup>2</sup>/jr), pour une durée d'une année [13].

### II.3.4. Méthode LPSP

Probabilité de Perte d'énergie (**Loss of Power SupplyProbability**), est une technique probabiliste introduite par Abou Zahr et Ramakumar dans le domaine des systèmes de génération photovoltaïques et largement utilisée dans la conception et l'optimisation des systèmes autonome (stand alone), jusqu'à présent. Elle est basée sur le concept de LPSP qui est la probabilité que le système rencontre une pénurie à un moment donné pendant une période d'analyse, c'est-à-dire un état dans lequel le système ne serait pas en mesure de fournir l'énergie nécessaire à la charge[15].

Donc la méthode LPSP est définie comme étant la fraction de l'énergie déficitaire sur celle demandée par la charge. Elle exprime le taux de non-satisfaction de la charge. A partir de l'information sur la variabilité de la ressource renouvelable et sur la corrélation avec la charge, la méthode LPSP peut être définie, en termes d'état de charge des batteries par [15] :

$$E_{bat}(t) = E_{bat}(t-1)(1 - \sigma) + \left( \frac{E_l(t)}{\eta_{ond}} - E_s(t) \right) \quad (\text{II-5})$$

Où,

$E_{bat}(t)$  : Energie stockée dans la batterie à une heure t.

$E_{bat}(t-1)$  : Energie stockée dans la batterie à l'heure précédente (t-1).

$\sigma$  : Taux horaire d'autodécharge.

$E_l(t)$  : Energie demandée par la charge à une date t (Wh).

$E_s(t)$  : Energie produite par la source(Wh).

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

### II.3.5.Méthode des heures équivalentes

Elle considère que l'intensité fournie par un module photovoltaïque est proportionnelle à l'ensoleillement, le calcul est effectué pour le mois le plus défavorable de l'année, on détermine alors le courant fourni par le champ photovoltaïque dans les conditions où la température est donnée par la relation [16]:

$$T_j = T_u + 25 \quad (\text{II-6})$$

Où

$T_u$  : Température diurne.

L'énergie fournie par un module photovoltaïque ou une série de modules suivant la tension du système est donnée par l'expression suivante :

$$E = IV (G/B) \mu S \quad (\text{II-7})$$

G : Energie incidente reçue sur le plan des modules.

B : Eclairement de référence.

S : Coefficient de sécurité.

V : Tension du générateur PV.

$\mu$  : Coefficient d'intégration.

### II.3.6.Méthode itérative

Connue aussi sous le nom de méthode « Ampère-heure » [17] cette méthode consiste à déterminer le nombre de panneaux photovoltaïques nécessaire pour satisfaire la demande, puis peu à peu à réduire ce nombre, tout en calculant le pourcentage des besoins énergétiques annuels fournis par le générateur PV et ainsi à compléter le reste par l'énergie fournie par un générateur complémentaire.

**Etape1** : Evaluation de la puissance à produire pour satisfaire la demande calcule l'énergie quotidienne nécessaire à produire en moyenne afin de déduire les besoins pour chaque mois. Cette énergie peut être exprimée en Wh ou en « Ah sous 48 V ». Elle est égale à l'énergie consommée par la charge corrigée par un coefficient k pour bien assurer les besoins de l'habitat :

$$E_p = \frac{E}{K} \quad (\text{II-8})$$

Le coefficient k tient compte des facteurs suivants :

- Le rendement du convertisseur
- Le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie
- Les pertes dans les câbles et connexions

## Chapitre II : Technique de dimensionnement d'un système PV

---

**Etape 2** : Détermination de la capacité de stockage des batteries

La capacité des batteries est donnée par la formule suivante [15] :

$$C_n = \frac{E_p \times N}{DOD \times F_t} \quad (\text{II-9})$$

$C_n$  : Capacité nominale de la batterie en Ampère-heure

$E_p$  : Energie à produire par jour

$DOD$  : Profondeur de décharge maximale admissible par les batteries (70% pour les batteries au plomb)

$N$  : Nombre de jours d'autonomie

$F_t$  : Facteur de réduction de température [15] :

$$F_t = \frac{C}{C_0} = 0.01035 \times T_a + 0.724 \quad (\text{II-10})$$

Où :

$C$  : Capacité de la batterie.

$C_0$  : Capacité de la batterie évaluée à 27°C.

$T_a$  : Température (en °C).

**Etape 3** : Calcul de la puissance crête nécessaire du générateur photovoltaïque pour chaque mois.

$$P_c = \frac{E_p}{\eta_{pc} \times T_{sun}} \quad (\text{II-11})$$

$E_p$  : Énergie produite par jour

$\eta_{pc}$  : Facteur de dégradation

$T_{sun}$  : Temps équivalent avec pleine irradiation (heure par jour)

**Etape 4**: Détermination du nombre de panneaux photovoltaïques nécessaire chaque mois

$$N = \frac{P_c}{\text{puissance crête unitaire panneau}} \quad (\text{II-12})$$

### II.3.7.Méthode utilisabilité solaire

La méthode utilisabilité solaire [18] est un outil très puissant pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïques. L'utilisabilité de la radiation solaire est définie comme étant la fraction de la radiation totale incidente sur la surface des panneaux PV, qui exc derait un niveau spécifique appelé niveau critique.

Avant de donner la relation permettant de calculer l'utilisabilité solaire, il nous faut d'abord définir quelques paramètres.

#### a. Calcul du rendement moyen

Le rendement moyen du module PV  $\eta_p$  est une fonction de la température moyenne du module  $T_c$  :

$$\eta_p = \eta_r [1 - \beta_p (T_c - T_r)] \quad (\text{II-13})$$

$\eta_r$  : Rendement du module à la température de référence  $T_r$  ( $25^\circ\text{C}$ )

$\beta_p$  : Coefficient de température pour le rendement du module

$T_c$  : est relié à la température ambiante du mois  $T_a$  par la formule d'Evans :

$$T_c - T_a = (219 + 832\bar{K}_T) \frac{\text{NOCT} - 20}{800} \quad (\text{II-14})$$

*NOCT* : (Nominal Operating Cell Température) : Température nominale des cellules en opération

$\bar{K}_T$  : Indice de clarté mensuelle.

#### b.  nergie électrique produite par les panneaux PV

L'énergie produite par les panneaux PV durant une heure  $t$  de la journée, est donné par la relation suivante :

$$E_p(t) = S \cdot \eta_p \cdot \bar{I}_t \quad (\text{II-15})$$

$S$  : Surface de ces panneaux

$\eta_p$  : Rendement moyen des cellules PV

$\bar{I}_t$  : Irradiation horaire incidente sur la surface inclinée des panneaux

## Chapitre II : Technique de dimensionnement d'un système PV

---

Cette énergie doit être réduite par les « pertes diverses du champ PV »  $\lambda_p$  et les « autres pertes du conditionnement de l'énergie »  $\lambda_c$ .

$$E_a(t) = E_p(t)(1 - \lambda_p)(1 - \lambda_c) \quad (\text{II-16})$$

$E_a(t)$  : Énergie disponible pour la charge électrique et l'accumulateur durant l'heure  $t$ .

### II.3.8.Méthode simplifiée

#### Etape1 : Estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité

Il s'agit d'estimer la consommation d'équipements supposés connus. L'objectif est d'obtenir la consommation totale moyenne par jour.

L'énergie totale moyenne nécessaire chaque jour  $E_{cj}(Wh/j)$  est la somme des consommations énergétiques des divers équipements constituant le système à étudier, à savoir les télévisions, les lampes d'éclairage, les appareils électroniques, ...etc. ; elle est donnée par la loi suivante :

$$E_{cj} = \Sigma E_j \quad (\text{II-17})$$

Pour les équipements qui ne sont pas utilisés quotidiennement et pour tous les équipements à forte consommation, la consommation de chaque équipement peut être calculée comme suit [19]:

$$E_j = P_j \times T_j \times N_j \quad (\text{II-18})$$

$P_j$  : Puissance journalière d'un équipement

$T_j$  : Temps de fonctionnement

$N_j$  : Nombre des équipements

#### Etape 2 : Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur PV

Les données de l'ensoleillement peuvent être relevées sur le site ou enregistrées sur la carte de l'ensoleillement de la région ou encore obtenues au niveau de la station météo la plus proche de la zone [20].

#### Etape 3 : calcul du nombre de panneaux solaire

## Chapitre II : Technique de dimensionnement d'un système PV

---

Nombre des modules PV =  $\frac{\text{Consommation journalière}}{\text{Production journalière}}$

$$N_{ppv} = \frac{E_{cj}}{P_{ppv}} \quad (\text{II-19})$$

### Etape 4 : calcul de nombre de batteries

Le nombre de batterie est donné tel que :

$$N_{batterie} = \frac{P_g}{P_{batterie}} \quad (\text{II-20})$$

Avec :

$$P_g = E_{cj} \times \text{Nombred autonomie} \quad (\text{II-21})$$

### Etape 5 : Choix de régulateur

Parmi les différents types de régulateurs, on doit choisir, celui qui est le mieux adapté à notre installation. Afin de déterminer ses caractéristiques on sépare souvent les deux fonctions de régulateur: (charge et décharge).

La régulation de charge (à l'entrée) est une fonction de la puissance du générateur, donc du courant produit par les modules.

La régulation de décharge (à la sortie) est une fonction de la puissance totale des récepteurs donc du courant consommé par ces derniers.

- **Tension nominale:**

C'est la tension nominale du champ photovoltaïque.

- **Le courant d'entrée :**

La tension d'entrée doit être supérieure à la valeur maximale produite par le générateur. Pour estimer ce courant, on prend 1.5 fois le courant de court-circuit total des modules pour un régulateur shunt (pour de faible puissance), pour un régulateur série 1.5 fois le courant total au point de puissance maximale (pour moyenne puissance) et de même pour un régulateur MPPT (pour de grande puissance).

- **Le courant de sortie :**

## Chapitre II : Technique de dimensionnement d'un système PV

---

Le courant de sortie doit être supérieure à la valeur maximale appelée par les récepteurs lorsqu'ils fonctionnent tous au point maximum de leur puissance de fonctionnement [12].

### Etape 6 : Choix de l'onduleur

Le dimensionnement sera basé sur [13]:

- Le rendement : c'est la conversion (**DC/AC**) qui atteint des valeurs assez élevées en fonctionnement nominal (égale à 0,8),
- La consommation à vide : c'est l'ensemble des pertes induites par l'onduleur en absence de charge, la diminution de ces pertes assure un bon stockage dans l'accumulateur,
- La fréquence sera **50Hz**,
- La tension d'entrée : elle est égale à celle de la batterie.

La puissance nominale est donnée par cette équation :

$$P_{\text{ond}} = \frac{P_n}{\eta_{\text{ond}}} \quad (\text{II-22})$$

### Etape 7 : Dimensionnement des câbles

Il est nécessaire de limiter la longueur des câbles électriques entre le générateur photovoltaïque et les récepteurs. Cette distance n'excède jamais quelques mètres. En effet les systèmes solaires fonctionnent généralement sous faible tension (12V, 24V, 48V), donc avec un courant élevé ( $P=U \times I$ ), Si U est faible, I est très élevé pour la même puissance. Le transport à distance de ce courant de plusieurs ampères provoque des pertes par effet joule aux niveaux des conducteurs [12].

$$P_j = \Delta V \times I = R \times I^2 \quad (\text{II-23})$$

On calcul de la sections des câbles, d'après les formules suivantes :

$$\begin{aligned} S &= \frac{\rho \times L}{R} \\ R &= \frac{\Delta V}{I} \\ \Delta V &= e \times V \\ S &= \frac{\rho \times L}{e \times V} \end{aligned} \quad (\text{II-24})$$

Avec :



## Chapitre II : Technique de dimensionnement d'un système PV

---

L : Longueur du câble électrique

I : Intensité du courant électrique

e : chute de la tension (3-5%)

V : tension du système PV

$\rho$  : Résistivité du câble ( $\rho = 0.017$  ohm mm<sup>2</sup>/m pour le cuivre)

**Chapitre III :**  
**Conception d'un centre solaire photovoltaïque autonome**

### chapitre III Conception d'un centre solaire photovoltaïque autonome

#### III.1.Introduction

La conception et le dimensionnement d'un champ photovoltaïque précis est en réalité un processus relativement complexe car il y a de nombreux paramètres à prendre en considération, une certaine dose d'impondérable (la météorologie), et surtout de multiples interactions entre les choix. Par exemple, la consommation du régulateur de charge, de l'onduleur, de la batterie, doivent être ajouté à celle des récepteurs pour définir la consommation totale du système. Or, le choix de ces paramètres dépend de la taille du champ photovoltaïque, lui-même déterminé par la consommation...Donc la conception d'un système photovoltaïque est le résultat d'une optimisation réalisée par itérations.

#### III.2.Modélisation du système photovoltaïque

Le système photovoltaïque est conçu pour convertir l'énergie solaire en énergie électrique avec différentes technologies.

Un panneau photovoltaïque est composé de plusieurs modules qui sont l'assemblage en série et/ou en parallèle des cellules PV pour obtenir des caractéristiques électriques maximales.

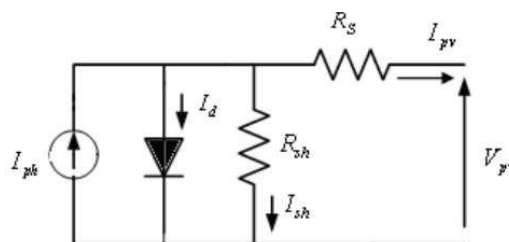
Une cellule PV est modélisée sous un schéma électrique équivalent de deux manières :

##### III.2.1.Modèle à une diode

La cellule PV est représentée par le circuit électrique équivalent de la figure qui se compose de:

- Une diode ;
- Une source de courant du flux lumineux ;
- Une résistance shunt pour représenter le courant de fuite dans la diode ;
- Une résistance série pour représenter les pertes en tension [21].

La Figure III.1 représente le schéma équivalent d'une cellule PV avec une seule diode.



**Figure III.1 :** Schéma équivalent d'une cellule PV avec une seule diode.

## Chapitre III : Conception d'une centrale solaire photovoltaïque autonome

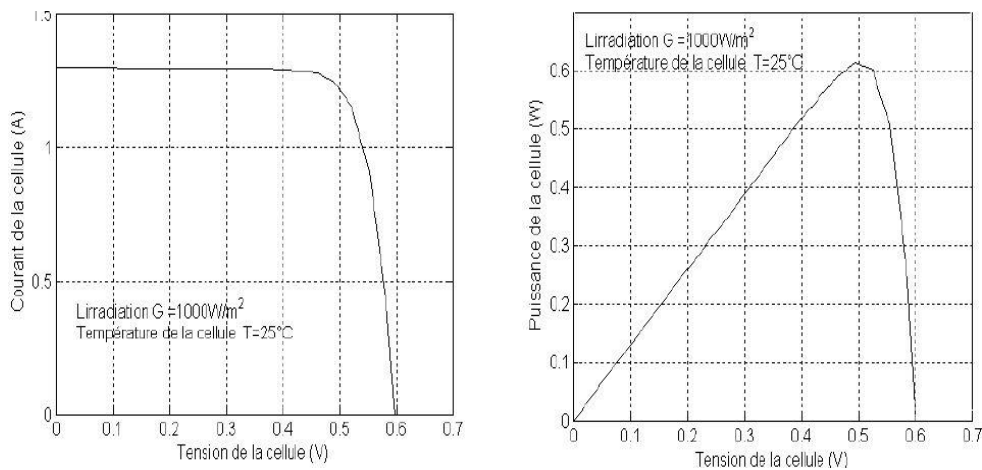
L'équation caractéristique est déduite d'une manière directe à partir de la loi de Kirchhoff:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (\text{III-1})$$

En remplaçant le courant de la traversant la diode l'équation devient :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left( \exp\left(\frac{V_{pv} + I_{pv} \times R_s}{V_t \times n}\right) - 1 \right) - \frac{V_{pv} + I_{pv} \times R_s}{R_{sh}} \quad (\text{III-2})$$

La caractéristique I(V) et P(V) sont représentées par la Figure III.2

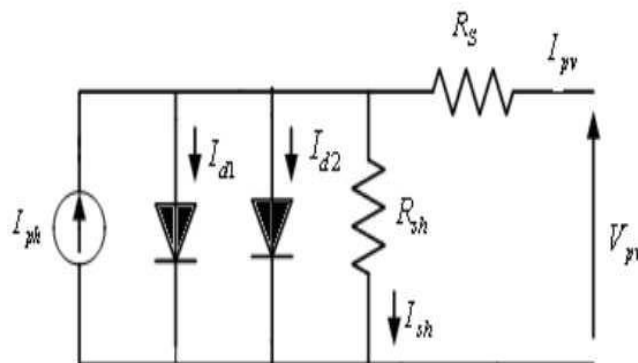


**Figure III.2 :** Caractéristique I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïque à une seule diode.

### III.2.2. Modèle à deux diodes

Il consiste en la description mathématique d'un circuit réalisé par la connexion en parallèle de deux diodes ayant les courants de saturation  $I_{s1}$  et  $I_{s2}$ , une source de courant produisant un photo-courant  $I_{ph}$ , qui dépend de l'éclairement solaire, ainsi que les deux résistances série et shunt pour représenter les pertes en courant.

La Figure III.3 représente un schéma équivalent du modèle à deux exponentielles.



**Figure III.3 :** Schéma équivalent du modèle à deux exponentielles.

## Chapitre III : Conception d'une centrale solaire photovoltaïque autonome

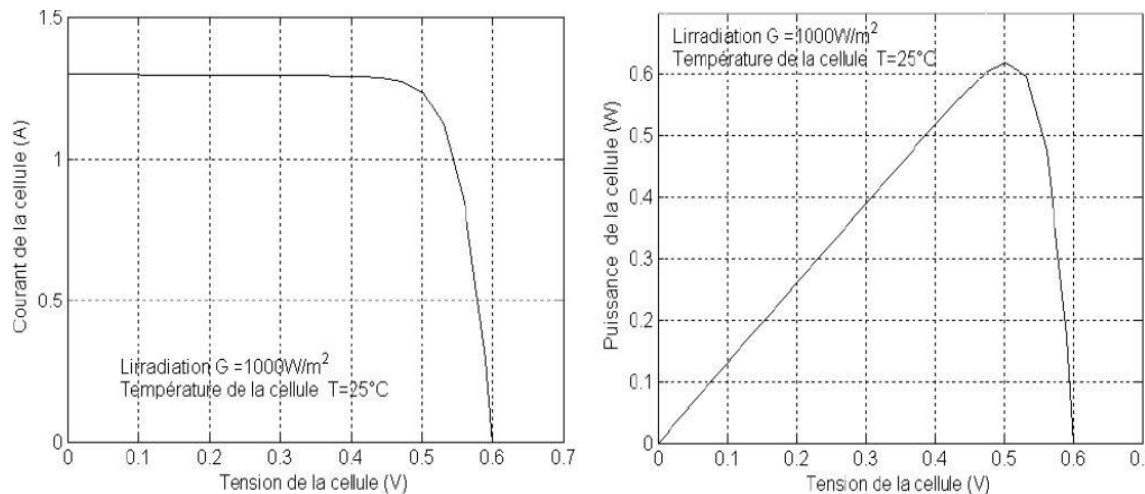
L'équation caractéristique est déduite d'une manière directe à partir de la loi de Kirchhoff :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_{sh} \quad (III-3)$$

Le courant électrique produit par la cellule est alors donné par l'expression suivante :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{s1} \left( \exp\left(\frac{V_{pv} + I_{pv} \times R_s}{V_t \times n_1}\right) - 1 \right) - I_{s2} \left( \exp\left(\frac{V_{pv} + I_{pv} \times R_s}{V_t \times n_2}\right) - 1 \right) - \frac{V_{pv} + I_{pv} \times R_s}{R_{sh}} \quad (III-4)$$

La caractéristique I(V) et P(V) sont représentées par la Figure III.4



**Figure III.4 :** Caractéristique I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïque avec deux diodes.

**Remarque :** les caractéristiques I(V) et P(V) des deux modèles sont presque identiques, mais le modèle à deux diodes est le plus utilisé. La deuxième diode mise en parallèle prend en compte la différence dans l'écoulement du courant de basse valeur due à la recombinaison de charges dans la région de la zone de charge d'espace du semi-conducteur ; ce qui fournit plus de précision aux deux courbes.

### III.3. Définition du besoin électrique

Avant le dimensionnement du champ photovoltaïque et du parc de batteries, la définition du besoin électrique est nécessaire pour éviter les défauts de fonctionnement de l'installation et le coût élevé de cette dernière.

Cette définition est réalisée à partir d'un inventaire de la consommation de tous les appareils électriques et d'une méthode de calcul des besoins électriques [22].

#### III.3.1 Inventaire des appareils

L'installation photovoltaïque est conçue pour alimenter plusieurs appareils électriques. Pour cela voici quelques uns et leurs consommations :

## Chapitre III : Conception d'une centrale solaire photovoltaïque autonome

- **Eclairage** : Plusieurs moyens sont utilisés pour transformer l'énergie électrique en énergie lumineuse, le tableau suivant résume quelques ampoules d'éclairage et leurs consommations électriques.

**Tableau III.1** : Exemples d'ampoules électriques et leurs puissances

Types d'ampoules	Sa puissance électrique
Lampe à incandescence à filament	30 W à 100 W
Ampoule fluorescente compacte	1 W à 50 W
Tubes fluorescents	10 W à 60 W

- **Equipement courant à faibles puissance électrique**

**Tableau III.2** : Exemples d'appareils à faible puissance.

Types d'appareils	Leurs puissances électriques
Réfrigérateur	100 W à 300W
Télévision	110 W
Ordinateur	90 W

- **Equipement courant à forte puissance électrique**

**Tableau III.3**: Exemples d'appareils à forte puissance.

Types d'appareils	Leurs puissances électriques
Cuisinière électrique	2 600 W à 3 400 W
Fer à repasser	1500W
Machine à laver	2500 W

### III.3.2 Calculs des besoins électriques

Une fois l'inventaire des appareils est fait, un calcul des besoins électriques est nécessaire pour avoir l'énergie totale journalière consommées par ces derniers, pour cela une estimation de la durée d'utilisation journalière de chaque appareil doit être effectuée.

Le produit de la puissance électrique (W) par la durée d'utilisation (h) donne l'énergie consommée (Wh) de chaque appareil, enfin la somme de ces énergies calculées évalue le besoin électrique, qui s'exprime en Wh/jour, d'une maison. L'exemple du tableau suivant donne le besoin électriques de quelques appareils :

## Chapitre III : Conception d'une centrale solaire photovoltaïque autonome

$$\text{Une consommation électrique (Wh)} = \text{Puissance (W)} * \text{Temps d'utilisation (h)} \quad \text{(III-5)}$$

Tableau III.4 : Exemple de calcul du besoin électrique d'une maison

Appareil électrique	Puissance nominale (en W)	Durée d'utilisation journalière (en h/jour)	Consommation d'énergie journalière (en Wh)
6 lampes fluocompacte 15W chacune	$6 \times 15 = 90 \text{ W}$	4 h/jour	360 Wh/jour
Ordinateur	150 W	2 h/jour	300 Wh/jour
1 Réfrigérateur	150 W	6 h/jour	900 Wh/jour
1 Chargeur pour téléphone portable	5 W	1 h/jour	5 Wh/jour
Lave-linge (5 kg)	640 W	1 h/jour	640 Wh/jour
Four micro-ondes	850 W	0.15h/jour	127.5 Wh/jour
1 Télévision	110 W	5 h/jour	550 Wh/jour
<b>TOTAL</b>			<b>2882.5 Wh/jour</b>

### III.4 Evaluation du gisement solaire locale [23]

L'objectif de l'évaluation du gisement solaire est de caractériser le profil de l'ensoleillement en un endroit bien précis pour une installation photovoltaïque, en étudiant la répartition annuelle de l'irradiation solaire.

Avant cette évaluation, la définition de l'éclairement solaire et de l'irradiation solaire est nécessaire.

- **L'éclairement solaire** : C'est le flux énergétique issu du rayonnement solaire incident reçu par unité de surface, exprimé en  $\text{W/m}^2$ .

- **L'irradiation solaire** : C'est la quantité d'énergie solaire horaire issue du rayonnement solaire incident par unité de surface, exprimé en  $\text{Wh/m}^2$  ou en  $\text{J/m}^2$ .

## Chapitre III : Conception d'une centrale solaire photovoltaïque autonome

---

### III.4.1 Influence de la localisation sur le gisement solaire

La répartition du rayonnement solaire sur la surface de la terre dépend de plusieurs paramètres :

- **La longitude** : Elle correspond à l'angle formé par deux plans méridiens, l'un étant le méridien de Greenwich  $0^\circ$  et l'autre dépend du lieu envisagé.

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

- **La latitude** : La latitude d'un lieu à la surface de la terre est l'angle entre l'équateur et le rayon de la terre passant par le lieu considéré. La latitude est comptée de  $0^\circ$  à  $+90^\circ$  dans l'hémisphère nord.

La latitude a aussi un effet important :

- Les journées estivales s'allongent à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur, et le soleil est plus bas au midi solaire.

- Les journées d'hiver sont plus courtes, et le soleil encore plus bas qu'à l'équateur. Autrement dit, l'intensité maximale (à midi) et la quantité totale de rayonnement solaire sur un plan horizontal diminuent à mesure qu'augmente la latitude.

- **L'altitude** : L'altitude d'un point correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer), on l'exprime généralement en mètre.

- **La nébulosité** : est également une variable, les zones arides à très faibles nébulosité sont les plus soumises aux fortes irradiations solaires.

- **L'air mass** : La part d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser, celle-ci est caractérisée par le nombre de masse d'air AM Figure III.5. Le rayonnement qui atteint le niveau de la mer à midi dans le ciel clair est de  $1000(\text{W}/\text{m}^2)$ , il est décrit en tant que rayonnement de la masse d'air "1" (ou AM1).

Puisque le soleil n'est au zénith que durant peu de temps, la masse d'air est donc plus grande en permanence et l'énergie disponible est donc inférieure à  $1000(\text{W}/\text{m}^2)$ .

Les scientifiques ont donné un nom au spectre standard de la lumière du soleil sur la surface de la terre : AM1,5G : rayonnement « global » incluant rayonnement direct et rayonnement diffus.

Où : AM 1,5 D : tient compte seulement du rayonnement direct.



## Chapitre III : Conception d'une centrale solaire photovoltaïque autonome

Le nombre 1,5 indique que le parcours de la lumière dans l'atmosphère est 1,5 fois supérieur au parcours le plus court du soleil, c'est-à-dire lorsqu'il est au zénith (correspondant à une inclinaison du soleil de  $45^\circ$  par rapport au zénith).

La Figure III.5 représente la définition de l'air masse.

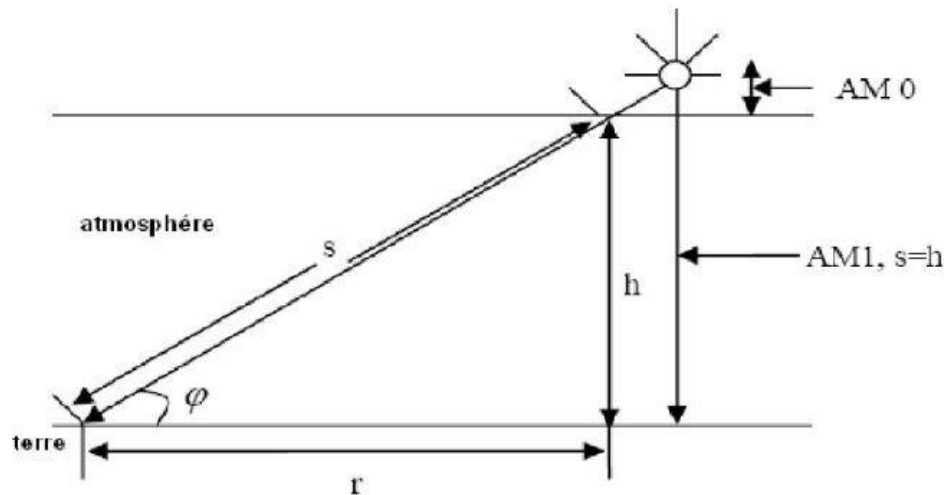


Figure III.5 : Définition de l'air masse.

### III.4.2 Angle d'inclinaison optimale du module PV

L'inclinaison correspond à la pente du panneau PV par rapport à l'horizontale. Elle se mesure en degré « ° ».

La Figure III.6 représente les inclinaisons possibles des panneaux PV.

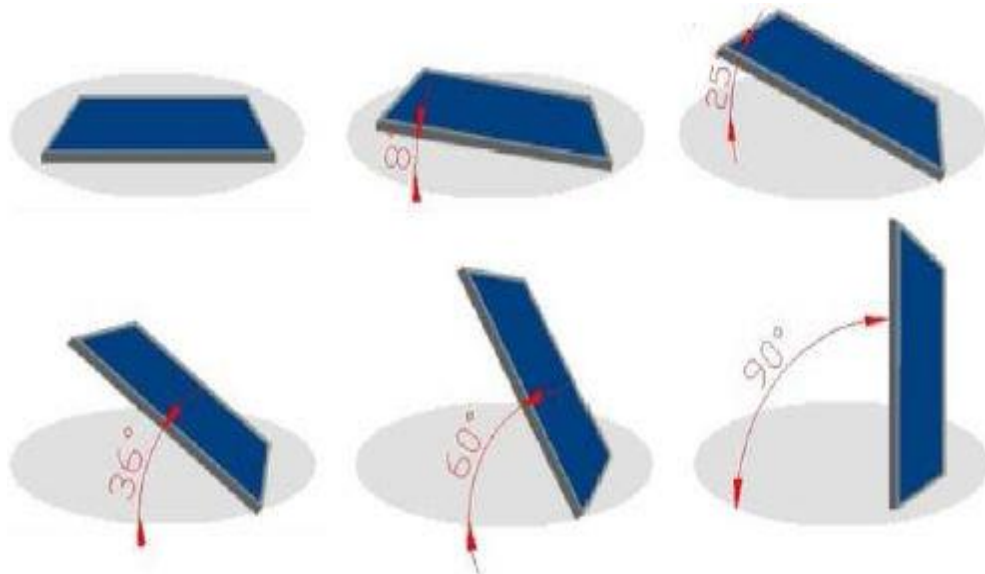


Figure III.6 : Les inclinaisons possibles des panneaux PV.

## Chapitre III : Conception d'une centrale solaire photovoltaïque autonome

L'inclinaison est un paramètre très important dans une installation PV autonome, elle correspond à la pente du module par rapport à l'horizontale. La formule de calcul de l'inclinaison optimale est donnée par :

Pour maximiser l'irradiation solaire reçue en hiver et l'orientation est plein sud :

$$\text{Inclinaison optimale} = \text{Latitude du lieu} + 10^\circ \quad (\text{III-6})$$

Si l'orientation n'est pas plein sud :

$$\text{Inclinaison optimale} = (\text{Latitude du lieu} + 10^\circ) * (1 - \text{orientation}/180^\circ) \quad (\text{III-7})$$

### III.4.3 Orientation du module PV

Les panneaux solaires sont plus productifs quand ils sont orientés plein sud dans l'hémisphère nord et plein nord dans l'hémisphère sud, pour capter l'énergie quotidienne maximale, quelle que soit la saison et l'heure de la journée.

### III.5 Qualité d'une installation photovoltaïque autonome [24]

Le rendement d'une installation photovoltaïque exprime le rapport entre l'énergie électrique fournie par le panneau et l'énergie solaire reçue par ce dernier.

$$\eta = \frac{(\text{Puissance électrique fournie})}{(\text{Puissance solaire reçue})} \quad (\text{III-8})$$

Le rendement d'une installation photovoltaïque est d'environ de 10 %, ce qui signifie que 10% uniquement de l'énergie solaire reçue par le module sont transformées en énergie électrique, les 90% restantes sont perdues sous forme de chaleur et de réflexion lumineuse. Ce rendement diminue encore à la sortie de l'installation photovoltaïque, à cause des pertes dues aux différents constituants de cette installation (batteries, régulateurs, onduleurs, câble ...), ainsi qu'illustré sur la figure ci-dessous :



Figure III.7 : Rendement global & Différentes pertes au sein d'une installation photovoltaïque autonome.

### III.5.1 Rendement des modules

Le rendement des modules photovoltaïques diffère selon la technologie utilisée pour la conception des cellules. Le tableau III.5 résume l'estimation approchée du rendement des cellules PV[16].

**Tableau III.5 :** Rendement d'une cellule PV selon sa technologie.

TECHNOLOGIE DES CELLULES PV	RENDEMENT
Silicium mono cristallin	Entre 14 % et 19 %
Silicium poly cristallin	Entre 10 % et 15 %
Silicium amorphe	Entre 5 % et 10 %

Comme indiqué dans le chapitre I, le module PV est constitué de cellules PV montées en série et /ou en parallèle ; mais le rendement du module est inférieur au rendement de l'ensemble des cellules qui le constitue.

Le rendement de la cellule est donné par

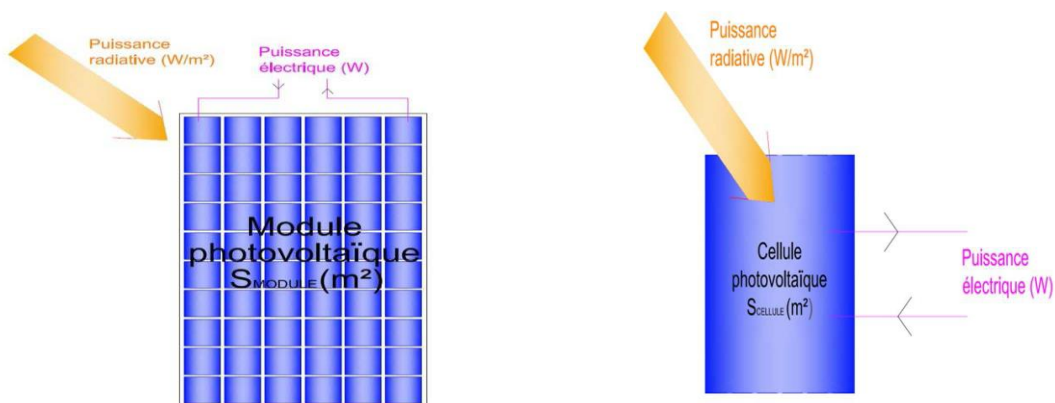
$$\eta_{\text{cellule}} = \frac{\text{puissance électrique fournie}}{S_{\text{cellule}} \times \text{puissance radiative reçue}} \quad (\text{III-9})$$

Avec  $S_{\text{cellule}}$  est la surface de la cellule exposée au rayonnement solaire.

Le rendement du module est donné par :

$$\eta_{\text{module}} = \frac{\text{puissance électrique fournie}}{S_{\text{module}} \times \text{puissance radiative reçue}} \quad (\text{III-10})$$

Avec  $S_{\text{module}}$  est la surface du module exposée aux rayons du soleil (Figure III.8):



**Figure III.8 :** D'une cellule et d'un module exposés au rayonnement solaire.

## Chapitre III : Conception d'une centrale solaire photovoltaïque autonome

La figure III.8 montre que la surface du module est supérieure à celle de l'ensemble des cellules qui le compose ; ce qui explique la différence du rendement de ces derniers qui est causé par l'espace vide entre les cellules, et donc une perte du rendement.

Un autre facteur très important qui influence le rendement du module PV qui est la température.

En théorie, le rendement est estimé dans les Conditions Standards de Test (STC) : niveau d'éclairement  $P_i=1000 \text{ W/m}^2$ , Température de cellule  $25^\circ\text{C}$ ,  $AM=1.5$  ; dans ce cas la puissance électrique fournie par le module est la puissance crête.

Le rendement est donné par :

$$\eta_{\text{Module,STC}} = \frac{P_c}{P_{i,\text{STC}} \times S_{\text{Module}}} \quad (\text{III-11})$$

En pratique la température de la cellule est de l'ordre de  $55^\circ\text{C}$ , ce qui diminue le rendement du module. Dans ce cas le rendement est donné par :

$$\eta_{\text{Module,STC}} = \frac{P_{50^\circ\text{C}}}{P_{i,50^\circ\text{C}} \times S_{\text{Module}}} \quad (\text{III-12})$$

On constate donc que la température des cellules joue un rôle important dans la performance de l'installation photovoltaïque. Une bonne ventilation de la toiture photovoltaïque est donc essentielle afin de garantir une bonne qualité l'installation.

### II.5.2 Pertes par échauffement des câbles

Un câble électrique est caractérisé par sa résistance électrique ( $R$ ) exprimée en ohm( $\Omega$ ) qui diffère selon la matière utilisée, cette résistance dépend de la résistivité ( $\rho$ ), la longueur ( $L$ ) et la section ( $S$ ) du câble suivant cette équation (figure III.9) :

$$R = \rho \times \frac{L}{S} \quad (\text{III-13})$$

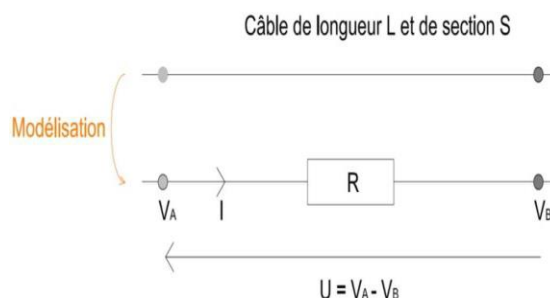


Figure III.9 : Modélisation électrique d'un câble.

## Chapitre III : Conception d'une centrale solaire photovoltaïque autonome

La tension (U) au borne du câble est donnée par :

$$U = V_A - V_B = R \times I \quad \text{(III-14)}$$

La résistance du câble, définie ci-dessus, va provoquer une chute de potentiel entre le départ du câble et la fin du câble.

En pratique, un système de qualité est dimensionné pour limiter les pertes ohmiques dans le câblage Courant Continu (CC) à une chute de tension de maximum 2% entre les modules et l'onduleur. Si la chute de tension est supérieure à 2% (par exemple due à une longueur de câble trop importante), il faudra augmenter la section du câblage CC pour éviter l'échauffement des câbles.

### III.5.3 Rendement du régulateur

Comme indiqué dans le chapitre II, les régulateurs photovoltaïques perdent une partie de la puissance électrique sous forme de chaleur.

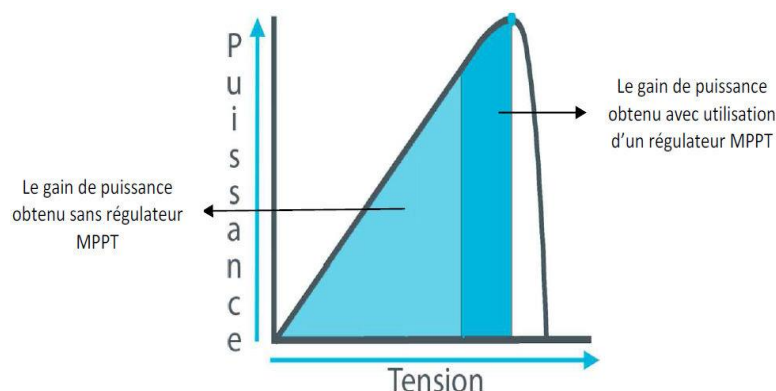
Le rendement des régulateurs dépend de leurs technologies:

**Tableau III.6:** Rendement moyen d'un régulateur photovoltaïque

Technologie du régulateur	Rendement moyen
Tout-ou-rien	Entre 97 % et 100 %
MLI	Entre 95 % et 98 %
MLI + MPPT	Entre 90 % et 95 %, mais la fonction MPPT permet d'améliorer le rendement du champ photovoltaïque

### III.5.4 Pertes par absence du MPPT

Le régulateur MPPT est connecté au panneau solaire pour augmenter la puissance maximale de 20 à 30% de son rendement. La figure III.10 représente la différence de la puissance avec et sans le régulateur MPPT.



**Figure III.10:** Gain de puissance avec ou sans régulateur MPPT.

### III.5.5 Rendement des batteries

Plusieurs facteurs électrochimiques influencent le rendement des batteries :

- L'efficacité de la recharge qui est le rapport de la capacité restituée et la capacité chargée.
- Phénomène lié à la loi de Peukert qui permet de calculer l'énergie totale fournie par une batterie, représentée par :

$$C_p = I^k \times t \quad \text{(III-15)}$$

Avec :

$C_p$ : est la capacité selon Peukert (Ampères-heures).

$I$  : le courant de décharge (Ampères).

$t$  : le temps de décharge (heures).

- L'autodécharge des batteries.

Avec tous ces phénomènes, le rendement des batteries s'estime aux environs de 85%.

### III.5.6 Rendement de l'onduleur

Le rendement d'un onduleur est réduit d'environ 5% à cause de ses composants électriques qui dissipent une énergie sous forme de chaleur, mais aussi de la tension et de la puissance d'entrée, c'est-à-dire que 95% de la puissance continue générée par le panneau PV est transformée en puissance alternative en sortie de l'onduleur.

### III.5.7. Autres pertes

En plus de toutes les pertes d'énergie électrique dus aux différents composants du système PV, d'autres pertes surgissent au cours de cette installation, estimées à 2%, comme :

- La différence de production d'une cellule à une autre dans le même module PV.
- La puissance crête des modules qui est estimée avec une marge d'erreur de  $\pm 3\%$ .

### III.5.8. Le ratio de performance

Le ratio de performance, noté PR (Performance ratio), est un indice de performance qui désigne le rapport entre le rendement énergétique réel et le rendement théorique. Il est indiqué en pourcentage, plus sa valeur est proche de 100% plus l'installation est performante.

$$PR = \frac{\text{rendement réel (KWh)}}{\text{rendement théorique (KWh)}} \quad \text{(III-16)}$$

Appelé aussi facteur de qualité, il permet de mesurer la qualité d'une installation PV et de quantifier les pertes électriques de l'installation.

## **Chapitre IV:**

# **Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par une centrale photovoltaïque autonome**



# Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

## chapitre IV Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par une centrale photovoltaïque autonome

### IV.1.Introduction

L'application de l'énergie solaire à un site donnée, nécessite la connaissance complète et détaillée de l'ensoleillement du site, la détermination de la consommation journalière et le nombre nécessaire de panneaux solaires constituant le champ PV suffisant pour couvrir les besoins de la charge.

Dans ce présent chapitre, nous présenterons l'étude de dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour alimenter la salle de conférence située à l'université de Ghardaïa.

### IV.2.Site d'implantation

La wilaya de Ghardaïa est située au centre de la partie Nord du Sahara algérien, elle est représentée par les coordonnées géographiques suivantes :

Latitude : 32.23, Longitude : 3.49, Altitude : 450m, Albédo : 0.3 [25]

Figure IV.1 représente la localisation de la wilaya de Ghardaïa



Figure IV.2 : localisation de la wilaya de Ghardaïa

## Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

### IV.2.1. Climat de Ghardaïa

Ghardaïa a un climat désertique chaud, avec des étés extrêmement chauds et des hivers doux, la région est marquée par de grandes différences de température entre le jour et la nuit, et l'été et l'hiver.

Tableau IV.1 : données climatique à Ghardaïa

Mois	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température minimale moyenne (°C)	5,5	7,4	10,2	13,6	18,4	23,6	26,5	26,4	22,1	16,6	10,5	6,7	15,6
Température moyenne (°C)	10,9	13,2	16,3	20,1	25	30,4	33,5	33,1	28,3	22,4	15,9	12	21,8
Température maximale moyenne (°C)	16,3	19	22,3	26,5	31,5	37,2	40,4	39,8	34,5	28,2	21,3	17,3	27,9
Précipitations (mm)	8,2	4,8	8,7	6,8	4	2,5	0,7	3,1	11,4	7,3	12,1	5,4	75
Nombre de jours avec précipitations	2,6	1,7	2,5	1,7	1,8	1,4	0,8	1,1	2,8	2,4	2,8	2	23,6

### IV.3. Gisement solaire de Ghardaïa [26] :

La connaissance du rayonnement solaire au niveau du sol est un élément important pour les systèmes de conversion de l'énergie solaire. Cette information peut être recueillie par différentes méthodes à savoir: mesure au sol par des pyrano-mètres ou des cellules de références, ou par des mesures satellitaires.

Les conditions climatiques font que Ghardaïa bénéficie d'un climat sec et aride, caractérisé par un ensoleillement exceptionnel, vu sa localisation géographique et son éloignement de la cote méditerranéenne. Le plus souvent, Ghardaïa a un taux d'insolation très important (75% en moyenne) et la moyenne annuelle de l'irradiation globale mesurée sur un plan horizontal dépasse les 6000 Wh/m<sup>2</sup>. Sa couverture solaire est de plus de 3000 heures/an, ce qui favorise l'utilisation de l'énergie solaire dans divers domaines tels que : la bioclimatique, la production d'eau chaude sanitaire, la production d'électricité, le séchage agroalimentaire, etc....

Afin de faire un bon dimensionnement des systèmes de conversion solaire, une base de données de rayonnement est indispensable. L'installation de la station radiométrique au site de l'URAER rentre dans ce contexte, elle nous permet de mieux caractériser le site d'un point de vue énergétique.

On dispose donc, d'une base de données des composantes du rayonnement solaire (global et diffus sur un plan horizontal, directe sur un plan normal et global sur un plan incliné à la latitude du lieu), ainsi que la température et l'humidité.

## Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

L'exploitation de cette base de données nous permet de tester plusieurs modèles qui serviront dans la caractérisation du gisement solaire du site.

On envisage de compléter la station par d'autres capteurs radiométriques pour différentes inclinaisons et orientations pour avoir le maximum d'informations sur le gisement local de Ghardaïa.

### IV.3.1. Base de données de mesure

Depuis août 2004, la station de mesure est fonctionnelle, l'enregistrement des composantes du rayonnement solaire se fait quotidiennement durant 24 heures avec un pas de cinq minutes pour chaque paramètre (diffus, direct et global). Ensuite, un traitement de données est nécessaire pour les rendre exploitables (figure IV.2).

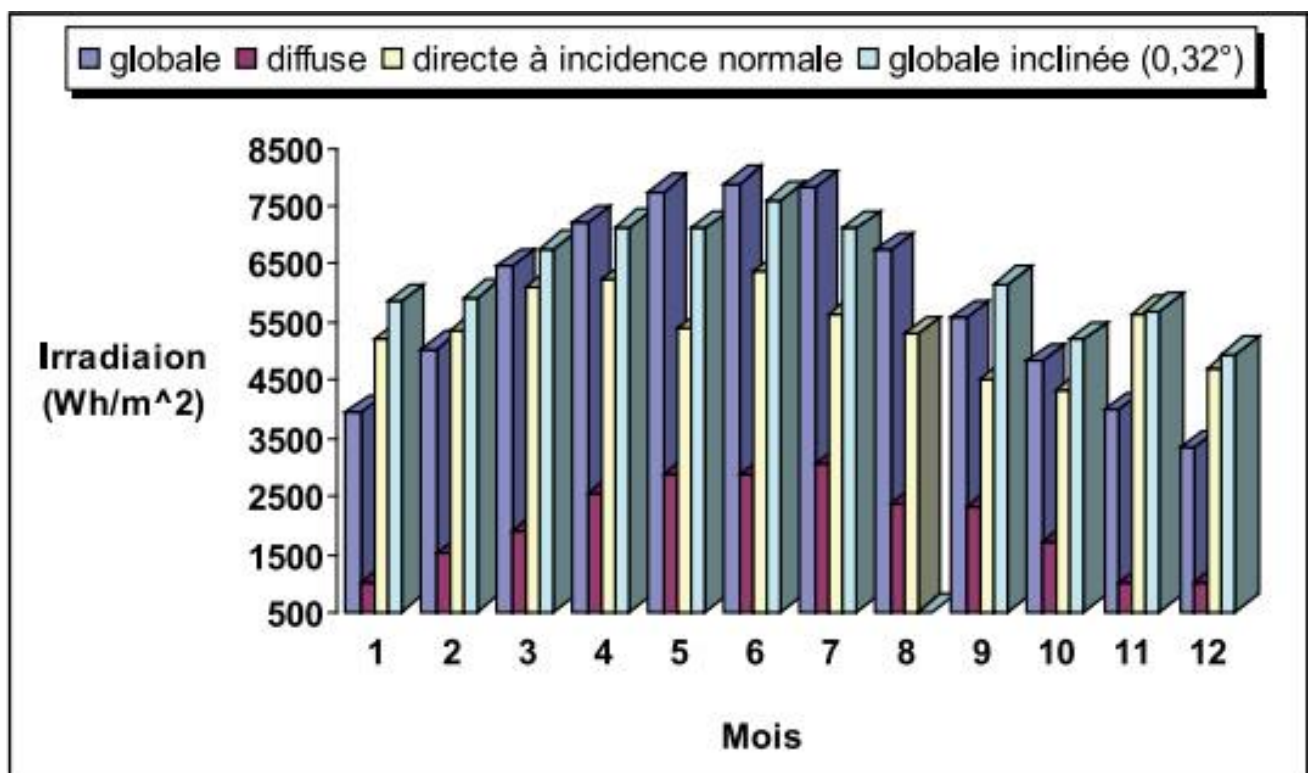


Figure IV.3 Irradiation globale, diffuse, directe normale et globale inclinée collecté par la station radiométrique.

## Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

### IV.3.2.Valeurs mensuelles et annuelles du rayonnement global

D'après le tableau IV-2 , on constate que la valeur annuelle du rayonnement global varie entre 2000 et 2126 kWh/m<sup>2</sup>, tandis que la moyenne annuelle est de l'ordre de 2061 kWh/m<sup>2</sup>. Considérant les valeurs mensuelles, le maximum absolu est de l'ordre de 251 kWh/m<sup>2</sup> et le minimum absolu est de 86 kWh/m<sup>2</sup> [26].

**Tableau IV.2** Valeurs mensuelles et annuelles du rayonnement global (kWh/m<sup>2</sup>) sur un plan horizontal [26].

Année	mois												total
	Jan.	Fév.	Mar.	Avril.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	
2005	120	140	181	220	240	234	233	163	181	150	121	107	2090
2006	102	132	205	124	216	240	242	111	178	165	127	95	2027
2007	86	127	194	203	243	244	252	215	178	153	130	101	2126
2008	126	136	187	212	236	251	151	205	134	135	123	104	2000
moyenne	109	134	192	212	234	242	220	174	168	151	125	102	2061

### IV.3.3.Distribution du rayonnement global horaire [26]

Le tableau IV-3 montre la distribution typique du rayonnement global sur un plan horizontal par tranche horaire au cours de l'année au site de Ghardaïa. [2004/2005]

**Tableau IV.3 :** Distribution du rayonnement global horaire (Wh/m<sup>2</sup>) reçu sur un plan horizontal.

mois	Temps (heures)													
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Janvier	0	0	30	209	404	563	656	682	642	535	373	157	20	0
Février	0	0	77	288	499	657	758	785	736	653	492	290	74	0
Mars	0	15	162	394	602	759	858	879	827	688	502	336	125	0
Avril	0	110	346	573	776	906	979	1001	952	841	673	438	160	16
Mai	21	180	408	629	807	931	1008	1019	1000	891	718	508	280	76
Juin	47	199	314	636	828	958	1019	1032	982	870	703	491	284	82
Juillet	14	110	349	569	747	885	951	953	939	843	676	476	265	79
Aout	0	105	321	544	730	869	946	976	926	838	671	467	240	52
Septembre	0	58	245	466	653	789	847	851	804	705	511	279	93	0
Octobre	0	31	215	440	628	771	852	847	777	645	470	242	35	0
Novembre	0	0	131	337	522	649	721	721	657	527	330	131	0	0
décembre	0	0	53	240	418	548	623	622	570	541	285	91	0	0

## Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

### IV.3.4. Pourcentage de fréquence de distribution du rayonnement global

Les intervalles sont répartis sur huit rangs de rayonnement, espacés de 1165 (Wh/m<sup>2</sup>). Le nombre de jours en un mois donné de l'année où le rayonnement global fait partie du rang indiqué est comptabilisé et présenté en pourcentage.

Durant la saison hivernale, 21.5 % de l'ensemble des journées ont des valeurs entre 2330 et 3495 (Wh/m<sup>2</sup>), 40.5 % des journées ayant 3495 et 4660 (Wh/m<sup>2</sup>) et seulement 12 % atteignent 5825 (Wh/m<sup>2</sup>).

Pendant le printemps et l'automne, 20 % de l'ensemble des journées ayant un rang de 5825 (Wh/m<sup>2</sup>), 23% ayant des valeurs entre 6990 et 8155 (Wh/m<sup>2</sup>) et seulement 3 % ont un rang entre 8155 et 9320 (Wh/m<sup>2</sup>).

Dans la saison estivale, 72 % des jours ayant un rang entre 6990 et 8155 (Wh/m<sup>2</sup>) tandis que 18 % dépasse les 9320 (Wh/m<sup>2</sup>) [26].

**Tableau IV.4 :** Pourcentage de fréquence de distribution du rayonnement global journalier

Mois	Rang du rayonnement						
	1165-2330	2330-3495	3495-4660	4660-5825	5825-6990	6990-8155	8155-9320
Janvier	-	25.8	74.19	-	-	-	-
Février	-	-	48.27	51.72	-	-	-
Mars	-	-	-	19.35	61.29	16.12	-
Avril	-	-	-	-	40	60	-
Mai	-	-	-	-	19.35	61.29	19.35
Juin	-	-	-	-	-	46.66	53.33
Juillet	-	-	-	-	-	96.77	3.22
Aout	-	3.22	-	3.22	22.58	70.96	-
Septembre	-	-	-	40	60	-	-
Octobre	-	-	41.93	51.61	6.45	-	-
Novembre	-	6.66	83.33	10	-	-	-
décembre	3.22	58.06	38.7	-	-	-	-

## Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

### IV.3.5.Résultat

Ghardaïa bénéficie d'un rayonnement solaire prometteur pour les applications renouvelables. Les valeurs journalières moyennes mensuelles du rayonnement global atteignent 7762 (Wh/m<sup>2</sup>) en été, 6944 (Wh/m<sup>2</sup>) au printemps ; 4986 (Wh/m<sup>2</sup>) en automne et 3915 (Wh/m<sup>2</sup>) dans la saison hivernale [26].

### IV.4.Angle d'inclinaison optimale pour la région de Ghardaïa [25]

- Si nous changeons l'angle d'inclinaison chaque mois, le rayonnement maximal est atteint pour les angles suivants.

**Tableau IV.5:** Angle d'inclinaison optimal mensuel.

	<b>Jan</b>	<b>Fév</b>	<b>Mar</b>	<b>Avr</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>
<b>Inc(°)</b>	55.37	49.53	<b>40.00</b>	<b>27.78</b>	<b>17.26</b>	<b>10.32</b>
	<b>Juil</b>	<b>Aout</b>	<b>Sept</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Déc</b>
<b>Inc(°)</b>	<b>9.34</b>	<b>14.49</b>	<b>24.18</b>	<b>35.73</b>	<b>47.04</b>	<b>54.28</b>

- Si nous changeons l'angle d'inclinaison quatre fois par an, le rayonnement maximal est atteint pour les angles suivants.

**Tableau IV.6:** Angle d'inclinaison optimal saisonnière

	hiver	Printemps	Eté	Automne
<b>Inc(°)</b>	55.827	32.177	8.95	31.758

Dans notre étude l'inclinaison est : 55.827



## Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

### IV.5. Dimensionnement d'une centrale PV pour l'alimentation de la salle de conférence

Cette étude va être en deux parties, la première concerne l'étude de la consommation des composants électriques de la salle telle qu'elle est sans être économisée. Dans la deuxième on essaie de créer des solutions pour minimiser la consommation d'énergie.

Les figures (IV.3) et (IV.4) représentent la salle de conférence.



Figure IV.3 : Salle de conférence d'université de Ghardaïa.

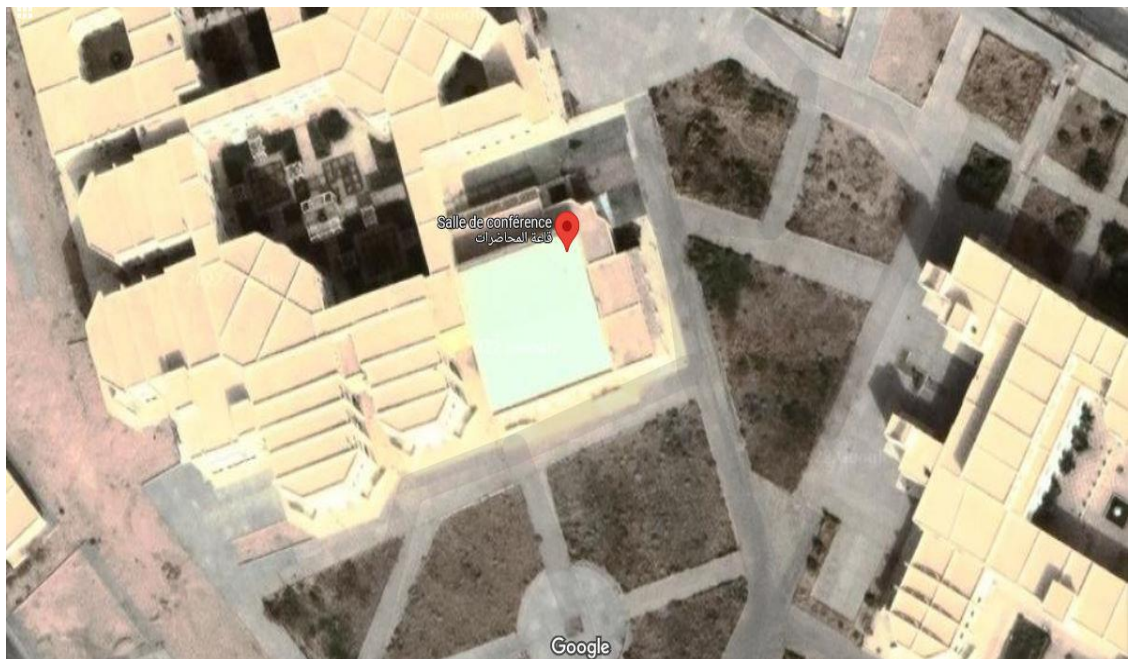


Figure IV.4 : photo par satellite de la salle de conférence.

## Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

### IV.5.1. Bilan de la consommation :

La salle de conférence est constituée de :

Salon d'honneur, kitchenette, sanitaire VIP, hall d'entrée, deux salles de commission et deux sanitaires H/F.

On va calculer la puissance des éléments électriques pour chaque salle ainsi que sa durée de fonctionnement.

#### a) Salon d'honneur

**Tableau IV.7:** Appareils utilisés pour Salon d'honneur.

Equipements	P Unitaire (w)	Nombre	Temps (h)	Consommation journalière (Wh/j)
Lampes	40	12	9	4320
Climatiseur	4650	1	5	23250
Télévision	200	1	4	800
			Totale	28370

#### b) Kitchenette

**Tableau IV.8:** Appareils utilisés pour Kitchenette.

Equipements	P Unitaire (w)	Nombre	Temps (h)	Consommation journalière (Wh/j)
Lampes	40	2	5	400
Réfrigérateur	90	1	5	450
			Totale	850

#### c) Sanitaire VIP

**Tableau IV.9:** Appareils utilisés pour Sanitaire VIP

Equipements	P Unitaire (w)	Nombre	Temps (h)	Consommation journalière (Wh/j)
Lampes	40	4	2	320
Chauffe eau	1200	1	2	2400
Suppresseur	800	1	1	800
			Totale	3520



## Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

### d) Salle de commission

**Tableau IV.10:**Appareils utilisés pour Salle de commission.

Equipements	P Unitaire (w)	Nombre	Temps (h)	Consommation journalière (Wh/j)
Lampes	40	8	6	1920
Climatiseur	4800	2	5	48000
Data-Show	60	1	5	300
			Totale	50220

### e) Hall d'entré plus couloir

**Tableau IV.11:**Appareils utilisés pour Hall et le couloir.

Equipements	P Unitaire (w)	Nombre	Temps (h)	Consommation journalière (Wh/j)
Lampes	40	19	9	6840
Télévision	200	1	7	1400
			Totale	8240

### f) Salle de conférence

**Tableau IV.12:**Appareils utilisés pour la Salle de conférence.

Equipements	P Unitaire (w)	Nombre	Temps (h)	Consommation journalière (Wh/j)
lampes	20	72	8	11520
Télévision	200	8	6	9600
Climatiseur	4800	6	5	144000
Data-Show	60	1	5	300
Système sonore	4500	1	5	22500
Distributeur d'eau	85	1	7	595
Exit	10	4	9	360
			Totale	188875

## Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

### IV.5.1.1. Calculs et choix des éléments du système :

a. Calcul de l'énergie consommée :

$$E_c = \sum_{i=1}^5 E_i = 28370 + 850 + 3520 + (50220 \times 2) + 8240 + 188875 = 330295 \text{ Wh}$$

b. Calcul de l'énergie à produire  $E_p$  :

Pour que les besoins de l'utilisateur soit assurés, il faut que l'énergie produite ( $E_p$ ) soit supérieur ou égales à l'énergie consommée ( $E_c$ ), on divise l'énergie consommé par le facteur de correction k pour avoir l'énergie à produire.

$$E_p = \frac{E_c}{K} = \frac{330295}{0.95} = 347679 \text{ Wh}$$

c. Calcul de la puissance crête  $P_c$  du générateur photovoltaïque nécessaire :

$$P_i = 1000 \text{ w/m}^2$$

Pour la région de Ghardaïa  $E_{\min} = 3915 \text{ Wh/m}^2$  [26].

$$P_c = \frac{E_p \times P_i}{E_{\min}} = \frac{347679 \times 1000}{3915} = 88807 \text{ Wc}$$

d. Détermination de nombre de modules solaires nécessaires à l'installation :

On a choisis pour module : Bluesolar 330W

**Tableau IV.13:** Informations utilisée pour Bluesolar

Référence	Poids net	P Nominal(w)	$V_{Mpp}(v)$	$I_{Mpp}(A)$	$V_{Oc}(V)$	$I_{Sc}(A)$
SPP043302400	22.5	330	37.3	8.86	44.72	9.57

$$N = \frac{P_c}{P_n} = \frac{88807}{330} = 270 \text{ modules}$$

e. Nombre de panneaux en séries :

L'onduleur choisis pour cette étude est : SunnyHighpower 100-20 100 KW qui a pour caractéristique :

Tension d'entrée max :  $U_{om} = 1000 \text{ V}$

## Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

Plage de tension MPP : 590V à 1000 V

Courant max : 180 A

Pour assuré que la tension des modules ne dépasse jamais la tension maximale de l'onduleur on peut utiliser la  $V_{oc}$  au lieu de  $V_{Mpp}$

$$N_{ps} = \frac{U_{om}}{V_{Mpp}} \Rightarrow \frac{U_{om}}{V_{oc}} = \frac{1000}{44.7} \cong 22 \text{ modules en séries maximum}$$

f. Nombre de branche en parallèle :

$$N_{pp} = \frac{N}{N_{ps}} = \frac{270}{22} = 12.27 \cong 13 \text{ branche en parallèle}$$

$I_{champ} = 13 * 8.86 = 115.18$  A c'est compatible avec le courant maximal d'onduleur choisit

$22 \times 13 = 286$  modules, il faut ajouter 16 panneaux pour équilibré le système

$21 \times 13 = 273$  modules alors on ajoute que 3 modules pour équilibré le système c'est le meilleur choix, alors on utilise 21 modules en séries et 13 branches parallèle.

g. Calcul de nombre de batterie nécessaire :

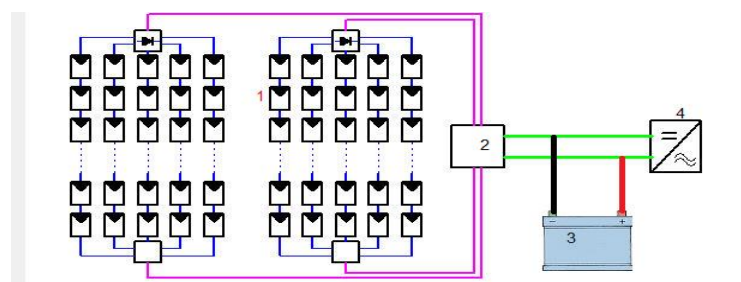
On suppose une autonomie de 1 jour, la puissance globale stockée dans les batteries doit être égale à la consommation journalière.

On prend une batterie 12v/200 Ah avec une profondeur de décharge 80% :

$$P_b = 12 \times 200 \times 0.8 = 1920Wh$$

$$N_b = \frac{C_j \times N_j}{P_b} = \frac{330295 \times 1}{1920} = 173 \text{ batteries}$$

La figure suivante représente un schéma simplifié de raccordement



**FigureIV.5 :** schéma simplifié de raccordement.

## Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

---

Avec : 1.champ PV 2.boitier de raccordement 3.parc des batteries 4.onduleur

h. Calcul de section des câbles :

- Entre les panneaux et boitier de raccordement :

Chute de tension maximale entre les panneaux et le boitier de raccordement  $\Delta U = 2\%$

$U=21 \times 37.3=783.3$  V tension d'entrée de l'onduleur

$I_{ps}=8.86$ A (ps : panneaux en séries)

$$\Delta U_{max} = 783.3 \times 0.02 = 15.666V$$
$$R = \frac{\Delta U_{max}}{I_{ps}} = \frac{15.666}{8.86} = 1.768\Omega$$
$$S = \frac{\rho \times 2L}{R} = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 2 \times 15}{1.768} = 0.27mm^2$$

Soit un câble d'une section de  $0.27 \text{ mm}^2$  on prendra donc des câbles de  $1 \text{ mm}^2$  ou bien la même section de câble de panneaux.

- Entre le boitier de raccordement et l'onduleur :

Chute de tension maximale entre boitier de raccordement => onduleur et  $\Delta U = 2\%$

$U=21 \times 37.3=783.3$ V

$$\Delta U_{max} = 783.3 \times 0.02 = 15.666V$$
$$R = \frac{\Delta U_{max}}{I_{champ}} = \frac{15.666}{115.18} = 0.136$$
$$S = \frac{\rho \times 2L}{R} = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 2 \times 15}{0.136} = 3.52mm^2$$

Soit un câble d'une section de  $3.52 \text{ mm}^2$  on prendra donc des câbles de  $4 \text{ mm}^2$ .

### Étude du coût de centrale PV :

Suite à notre étude du système d'installation d'une chaine photovoltaïque, il est important d'évaluer le coût total de notre système : (tableau IV.14)

## Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

**Tableau IV.14:** Etude du coût du système PV alimentant la salle de conférence

Désignation	Caractéristique	Puissance Installée (kw)	Quantité	Prix unitaire (DZD)	Montant DZD
Module poly cristallin	330Wc ;37.3V	90	273	31000	8463000
Supports pour les modules	1 support par 3 panneaux		91	7000	637000
Génie-civil (enclos pour les modules)				5000	455000
Batteries de stockage	12V ;200Ah		173	45000	7785000
Armoire					30000
Câble et divers					100000
Onduleur	100KW				1200000
Cout totale					18670000

### IV.5.2. Bilan de la consommation avec économisassions d'énergie :

#### a) Salon d'honneur

Pour réduire l'énergie consommé on utilise un capteur de mouvement pour l'éclairage, et changer les lampes avec d'autre plus économique sa va diminuer jusqu'au 50 % d'énergie et à propos de climatisation qui absorbe la majorité d'énergie un isolant thermique par l'extérieur (ITE) est une solution utile pour diminuer 40% d'énergie consommé.

## Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

### L'isolation thermique par l'extérieur :

Elle consiste à envelopper la salle d'un manteau isolant. Pour cela, deux méthodes peuvent être mises en œuvre :

- Poser une couche de matériau isolant sur les murs extérieurs de la salle, puis le recouvrir d'un revêtement de finition.
- Appliquer un enduit isolant directement sur la façade.

La première méthode est la plus courante et la plus efficace puisqu'elle permet de supprimer tous les ponts thermiques de la salle.

L'isolation thermique extérieure sous enduit consiste à fixer une couche d'isolation thermique sur les murs extérieurs de la salle, puis de la recouvrir d'un enduit de finition. En supprimant totalement les ponts thermiques.

**Tableau IV.15:** Tableau donne les appareils économiques utilisés pour la salle d'honneur.

Equipements	P Unitaire (w)	Nombre	Temps (h)	Consommation journalière (Wh/j)
Lampes	20	12	4.5	1080
Climatiseur	4650	1	3.5	16275
Télévision	200	1	4	800
			Totale	18150

### **b) Kitchenette**

**Tableau IV.16:** Appareils économiques utilisés pour kitchenette.

Equipements	P Unitaire (w)	Nombre	Temps (h)	Consommation journalière (Wh/j)
Lampes	20	2	2.5	100
Réfrigérateur	90	1	5	450
			Totale	550

## Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

### c) Sanitaire VIP

On remplace le chauffe eau électrique par un autre solaire sur le toit pour que l'eau descend par gravité au lieu de la pompe.

**Tableau IV.17:**Appareils économiques utilisés pour Sanitaire VIP.

Equipements	P Unitaire (w)	Nombre	Temps (h)	Consommation journalière (Wh/j)
Lampes	20	4	2	160
Chauffe eau	0	0	0	0
Suppresseur	0	0	0	0
			Totale	160

### d) Salle de commission

**Tableau IV.18:**Appareils économiques utilisés pour Salle de commission.

Equipements	P Unitaire (w)	Nombre	Temps (h)	Consommation journalière (Wh/j)
Lampes	20	8	3	480
Climatiseur	4800	2	3.5	33600
Data-Show	60	1	5	300
			Totale	34380

### e) Hall d'entre et couloir

On ajoute un détecteur de mouvement pour alimenté que les lampes proche de passager, sa va économiser 40% d'énergie.

**Tableau IV.19:**Appareils économiques utilisés pour Hall d'entrée et couloir.

Equipements	P Unitaire (w)	Nombre	Temps (h)	Consommation journalière (Wh/j)
Lampes	20	19	4h	1520
Télévision	200	1	7	1400
			Totale	2920

## Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

### f) Salle de conférence

**Tableau IV.20:** Appareils économiques utilisés pour Salle de conférence.

Equipements	P Unitaire (w)	Nombre	Temps (h)	Consommation journalière (Wh/j)
lampes	20	42	6	5040
Télévision	200	4	6	4800
Climatiseur	4800	6	3.5	100800
Data-Show	60	1	5	300
Système sonore	4500	1	5	22500
Distributeur d'eau	85	1	7	595
Exit	10	4	9	360
			Totale	134395

### IV.5.2.1. Calculs et choix des éléments du système

#### a. Calcul de l'énergie consommée

$$E_c = \sum_{i=1}^5 E_i = 18150 + 550 + 160 + (34380 \times 2) + 2920 + 134395 = 224935 \text{ Wh}$$

#### b. Calcul de l'énergie à produire :

$$E_p = \frac{E_c}{K} = \frac{224935}{0.95} = 236774 \text{ Wh}$$

#### c. Calcul de la puissance crête $P_c$ du générateur photovoltaïque nécessaire :

$$P_c = \frac{E_p \times P_i}{E_{min}} = \frac{236774 \times 1000}{3915} = 60479 \text{ Wc}$$

#### d. Détermination de nombre de modules solaires nécessaires à l'installation :

On prend le même panneau de l'étude précédente.

$$N = \frac{P_c}{P_n} = \frac{60479}{330} = 184 \text{ modules}$$

#### e. Nombre de panneaux en séries :

L'onduleur choisis pour cette étude est : PowerGate plus 70Kw qui a pour caractéristique :

Tension d'entrée max :  $U_{om} = 600 \text{ V DC}$

Plage de tension MPP : 315V à 600 V DC

Courant max : 248 A DC



## Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

$$N_{ps} = \frac{U_{om}}{V_{Mpp}} \Rightarrow \frac{U_{om}}{V_{oc}} = \frac{600}{37.3} \cong 16 \text{ modules en séries maximum}$$

f. Nombre de branche en parallèle :

$$N_{pp} = \frac{N}{N_{ps}} = \frac{184}{16} = 11.5 \cong 12 \text{ branche en parallèle}$$

$I_{champ} = 12 \times 8.86 = 106.32 \text{ A}$  c'est compatible avec le courant max d'onduleur choisit

$16 \times 12 = 192 \text{ modules}$  alors on ajoute 9 modules pour équilibrer le système, alors on utilise 16 modules en séries et 13 branches parallèles.

g. Calcul de nombre de batterie nécessaire :

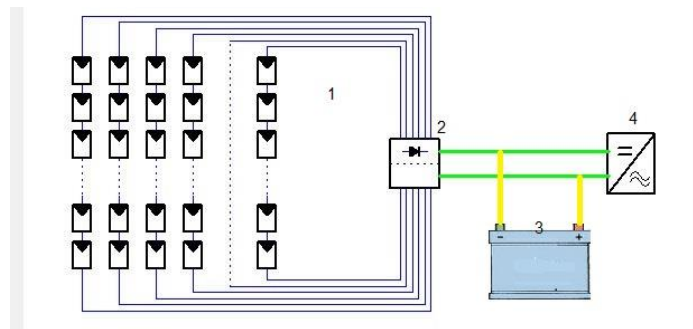
On suppose une autonomie de 1 jour, la puissance globale stockée dans les batteries doit être égale à la consommation journalière.

On prend une batterie 12V/200 Ah avec une profondeur de décharge 80% :

$$P_b = 12 \times 200 \times 0.8 = 1920 \text{ Wh}$$

$$N_b = \frac{C_j \times N_j}{P_b} = \frac{224935 \times 1}{1920} = 118 \text{ batteries}$$

La figure suivante représente un schéma simplifié de raccordement



**Figure IV.6:** schéma simplifié de raccordement

Avec : 1.champ PV 2.boitier de raccordement 3.parc des batteries 4.onduleur

h. Calcul de section des câbles :

- Section de câble entre les panneaux et le boîtier de raccordement :

Chute de tension maximale entre les panneaux et le boîtier de raccordement  $\Delta U = 2\%$

$U = 16 \times 37.3 = 596.8 \text{ V}$  tension d'entrée de l'onduleur

$I_{ps} = 8.86 \text{ A}$  (ps : panneaux en séries)

## Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome

$$\Delta U_{\max} = 596.8 \times 0.02 = 11.936V$$

$$R = \frac{\Delta U_{\max}}{I_{ps}} = \frac{11.936}{8.86} = 1.347\Omega$$

$$S = \frac{\rho \times 2L}{R} = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 2 \times 15}{1.347} = 0.36\text{mm}^2$$

Soit un câble d'une section de 0.36 mm<sup>2</sup> on prendra donc des câbles de 1 mm<sup>2</sup> ou bien la même section de câble de panneaux.

- Entre le boîtier de raccordement et l'onduleur :

Chute de tension maximale entre boîtier de raccordement et l'onduleur et  $\Delta U = 2\%$

$$U = 16 \times 37.3 = 596.8V$$

$$\Delta U_{\max} = 596.8 \times 0.02 = 11.936V$$

$$R = \frac{\Delta U_{\max}}{I_{\text{champ}}} = \frac{11.936}{106.32} = 0.112\Omega$$

$$S = \frac{\rho \times 2L}{R} = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 2 \times 15}{0.112} = 4.28\text{mm}^2$$

Soit un câble d'une section de 4.28 mm<sup>2</sup> on prendra donc des câbles de 5 mm<sup>2</sup>.

### Étude du coût de centrale PV :

**Tableau IV.21:** Etude de coût du système PV alimentant la salle de conférence après les solutions économique.

Désignation	Caractéristique	Puissance Installée (KW)	Quantité	Prix unitaire(DZD)	MontantDZD
Module polycristallin	330Wc ; 37.3V	61	192	31000	5952000
Supports pour les modules	1 support par 3 panneaux		64	7000	448000
Génie-civil(enclos pour les modules)				5000	320000
Batteries de stockage	12V ; 200Ah		118	45000	5310000
Armoire					25000
Câble et divers					75000
Onduleur	70KW				750000
Cout totale					

## **Chapitre IV : Alimentation de la salle de conférence de l'université de Ghardaïa par un central photovoltaïque autonome**

---

### **IV.6. Conclusion**

Les résultats obtenus montrent que la région de Ghardaïa est très favorable pour les projets photovoltaïques.

A première vue, nous remarquons la différence de nombre de PV des deux solutions, ceci est clairement dû à la différence des puissances des lampes économiques utilisées, l'isolant thermique ajouté et le chauffe-eau solaire qui sont directement liés à la puissance crête du champ et le cout du projet. Il faut adopter une politique économique voir encore intelligente pour réduire la consommation.

**Chapitre V :**  
**Résultats et discussion**

### chapitre V Résultats et discussions

#### V.1.Introduction

Suite à notre étude du système d'installation d'une centrale photovoltaïque autonome, dans ce chapitre on présentera les résultats de simulation de logiciel utilisé PVSYST, tel que tous les graphes, aussi la rentabilité de système PV par PVSYST. Afin d'avoir évaluation économique et énergétique, dimensionnement optimal et un coût global optimal actualisé du KWh fourni.

#### V.2.Simulation des résultats avec PVSYST :

##### V.2.1.Résultats pour l'étude normale :

###### a. Energie journalière à la sortie du système :

Le graphe dans la figure «V.1» nous donne une variation journalière de 450(kWh/j) minimale (Octobre – Février) et de 700(kWh/j) maximale (Mars-Aout).

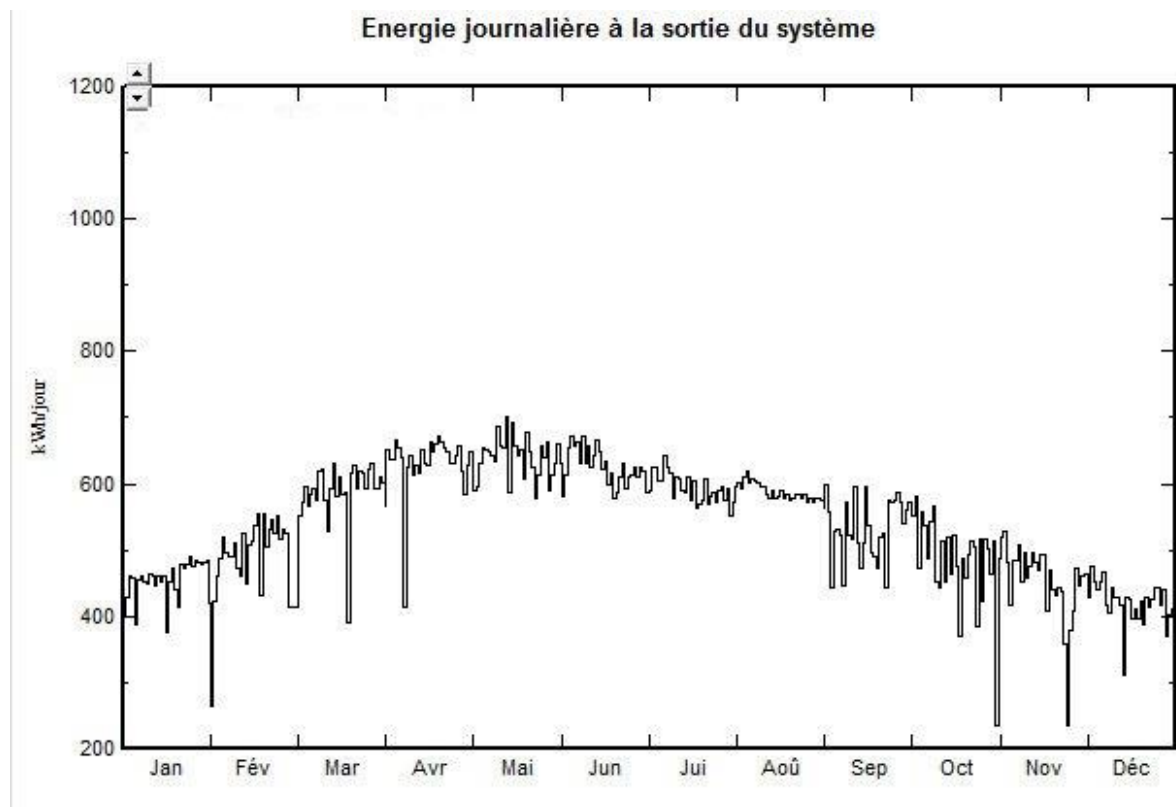
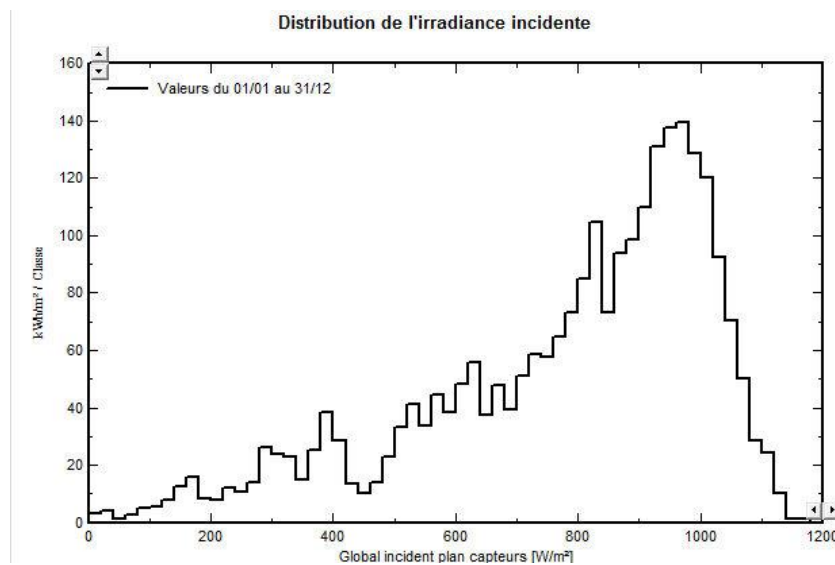


Figure V.1 : L'énergie journalière a la sortie du système.

### b. Distribution de l'irradiation incidente

La figure «V.2» illustre l'irradiation solaire incidente des panneaux PV, et leur production journalière, suivant le temps d'ensoleillement et la hauteur du soleil. Qui suit la distribution du rayonnement incident connaît son pic max pouvant atteindre une valeur maximale proche de **140**(KWh/m<sup>2</sup>) à une valeur de rayonnement solaire de **975** (W/m<sup>2</sup>).



**Figure V.2 :** Distribution annuelle de rayonnement incidente

### c. Distribution de la puissance du champ PV

Dans la figure V.3 on voit que la valeur de pic de puissance de **8**MWh/m<sup>2</sup>, nous remarquons que la distribution de la puissance en sortie du champ PV varie suivant la même tendance que la distribution du rayonnement incident, à une échelle différente. Cela est dû à des pertes globales variables dépendant de la qualité des modules, en particulier, les pertes mis match, les pertes ohmiques de câblage qui dues à la température et influencent fortement sur la production des modules. Aussi, Ce ses pertes ohmiques de câblage dues au niveau d'irradiante, qui varient suivant le rayonnement global reçu, et l'éclairement.

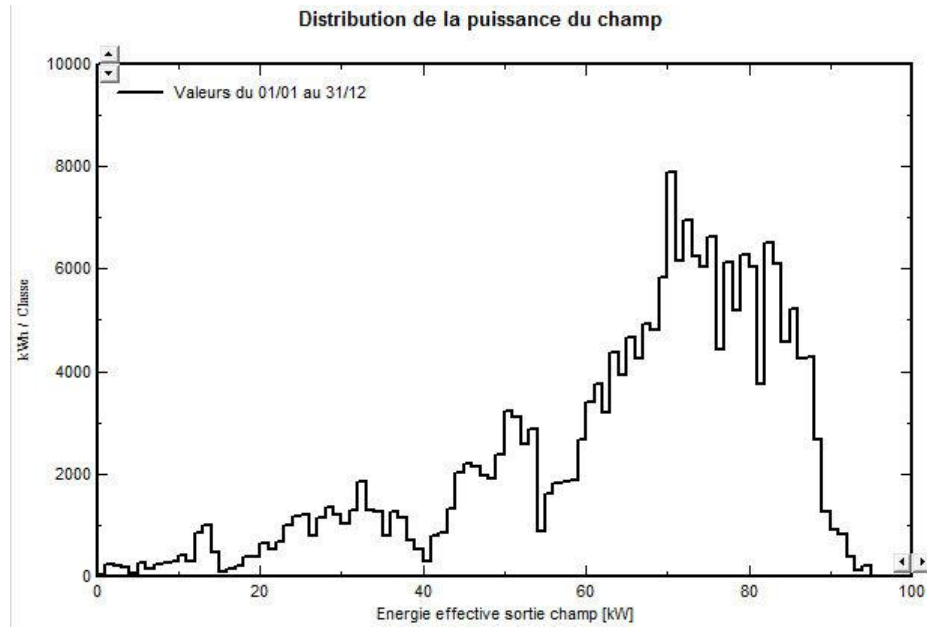


Figure V.3: distribution de la puissance du champ

### d. Diagramme d'ente/sortie journalier

En plus des bilans mensuels et annuels, le résultat le plus signifiant est présenté sous forme de diagramme d'Entrée/Sortie reportant, l'énergie produite en fonction de l'énergie effectuée sortie champ (Figure V.4).

Les points de fonctionnement sont alignés sur une droite, dont la pente est directement liée à l'efficacité du système.

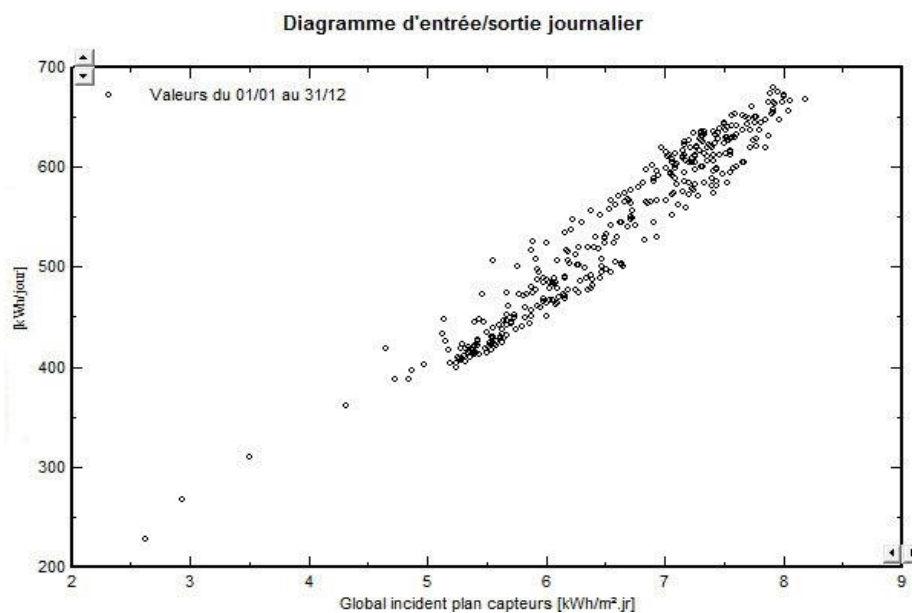


Figure V.4: Diagramme d'entrée/sortie journalier du système PV

## Chapitre V : résultats et discussion

---

### V.2.2. Résultats pour l'étude économique :

Les procédures de simulation, les graphes, les figures et le rapport obtenu sont les mêmes avec l'étude en mode normale.

La seule différence entre les résultats de l'étude en mode normale et cette étude économique est la puissance crête (mode normale 100Kw, mode éco 70Kw) et le coût.

Comparaison entre les deux modes :

La différence de coût et de l'équipement utilisé dans les deux modes est représentée dans le tableau suivant :

**Tableau V.1:** La différence de coût et de l'équipement utilisé dans les deux modes.

	Mode normale	Mode économique
Panneaux	273	184
Batteries	183	118
onduleur	100Kw	70Kw
Coût d'investissement(DZD)	18670000	12880000

Après avoir obtenu les résultats on constate que le coût est assez élevé au niveau normal par rapport au niveau économique, on constate aussi lorsqu'on remplace les lampes normales par des lampes de faible consommation plus les détecteurs de mouvement et l'utilisation des isolants thermiques et le chauffe-eau solaire le nombre de panneaux, batteries et la puissance d'onduleur a diminué ce qui implique la diminution du prix de l'installation de 31% par rapport au prix en mode normal.

### V.3. Conclusion :

Cette étude nous a permis d'avoir une nouvelle approche sur la politique d'électrification dans l'université. Nous avons prouvé qu'il est possible d'améliorer substantiellement le coût d'une installation PV en recourant à la diversification des sources d'énergie en tournant vers les énergies renouvelables en générale et l'énergie solaire en particulier.



## Conclusion générale

---

### Conclusion générale :

Le photovoltaïque est une solution d'avenir qui mérite d'être plus exploitée. Cette énergie qui permet une production autonome d'énergie propre sans combustibles fossiles et donc une réduction des gaz à effets de serre ainsi qu'une considérable réduction de la pollution atmosphérique. Ce type de système est simple à installer, sa construction et sa maintenance peut être assurée par un non spécialiste.

Notre étude est basée sur l'installation d'un système photovoltaïque autonome assurant les besoins énergétiques de l'ensemble des appareils électriques de la salle des conférences de l'université de Ghardaïa.

On a commencé par l'étude détaillée des composants du système depuis le rayonnement solaire jusqu'à la charge, puis nous avons abordé les technique de dimensionnement des systèmes PV et les éléments importants pour un meilleur rendement comme l'angle d'inclinaison et l'orientation optimale durant les saisons de l'année, ainsi que la qualité des équipements utilisées et leurs rendement

Après on a étudié l'application d'un centrale PV autonome pour alimenter la salle des conférences de l'université de Ghardaïa en deux modes différent, un mode normale avec les équipements de la salle sans changement, et le deuxième a été basé sur des solutions économique on changeons les anciens équipements par autre économiques (tell que des lampes de faible consommation...etc.), et voir la différence entre ces modes au niveau de nombre de panneaux, batteries et la puissance d'onduleur utilisé dans les deux cas qui affect directement le cout d'investissement de cette centrale.

Les résultats obtenus montré que la région de Ghardaïa est très favorable pour les projets photovoltaïques et qu'on peut avoir une nouvelle approche sur la politique d'électrification dans l'université. Nous avons prouvé qu'il est possible d'améliorer substantiellement le cout d'une installation PV recourant à la diversification des sources d'énergie en tournant vers les «énergies renouvelables en générale et l'énergie solaire en particulier.

## Bibliographie

- [1] Ch. p. De. Brichabaut, Ch.Yauge « le gisement solaire, évaluation de la ressource énergétique », Technique et documentation Lavoisier, 1982.
- [2] B .Equer « le pompage photovoltaïque manuel de cours », énergie solaire photovoltaïque ellipses 1993.
- [3]Y.Baklli «Etude et dimensionnement d'un convertisseur statique pour la connexion d'un générateur PV » mémoire Magister, Université de Boumerdes, 2005.
- [4] Pompage photovoltaïque : guide à l'intention des ingénieurs et techniciens, Institut deL'énergie et de l'environnement de la francophonie, Université d'OTTAWA.
- [5] B.Ramdane, b. Dabouz, contribution à l'étude et la commande d'un moteur asynchrone alimenté par un système solaire. Application au pompage photovoltaïque.Enp 2003.
- [6] K.Benlarbi, L, Mokrani, M.S .Nait-Said « Afuzzy global efficiency optimization of a photovoltaic water system », Solar Energy 77 -2004.
- [7] K.Amara « contribution a l'étude de conception d'une centrale PV » mémoire Magister université de Tiziouzou 2015.
- [8] L'électricité solaire au service du développement rural;Sous la direction de Abdelhanine Benallou et de Michel Rodot.
- [9] Mémoire sur la Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance Énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie.
- [10] NDIAYE Modou, « conception et optimisation d'un modèle d'électrification hybride raccordé au réseau de distribution de la SENELEC application à la résidence hôtelière MOUNA NDAYANE », Diplôme d'ingénieur de conception, 2003.
- [11]Anne LABOURET et Michel Villos – Energie solaire photovoltaïque, 4e édition, 2012.
- [12]Dib Wassila – Modélisation des structures photovoltaïque : aspects et fondamentaux et applique», Thèse de Doctorat, 2010, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.
- [13]Bernard, J., Energie solaire: calculs et optimisation. Ed Ellipses. (2004).
- [14][Luque.A et Hegedus.S] « Handbook of photovoltaic science and engineering », John Wiley and Sons Ltd., Chichester, 2003.
- [15] BENCHERIF Mohammed, « Modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension », Thèse de doctorat, Université Abou-Bakr Belkaide de Tlemcen.

## Bibliographie

---

- [16] B. ChIKH-BLED, I. SARI-ALI Et B. BENYOUCEF, Revue Internationale technique, « Méthode de dimensionnement optimal d'une installation photovoltaïque », N° 41 (2010) 25-30, Université Abou-Bakr Belkaid, Faculté des Sciences.
- [17] DHAKER Abbas, « Contribution au dimensionnement et à l'optimisation des systèmes hybrides éoliens-photovoltaïques avec batteries pour l'habitat résidentiel autonome », Thèse de Doctorat, Université de Poitiers (20 juin 2012), Disponible sur Internet <<http://theses.univ-poitiers.fr>>.
- [18] [http://bibfac.univ-tlemcen.dz/bibfs/opac\\_css/doc\\_num.php?explnum\\_id=277](http://bibfac.univ-tlemcen.dz/bibfs/opac_css/doc_num.php?explnum_id=277)
- [19] C. Bernard, J. Chauvin, D. Lebrun, J.F. Muraz, P. Stassi, « Station solaire autonome pour l'alimentation des antennes de l'expérience de radio détection à l'Observatoire Pierre Auger » 2006.
- [20] T. Markvart, L. Castaner « photovoltaics fundamentals and applications », Preface Guide to usager of handbooks by professional Groups, 2003.
- [21] Livre « D'ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE » Anne Labouret et Michel Viloz, Dunod, Paris, 2009.
- [22] Mr. BOUTTE Aïssa « Identification des paramètres internes d'une batterie pour des applications photovoltaïques », thèse de doctorat en électronique, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2014 – 2015.
- [23] Djohra SAHEB-KOUSSA, Maiouf BELHAMEL et Khaled BENFERHAT « Contribution à l'étude théorique du comportement d'un système hybride (éolien photovoltaïque-diesel) de production d'électricité sans interruption ». Centre de développement des énergies renouvelables Route de l'observatoire B.P.62 Bouzaréa, Alger, Algérie.
- [24] [www.photovoltaique.guidenr.fr](http://www.photovoltaique.guidenr.fr)
- [25] M. Adouane, M. Haddadi, N. Benamrane, K. Touafek, A. Khelifa et I. Tabet « Evaluation de l'influence de l'inclinaison des modules photovoltaïques sur la production d'énergie d'un système hybride », Revue des Energies Renouvelables SIENR'14 Ghardaïa (2014) 87 – 92.
- [26] Kacem GAIRAA « Valorisation du gisement solaire de Ghardaïa Unité de recherche appliquée en énergies renouvelables », Unité de recherche appliquée en énergies renouvelables - Ghardaïa 11-12 Octobre 2010.

## Annexes A

### Le PANNEAU SOLAIRE BLUESOLAR 330Wc POLYCRISTALLIN



#### Fiche technique

Module	SPP 043302400
Puissance nominale ( $\pm 3\%$ tolérance)	330W
Type de cellule	Poly-cristalline
Nombre de cellules en série	72
Tension de système maximale (V)	1000v
Coefficient de température de PMPP (%)	-0.45/°C
Coefficient de température de $V_{oc}$ (%)	-0.35/°C
Coefficient de température de $I_{sc}$ (%)	+0.04/°C
Plage de température	-40°C à +85°C
Capacité de charge maximale en surface	200kg/m <sup>2</sup>
Résistance à la grêle disponible	23m/s, 7.53g
Type de boîte de connexion	PV-JB002
Longueur de câble/ Connecteur	900mm/ MC4
Tolérance de sortie	+/-3%
Cadre	Aluminium
Garantie du produit	5 ans
Garantie sur les performances électriques	10 ans 90% +25ans 80% de production de puissance
Unité d'emballage la plus petite	1 panneau
Quantité par palette	37
1) STC (Conditions de tests standard) : 1000 W/m <sup>2</sup> , 25°C, AM (Air Mass - masse d'air) 1,5	

Référence	Poids net	P Nominal(w)	$V_{Mpp}(v)$	$I_{Mpp}(A)$	$V_{Oc}(V)$	$I_{Sc}(A)$
SPP043302400	22.5	330	37.3	8.86	44.72	9.57

## Annexes B

### BATTERIE GEL ULTRACELL 12V 200AH



Batterie solaire GEL Ultracell 12V 200Ah.

Cyclage: 1200 cycles à 50% de décharge.

Dimensions (mm) : 520 x 268 x 220.

Poids (Kg) : 73

#### Cycle de vie par rapport à la profondeur de décharge



#### Caractéristiques techniques

<b>Voltage</b>	<b>12V</b>
<b>Technologie</b>	<b>Gel</b>
<b>Capacité</b>	<b>200Ah</b>
<b>poids</b>	<b>73Kg</b>

## Annexes D

### CONVERTISSEUR SUNNYHIGHPOWER 100-70



#### Fiche technique

Caractéristiques techniques	SunnyHighpower 100-20	SunnyHighpower 70
<b>Entrée (DC)</b>		
Puissance max. du générateur photovoltaïque	150000 Wc	100000
Tension d'entrée max.	1000 V	600 V DC
Plage de tension MPP	590 V à 1000 V	315V à 600 V
Courant d'entrée/de court-circuit max.	180 A / 325 A	248A / 293A
Nombre de MPP trackers indépendants	1	1
Nombre d'entrées	1 ou 2 (en option) pour boîtiers externes de raccordement pour le générateur photovoltaïque	1 ou 2 (en option) pour boîtiers externes de raccordement pour le générateur photovoltaïque
<b>Sortie (AC)</b>		
Puissance assignée à la tension nominale	100000 W	70000W
Puissance apparente AC max.	100000 VA	70000W
Tension nominale AC / Plage de tension AC	400 V / 304 V à 477 V	400 V / 304 V à 477 V
Fréquence du réseau AC / Plage	50 Hz / 44 Hz à 55 Hz 60 Hz / 54 Hz à 66 Hz	50 Hz / 44 Hz à 55 Hz 60 Hz / 54 Hz à 66 Hz
Fréquence de réseau assignée	50 Hz	50 Hz
Courant de sortie max.	151 A	151 A
Facteur de puissance à la puissance assignée / facteur de déphasage réglable	1 / 0 inductif à 0 capacitif	1 / 0 inductif à 0 capacitif
Taux de distorsion harmonique (THD)	< 3 %	< 3 %
Phases d'injection / raccordement AC	3 / 3-PE	3 / 3-PE
Rendement max./européen Rendement	98,8 % / 98,6 %	98,8 % / 98,6 %